FUNDAÇÃO
renova

ANÁLISE TÉCNICA

MAIO/2020

ANÁLISE TÉCNICA SOBRE O FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA DO RIO DOCE

Belo Horizonte / maio de 2020

Para o presente estudo foram utilizados os seguintes estudos:

A. RELATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E PROPOSIÇÃO DE REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DA FAZENDA FLORESTA – RIO DOCE, MG
B. RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE SEM PEIXE – MG
C. RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE RIO CASCA-MG
D. RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO 1 DE SÃO TOMÉ (TUMIRITINGA/MG)
E. RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO C01 DE RESPLENDOR/MG
F. ESTUDO HIDROGEOLÓGICO MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES – ES
G. RELATÓRIO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO DE DEGREDO, LINHARES-MG”
H. MAPA DO CPRM
I. RELATÓRIO DA APLYSIA “PARECERES TÉCNICOS INDEPENDENTES SOBRE A QUALIDADE DO PESCADO NO RIO DOCE E ZONA COSTEIRA ADJACENTE”
J. RELATÓRIO DA RHAMA “AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES AFETADAS PELA TURBIDEZ NA COSTA DO ESPÍRITO SANTO.”

O **Anexo 1** apresenta todos os referidos estudos em sua íntegra.

1. INTRODUÇÃO

Este parecer tem como objetivo apresentar de forma simplificada e consolidada os estudos realizados pela Fundação Renova sobre fluxo de água subterrânea na bacia do Rio Doce, assim como a utilização de dados públicos para inferir direção de fluxo preferencial nas áreas não estudadas. Este estudo vai utilizar dados gerados pelas empresas MDGEO, RHAMA, APLYSIA e dados dos mapas hidrográficos do CPMR.

Neste parecer não vamos discutir a qualidade da água, mas sim de retratar a condição do fluxo subterrâneo para diversos estudos distribuídos ao longo da calha do rio Doce, sem entrar no mérito da quantidade e qualidade dos dados gerados, do período do levantamento e controles de qualidade, assumindo que tais controles já foram executados pelas respectivas áreas técnicas detentoras dos relatórios que embasam este parecer.

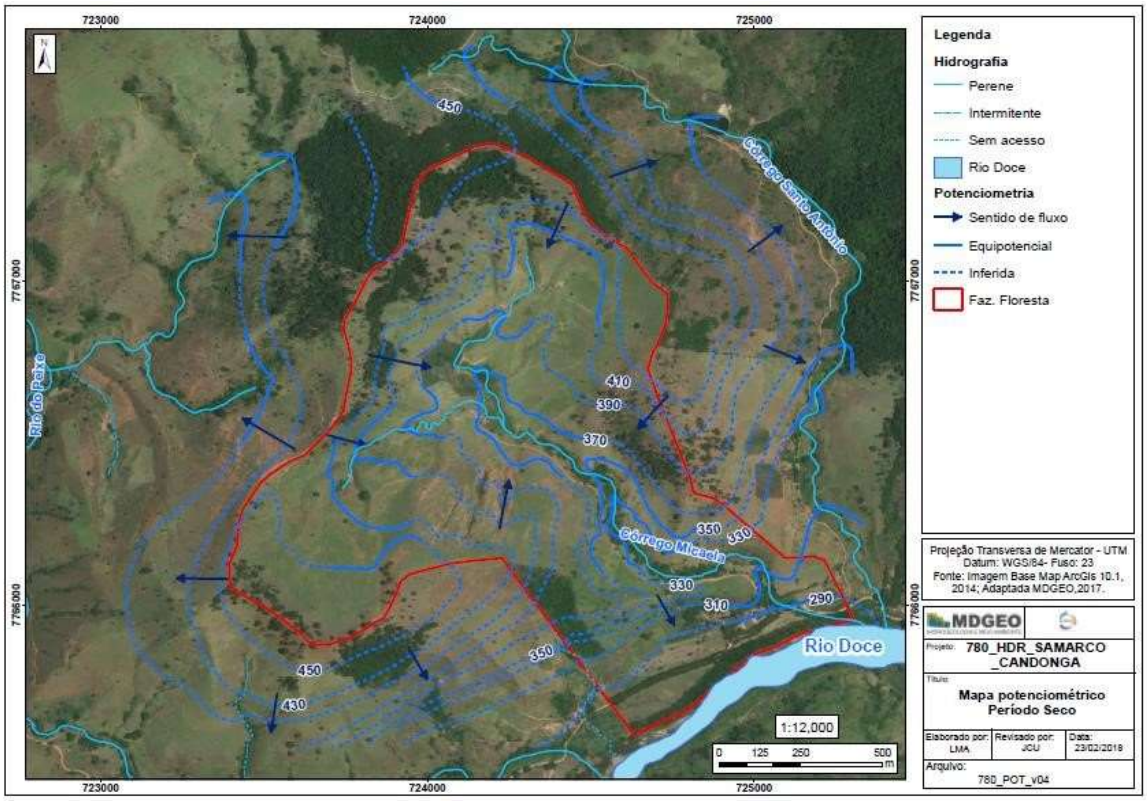
2. ESTUDOS AVALIADOS

A. RELATÓRIO MDGEO "RELATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E PROPOSIÇÃO DE REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DA FAZENDA FLORESTA – RIO DOCE, MG"

Este estudo teve como objetivo a caracterização da hidrogeologia na região da Fazenda Floresta no município de Rio Doce. Para esta caracterização foi feito o levantamento de nascentes e pontos de controle (sondagens). Foram cadastrados 5 nascentes e 19 pontos de controles o quais foram utilizados para a elaboração do mapa potenciométrico e caracterização do sistema de aquífero. O mapa potenciométrico encontra-se na figura 9.3 do relatório e os dados das nascentes estão na tabela 8.1; já os dados dos pontos de controle encontra-se na tabela 7.5.

Com todos os dados em mãos, foi possível delimitar um único sistema hidrogeológico na região (o sistema aquífero cristalino) e determinar o fluxo de água subterrânea para este sistema de aquífero, conforme é apresentado no mapa potenciométrico. Este fluxo é radial com sentido aos córregos e rios próximos à Fazenda Floresta. Na porção sul do mapa potenciométrico, podemos observar um sentido de fluxo em direção ao rio Doce. Sendo assim, o aquífero fornece água para os córregos e rios na região.

O **Mapa 1** apresenta cópia do mapa potenciométrico elaborado para este estudo.



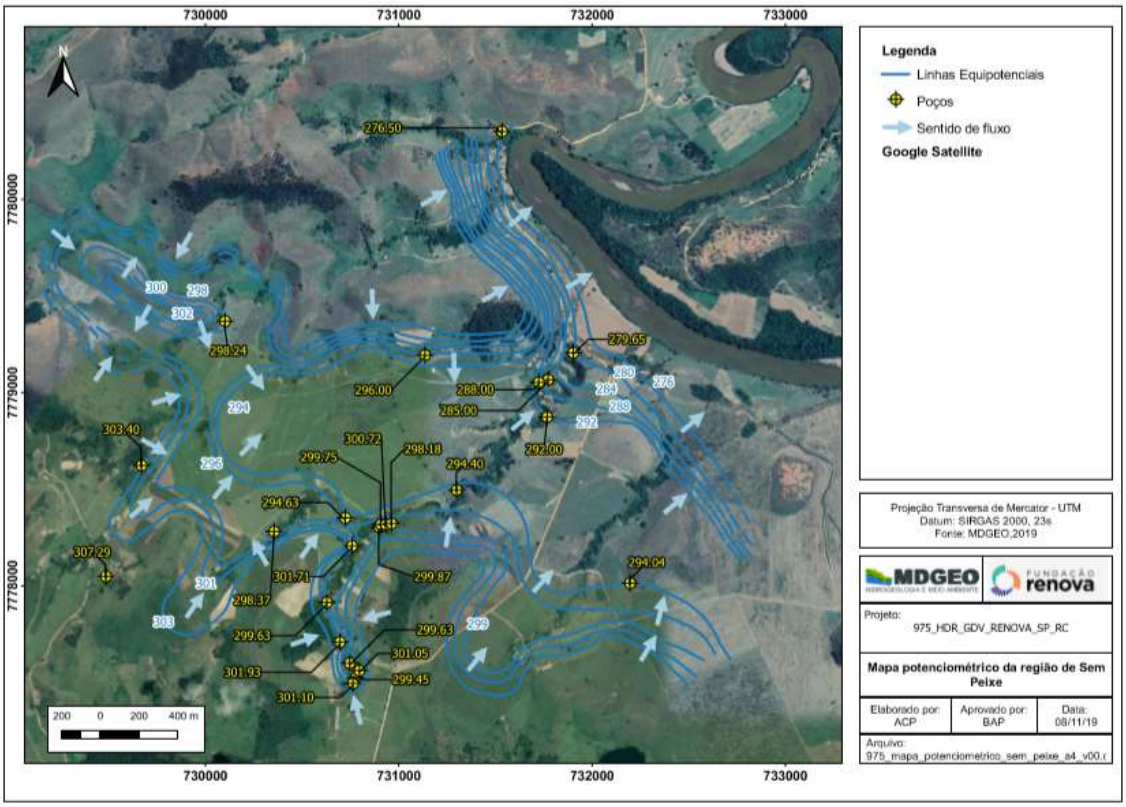
Mapa 1: Mapa potenciométrico da Fazenda Floresta e entorno. (fonte: MDGEO, 2018)

B. RELATÓRIO MDGEO "RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE SEM PEIXE – MG"

Este trabalho apresenta um estudo na região de Sem Peixe, que levou à elaboração do mapa potenciométrico da região. O trabalho foi dividido entre etapas de campo e de escritório. Nas etapas de campo foram realizados os levantamentos de dados e o cadastramento de pontos d'água subterrânea, tais como nascentes e poços. Nestas etapas foram cadastrados 29 pontos, dos quais 25 são poços e 4 são captação em nascentes. Nesta etapa também são levantados os dados de nível de água dos poços e cotas das nascentes, entre outros dados. Com os dados de localização dos poços e nascentes (figura 7.1 do relatório - **Anexo 1**), cotas e nível de água (tabelas 7.1 até 7.3 do relatório **anexo 1**) foi possível elaborar o mapa potenciométrico apresentado na figura 8.1 do relatório (**anexo 1**).

Com todos os dados em mãos, foi possível delimitar um único sistema hidrogeológico na região (o sistema aquífero cristalino), bem como determinar o fluxo de água subterrânea para este sistema de aquífero, conforme é apresentado no mapa potenciométrico. Este fluxo é no sentido do aquífero para o rio, sendo assim, o aquífero fornece água para o rio e não o contrário.

O **Mapa 2** apresenta cópia do mapa potenciométrico elaborado para este estudo.



Mapa 2: Mapa potenciométrico, com cota do nível estático dos poços, da região de Sem Peixe. (fonte: MDGEO, 2019)

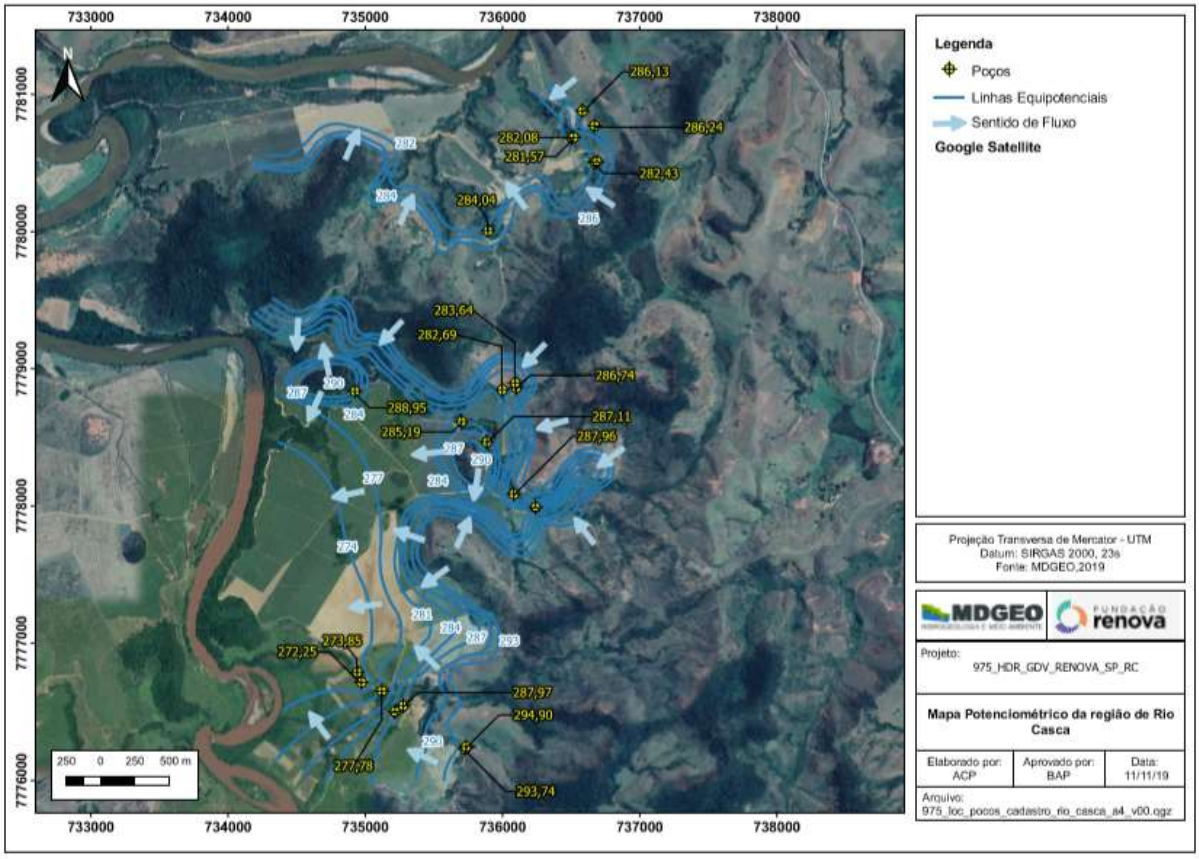
C. RELATÓRIO MDGEO "RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE RIO CASCA-MG"

Este estudo na região de Rio Casca em Minas Gerais, foi executado pela empresa MDGEO, com o objetivo de estudar a interação do aquífero com o rio Doce, sendo um dos produtos deste estudo a elaboração do mapa potenciométrico da região. O estudo ocorreu com uma etapa de campo onde foi realizado o levantamento e cadastramento dos pontos de água subterrâneas. Foram cadastrados 22 pontos de água entre cisternas e poços. A localização destes pontos é apresentada na figura 7.1 (do relatório - **Anexo 1**). Durante este cadastramento foram levantados dados referentes à estes pontos

como cota topográfica, nível de água e parâmetros físicos-químicos que são apresentados nas tabelas 7.1 a 7.3 do relatório (**Anexo 1**). Com todos os dados em mãos, se iniciou a etapa de escritório onde é realizada a interpretação dos dados e a confecção do mapa potenciométrico - figura 8.1(**Anexo 1**).

Durante a interpretação dos dados foi possível delimitar um único sistema hidrogeológico (o sistema de aquífero cristalino). Este sistema é descrito em detalhe no relatório (**Anexo 1**), onde pode-se verificar que o sentido de fluxo de água subterrânea para este aquífero, conforme e apresentado no mapa potenciométrico, se dá em direção ao rio, ou seja, o aquífero fornece água para o rio.

O **Mapa 3** apresenta cópia do mapa potenciométrico elaborado para este estudo.



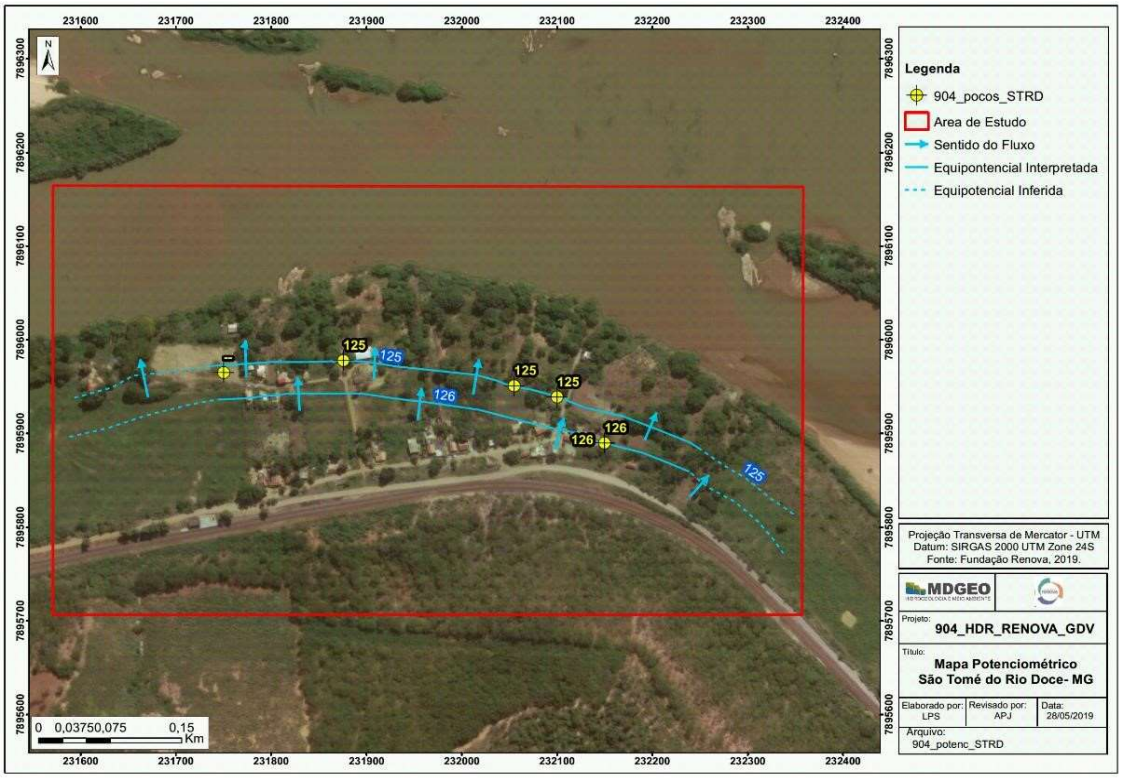
Mapa 3: Mapa potenciométrico, com cota do nível estático dos poços, da região de Rio Casca. (fonte: MDGEO, 2019)

D. RELATÓRIO MDGEO "RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO 1 DE SÃO TOMÉ (TUMIRITINGA/MG)"

Este estudo teve como objetivo a solicitação de outorga de um poço instalado em São Tomé do Rio Doce, para complementar os dados. Foi realizado o levantamento e cadastro dos pontos d'água subterrânea e a elaboração de um mapa potenciométrico. Neste estudo foram cadastrados 4 pontos de água subterrânea (todos poços) e também foi instalado um novo poço, totalizando 5 poços que foram utilizados para a elaboração do mapa potenciométrico - figura 9.1 do relatório (**Anexo 1**). Os dados dos pontos cadastrados são apresentados na tabela 8.2 do relatório (**Anexo 1**).

Com a análise dos dados foi possível delimitar um único sistema hidrogeológico (o sistema de aquífero cristalino). Este sistema é descrito em detalhe no relatório (**Anexo 1**), onde pode-se verificar que o sentido de fluxo de água subterrânea para este aquífero, conforme e apresentado no mapa potenciométrico figura 9.1 do relatório, se dá em direção ao rio Doce, sendo assim o aquífero fornece água para o rio.

O **Mapa 4** apresenta cópia do mapa potenciométrico elaborado para este estudo.



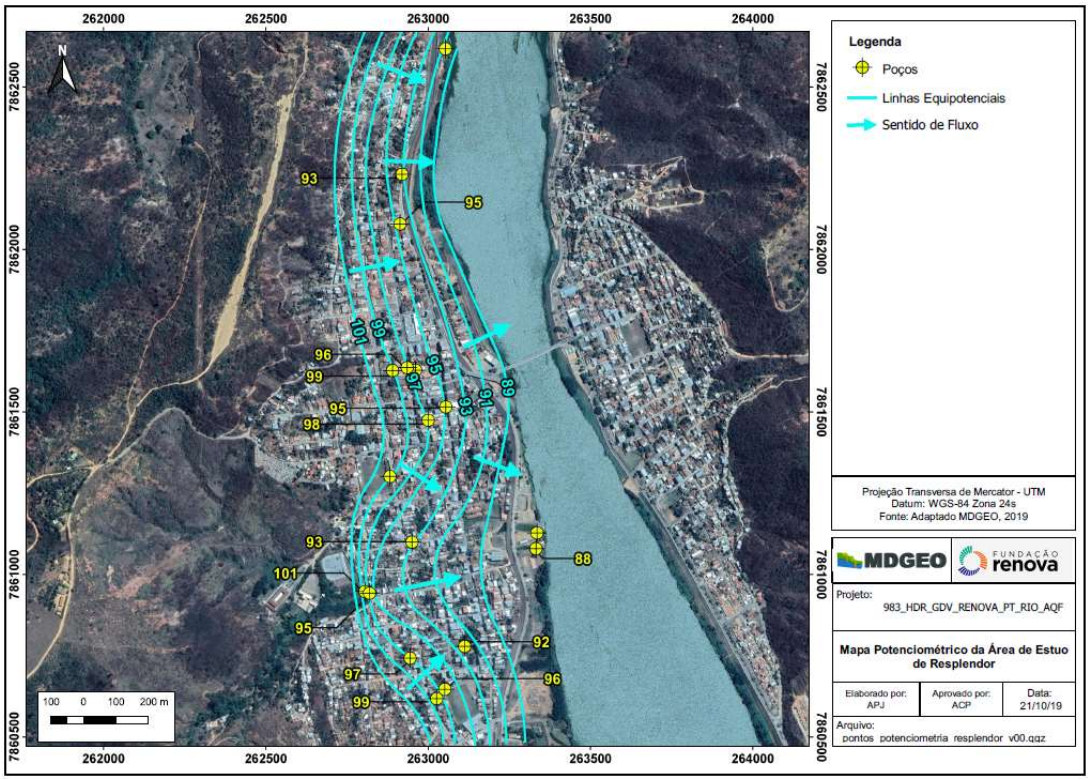
Mapa 4: Mapa potenciométrico da região próxima ao Poço 1 – São Tomé do Rio Doce analisando o nível estático (NA). (fonte: MDGEO, 2019)

E. RELATÓRIO MDGEO "RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO C01 DE RESPLENDOR/MG"

Este estudo teve como objetivo a solicitação de outorga de um poço instalado em Resplendor. Para complementar os dados, foi realizado o levantamento e cadastro dos pontos d'água subterrânea e a elaboração de um mapa potenciométrico. Neste estudo foram cadastrados 15 pontos de água subterrânea, dos quais 14 são poços e 1 é uma cisterna. Foi também instalado um novo poço C01, e utilizado o poço C02, que está desativado, totalizando 17 pontos utilizados para a elaboração do mapa potenciométrico figura 10.1 do relatório (**Anexo 1**). Os dados dos pontos cadastrados são apresentados na tabela 7.2 do relatório (**Anexo 1**).

Com a análise dos dados foi possível delimitar um único sistema hidrogeológico (sistema de aquífero cristalino), descrito em detalhe no relatório (**Anexo 1**), onde pode-se observar o sentido de fluxo de água subterrânea para este aquífero conforme é apresentado no mapa potenciométrico figura 10.1 do relatório e dados isotópicos. Este fluxo se dá do aquífero para o rio Doce, sendo assim, o aquífero fornece água para o rio. E o rio Doce não influencia na água do aquífero.

O **Mapa 5** apresenta cópia do mapa potenciométrico elaborado para este estudo.



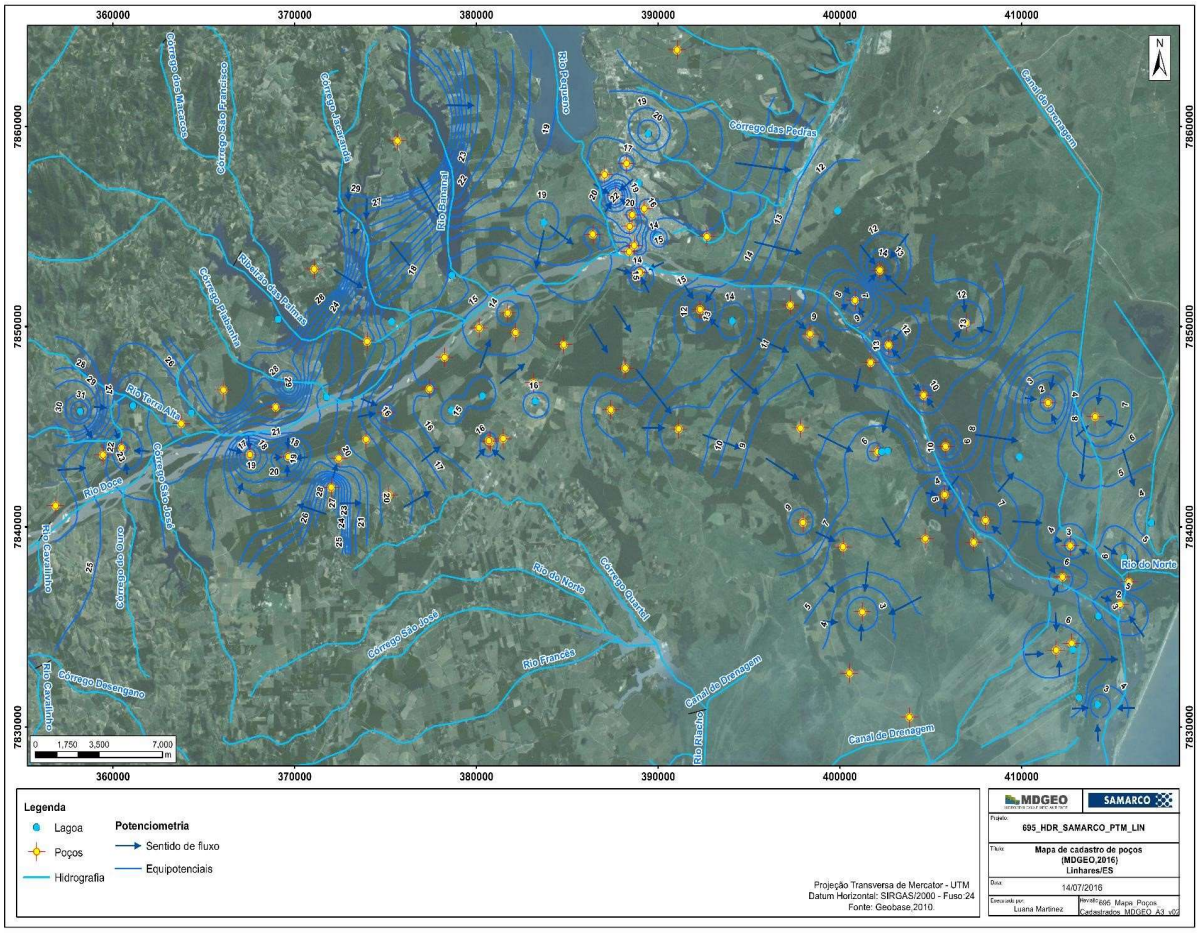
Mapa 5: Mapa potenciométrico, com cota do nível estático dos poços, da região próxima aos poços C01 e C02 (fonte: MDGEO, 2020)

F. RELATÓRIO DA MDGEO "ESTUDO HIDROGEOLÓGICO MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES – ES"

Este trabalho apresenta o mapa potenciométrico da região de Linhares. Para sua elaboração foi feito o levantamento e cadastramento de poços (95 poços) e lagoas (34 lagoas). Estes dados são apresentados na tabela 6.1 do relatório (**Anexo 1**). Com estes dados em mãos, foi elaborado o mapa potenciométrico figura 9.2 do relatório (**Anexo 1**).

Este mapa mostra um fluxo de águas subterrâneas em direção predominantemente para o rio Doce e para o Oceano. Há pontos de grande captação, onde há pequenas alterações locais no fluxo, insignificantes, indicando sobretudo que o aquífero abastece o rio Doce e não o rio Doce abastece o aquífero, sendo assim, a água sai do aquífero e vai para o rio.

O **Mapa 6** apresenta cópia do mapa potenciométrico elaborado para este estudo.



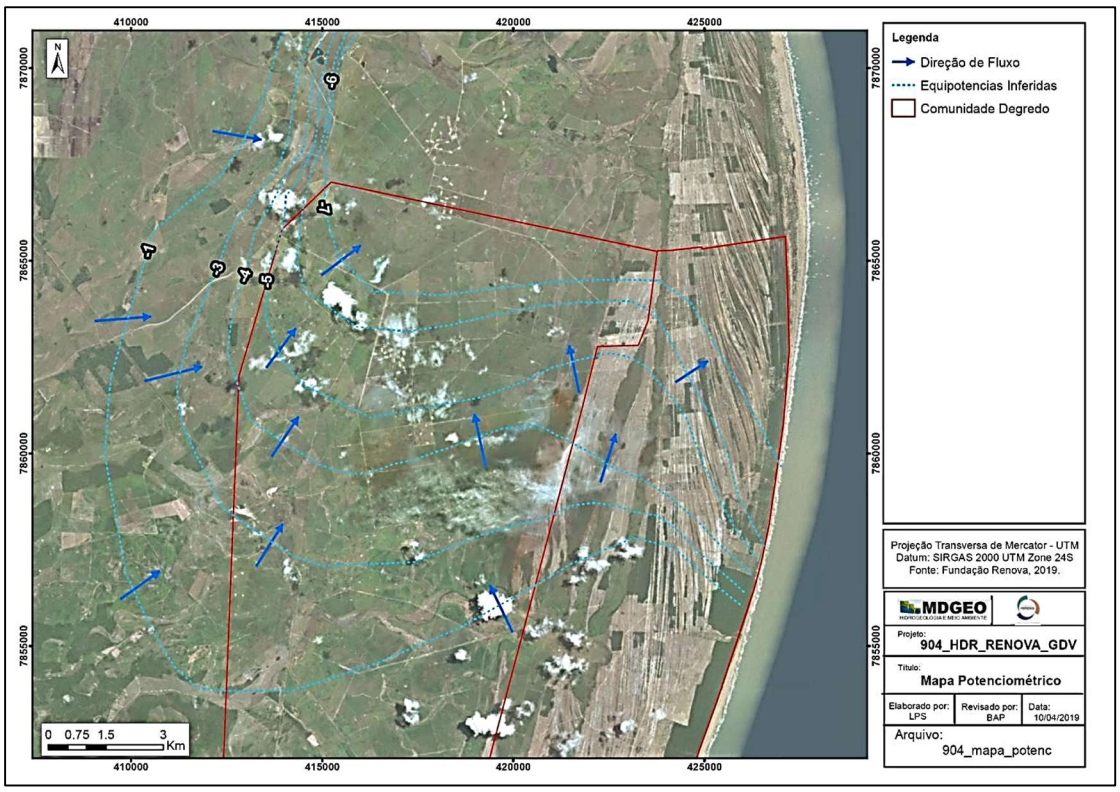
Mapa 6: Mapa potenciométrico da região de Linhares. (fonte: MDGEO, 2016)

G. RELATÓRIO DA MDGEO "RELATÓRIO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO DE DEGREDO, LINHARES-MG"

No estudo da região de Degredo, realizado pela MDGEO, foi feito o levantamento e cadastro de 169 poços rasos, 4 poços profundos e 8 pontos coleta de água como lagos e o rio Piranga. Neste trabalho foram caracterizadas as águas dos pontos cadastrados, assim como a cota do nível de água. Estes dados são apresentados nas tabelas 7.2 e 7.3 do relatório (**Anexo 1**). Com estes dados, foi possível a elaboração do mapa potenciométrico (figura 9.1, **Anexo 1**) e a caracterização do fluxo de água subterrânea na região.

Segundo este relatório, podemos afirmar que "De acordo com as informações interpretadas a partir do mapa potenciométrico, é pouco provável que a afirmação da comunidade sobre a 'Lama da Samarco' ter subido o Rio Ipiranga até chegar na comunidade e então contaminar o aquífero, pois o sentido de fluxo do mapa potenciométrico e do Rio Ipiranga, não são condizentes com a argumentação de que a 'Lama da Samarco' impactou a água nesta região."

O **Mapa 7** apresenta cópia do mapa potenciométrico elaborado para este estudo.



Mapa 7: Mapa potenciométrico preliminar da área de estudo (fonte: MDGEO, 2020)

H. MAPA DO CPRM

Com base no mapa hidrogeológico do Brasil de 2014 podemos observar que a região de estudo está inserida nas formações hidrogeológicas de sistema cristalino fraturado em sua maioria. Sendo assim, podemos inferir que não deve ter alteração de fluxo subterrâneo nesta região. Como o fluxo principal, segundo os estudos realizados, é sentido aquífero para o rio, podemos inferir que este fluxo se mantém para todo o aquífero.

I. RELATÓRIO DA APLYSIA "PARECERES TÉCNICOS INDEPENDENTES SOBRE A QUALIDADE DO PESCADO NO RIO DOCE E ZONA COSTEIRA ADJACENTE"

Neste relatório no capítulo "ASPECTOS RELATIVOS A EXTENSÃO DA PLUMA" foi executado o estudo da dinâmica dos sedimentos decorrente do acidente com a barragem de Fundão e seu comportamento na foz do rio Doce. Para este estudo, além dos levantamentos dos dados de correntes marinhas, direção predominantes de ventos, vazão do rio doce, pluviometria, entre outros, foi feito o modelo matemático da movimentação dos sedimentos utilizando o programa SisBaHia.

Este modelo matemático foi elaborado seguindo todas as premissas para um bom modelo, pois foi calibrado através dos processos de retro-análises. Através deste modelo podemos observar que a pluma de rejeito se deslocou preferencialmente para sul da foz do rio Doce. Estes dados colaboram com os outros estudos que mostram que é improvável que a pluma de rejeito que percorreu o rio Doce possa ter atingido a água subterrânea e/ou água superficial na região de Degredo, vindo pelo oceano.

J. RELATÓRIO DA RHAMA "AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES AFETADAS PELA TURBIDEZ NA COSTA DO ESPÍRITO SANTO."

Este trabalho apresenta as possibilidades do rejeito, que chegou até a foz do rio Doce, ter atingido águas superficiais na região. Para que este impacto possa acontecer, duas premissas precisam ser atendidas simultaneamente: (a) dependendo das condições batimétricas dos locais de mananciais, juntamente com as condições hidrológicas e hidráulicas, a água do mar pode escoar no sentido do mar (jusante) para o interior (montante) em função do nível e da variação da maré, vazão e nível no manancial; e (b) a água do mar na costa, neste mesmo momento, deve estar transportando rejeitos do rompimento da barragem de Fundão.

Para elaboração do estudo foram utilizados os seguintes dados:

A- Pontos de dados pluviométricos, indicadores de precipitação e isoietas de toda a região costeira;

B- Fluviométricos, indicadores de vazões variação de vazões Q95 e Q10 para todos os pontos de controle;

C- Variação de maré regional e local - dados da marinha dos últimos anos;

D- Qualidade da água de poços na região.

Após apresentar as metodologias aplicadas e as fórmulas de cálculos, o trabalho chega à conclusão que as possibilidades do atendimento das duas premissas ocorrerem concomitantemente é ínfima, e que isso ocorra na área de Degredo é ainda menor, pois os modelos de deriva de sedimento na costa do Espírito Santo indicam que as correntes marítimas levaram a pluma de rejeito para o sul no litoral do Espírito Santo, dados apresentados no relatório da empresa APLYSIA.

3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ESTUDOS AVALIADOS

Figura 1 – Distribuição Espacial dos estudos da MDGEO avaliados (circulados em azul)

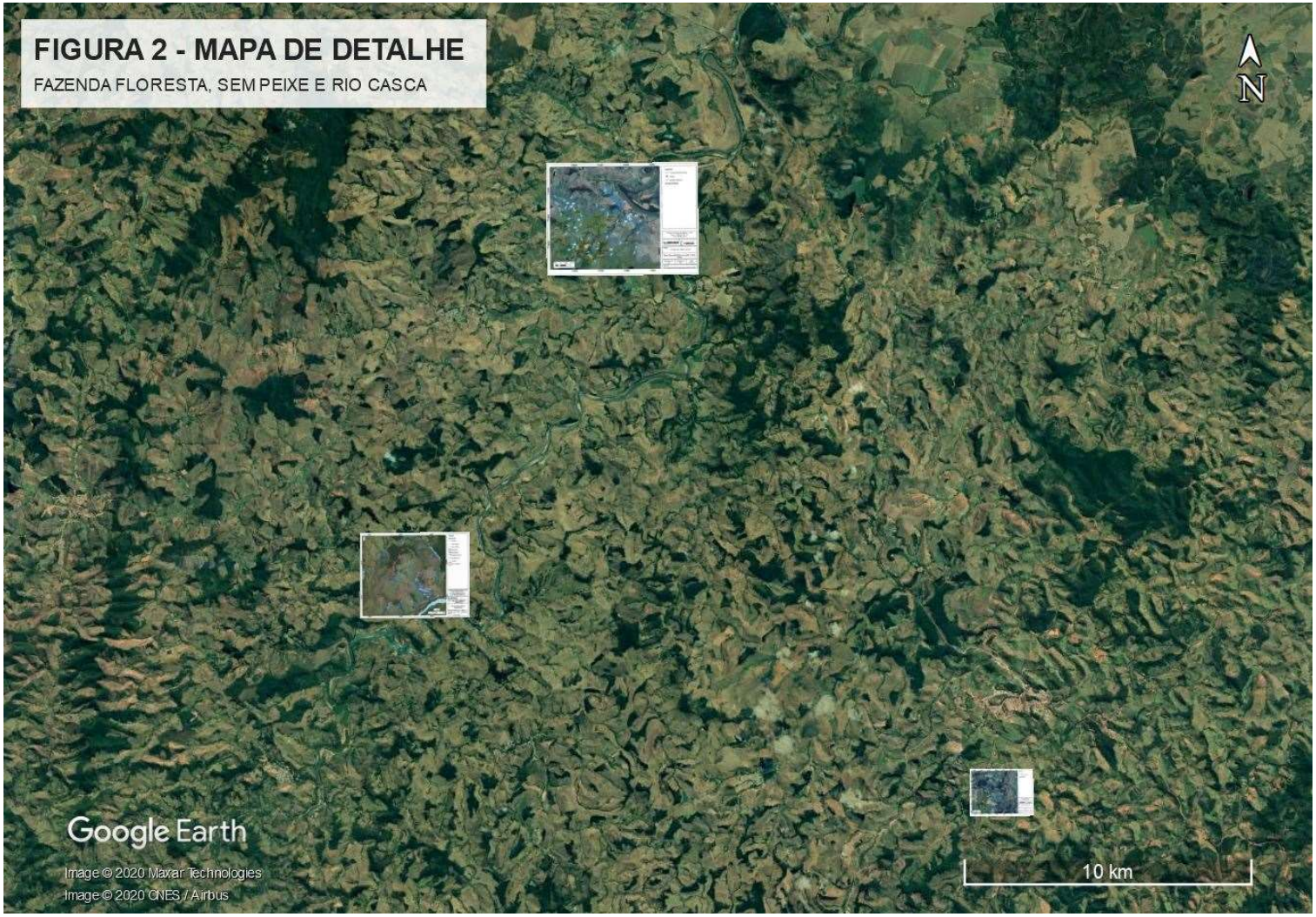


Figura 2 – Detalhe para os estudos da Fazenda Floresta, Sem Peixe e Rio Casca

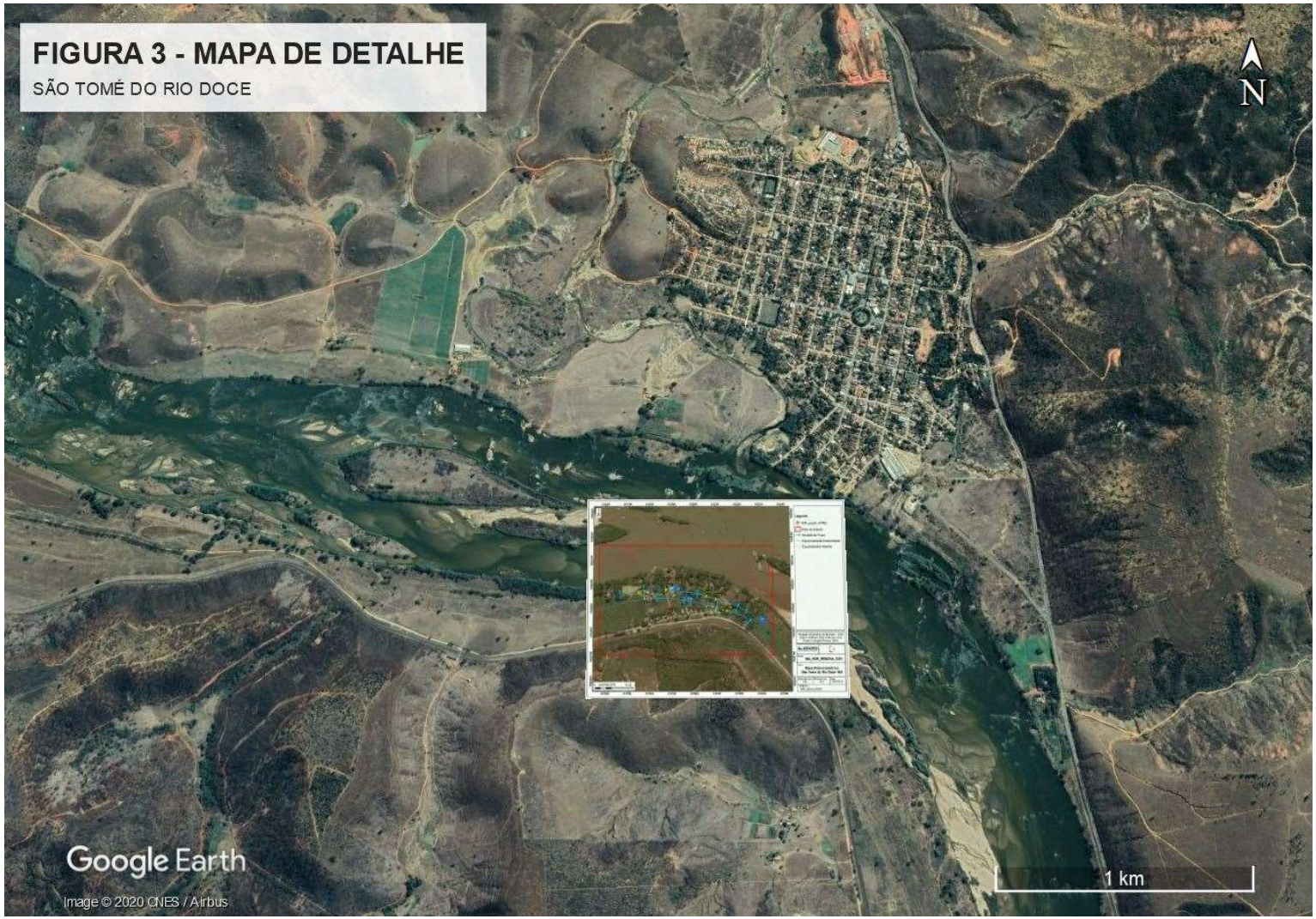


Figura 3 – Detalhe para os estudos de São Tomé do Rio Doce

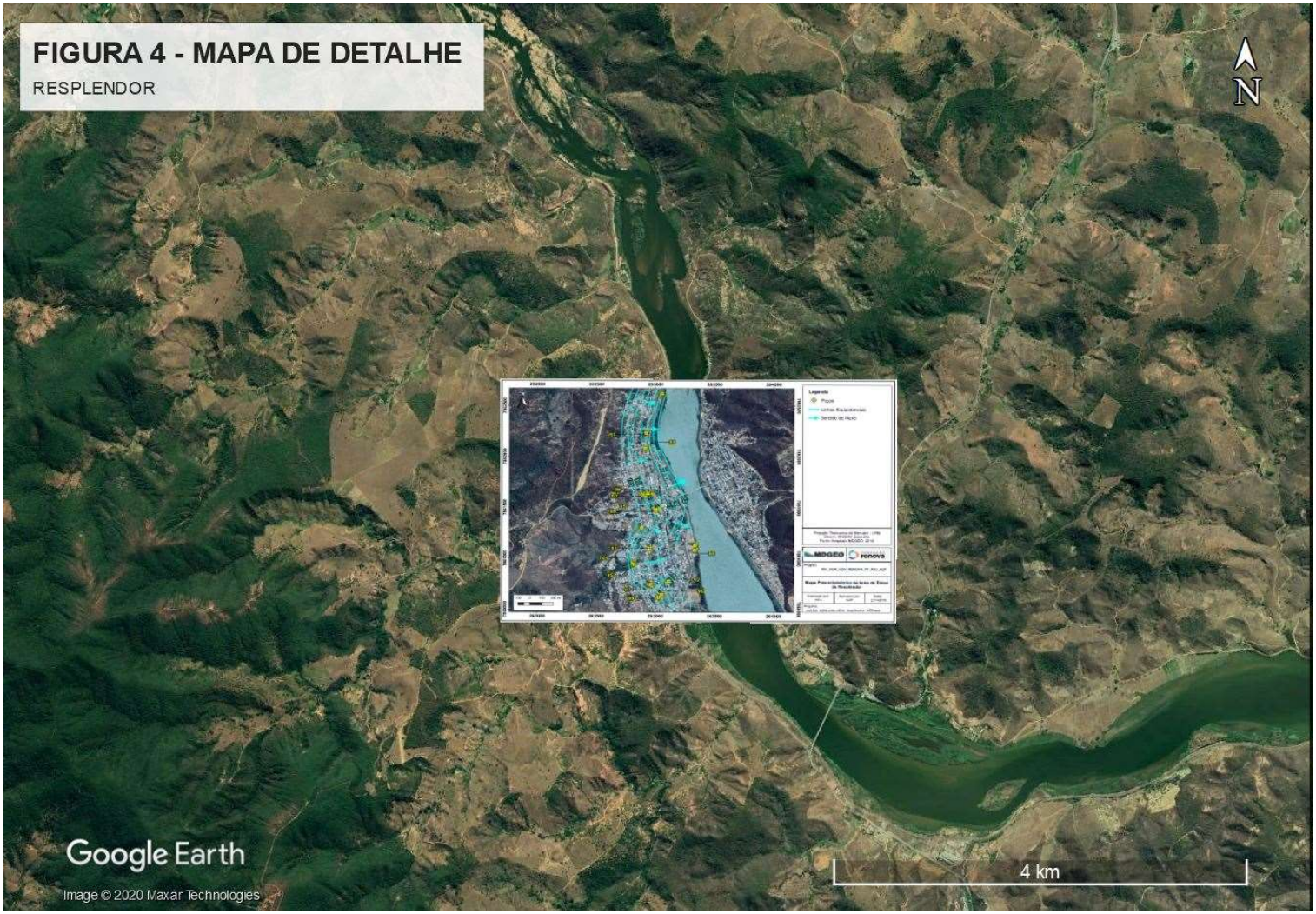


Figura 4 – Detalhe para os estudos de Resplendor

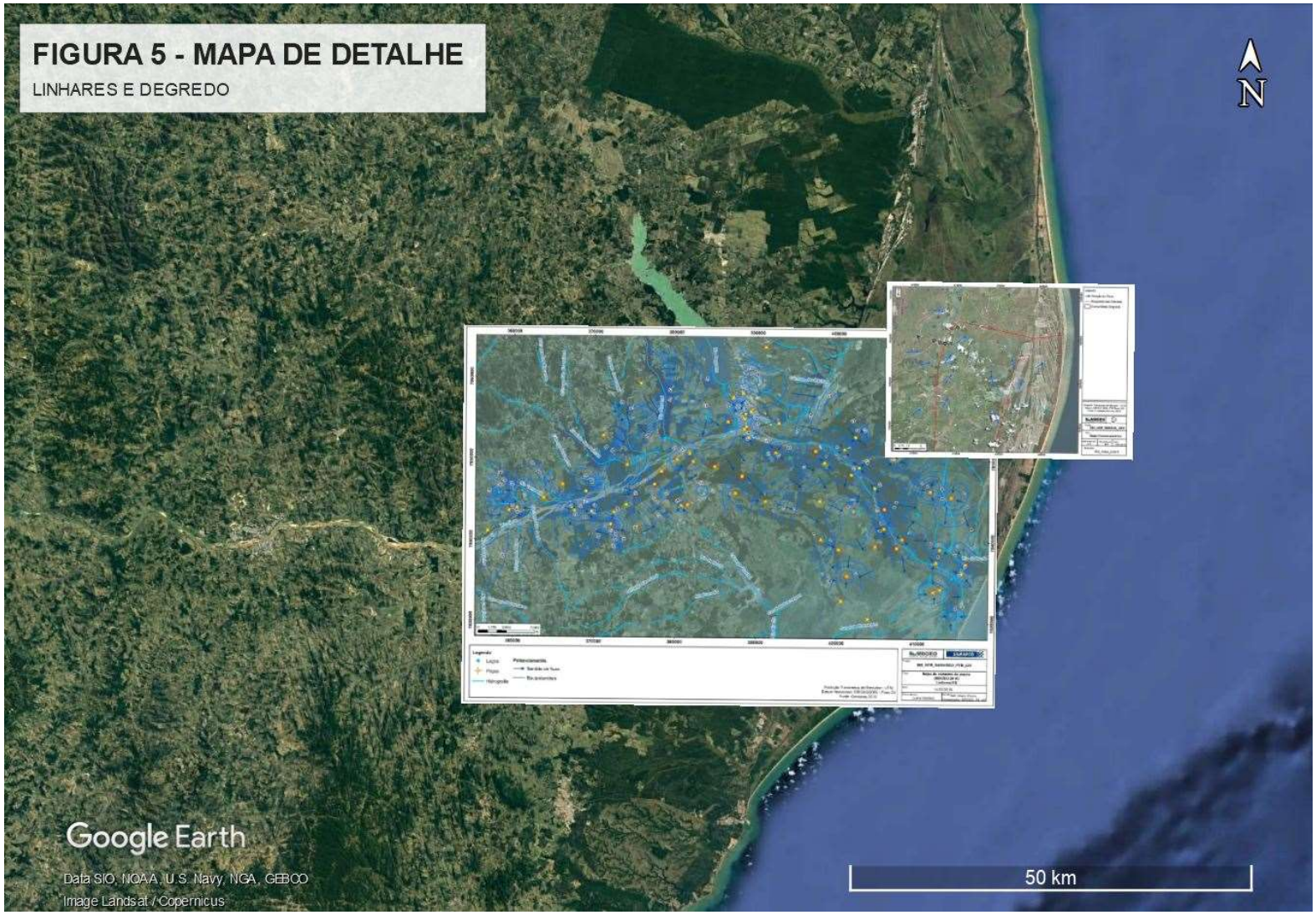


Figura 5 – Detalhe para os estudos de Linhares e Degredo

4. CONCLUSÕES

Com base no discutido nos relatórios apresentados na forma de pequenos resumos ao longo deste trabalho, pode-se inferir que a tendência geral do fluxo é no sentido do aquífero para o rio, e não no sentido inverso.

ANEXOS

ANEXO 1 - Relatórios

RELATÓRIO A

FUNDAÇÃO renova

reparar, restaurar, reconstruir

RELATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E PROPOSIÇÃO DE REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DA FAZENDA FLORESTA – RIO DOCE, MG

MARÇO DE 2018

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Título do Projeto:	ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NA FAZENDA FLORESTA – Rio Doce, MG
Contrato:	4500174059
Vigência Contrato:	26/03/2018
Centro de Custo:	780
Local:	Rio Doce/MG

DADOS DA CONTRATANTE

Contratante:	FUNDAÇÃO RENOVA
CNPJ:	25.135.507/0001-8
Endereço:	Avenida Getúlio Vargas, 671, Sala 400, 4º Andar, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.112-021
Gestor do Contrato:	Flávia de Barros e Silva
Contato:	31-3557-6084
Fiscal projeto:	Flávia de Barros e Silva
Contato fiscal:	(31) 3559-5086 - (31) 98415-0393 / (31) 98472 - 8286

RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

Razão Social:	MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.
CNPJ:	38.625.927/0001-90
Responsável Técnico:	Antônio Carlos Bertachini
Contato:	Rua Gararu, 389, Sagrada Família 31.035-470 – Belo Horizonte – MG Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602 Fax: (+55) 31-3481-8911 mdgeo@mdgeo.com.br
Anotação de Resp. Técnica – ART:	14201800000004364792 – Antônio Carlos Bertachini – Responsável Técnico – Geólogo CREA SP 70902/D

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Antônio Carlos Bertachini (ABT) – Geólogo, Msc. CREA SP 70902/D	Consultor em Hidrogeologia	Consultor em Hidrogeologia Responsabilidade técnica
Breno Alexandre Pereira (BAP) – Eng. Geo. CREA MG 81028/D	Hidrogeólogo Sênior	Responsabilidade técnica Gerente do Projeto
José Cláudio Cruz Ulliano (JCU) – Eng. Geo.	Analista de Hidrogeologia	Execução do projeto Atividade de campo
Matheus Serri Moulin (MSM) - Geólogo	Analista de Hidrogeologia	Elaboração do relatório Atividades de campo

REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROVAÇÃO	FINALIDADE
V00	18/01/18	MSM/JCU		Elaboração relatório
RI	22/01/18	BAP	-	Revisão interna
RIC	23/01/18	MSM/JCU	BAP	Revisão interna corrigida
R01	24/01/18	MSM/JCU	-	Para revisão do cliente.
R02	06/03/18	MSM/JCU	FUNDAÇÃO RENOVA	Revisão do cliente.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7

2 OBJETIVO 9

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO 10

4 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA 11

4.1 CLIMA E VEGETAÇÃO 11
4.2 REDE DE DRENAGEM 11
4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 13

5 GEOLOGIA 15

5.1 GEOLOGIA REGIONAL 15
5.2 GEOLOGIA LOCAL 17

6 METODOLOGIA DE TRABALHO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES 19

7 INVENTÁRIO DE PERÍODO SECO 21

7.1 NASCENTES 23
7.1.1 SCA-NA-01 25
7.1.2 SCA-NA-02 26
7.1.3 SCA-NA-03 27
7.1.4 SCA-NA-04 28
7.1.5 SCA-NA-05 29
7.2 DRENAGENS SECAS 30
7.2.1 SCA-DS-01 31
7.3 CADASTRO DE USUÁRIOS 32
7.3.1 SCA-US-01 33
7.3.2 SCA-US-02 33
7.4 MEDIÇÃO DE VAZÃO 34
7.4.1 SCA-MV-01 (Córrego Micaela) 35
7.4.2 SCA-MV-02 (Córrego Santo Antônio) 36
7.5 PONTOS DE CONTROLE E FUROS DE SONDAGEM 37

8 INVENTÁRIO DE PERÍODO CHUVOSO 42

8.1 NASCENTES 44
8.1.1 SCA-C-NA-01 46
8.1.2 SCA-C-NA-02 47
8.1.3 SCA-C-NA-03 48
8.1.4 SCA-C-NA-04 49
8.1.5 SCA-C-NA-05 50
8.2 DRENAGENS SECAS 51
8.2.1 SCA-C-DS-01 52
8.3 MEDIÇÃO DE VAZÃO 53
8.3.1 SCA-C-MV-01 (Córrego Micaela) 55
8.3.2 SCA-C-MV-02 (Córrego Santo Antônio) 56

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL 57

9.1 CONCEITOS 57
9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 58
9.2.1.1 Sistema Aquífero Poroso 58
9.2.1.2 Sistema Aquífero Cristalino ou Fraturado 58
9.3 RECARGA, DESCARGA E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA 59
9.3.1 RECARGA 59
9.3.2 FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA – POTENCIOMETRIA 59
9.3.3 DESCARGA 62

10 PROJETO DE REDE DE MONITORAMENTO 65

10.1 ATUALIZAÇÃO NA LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS 69
10.2 MONITORAMENTO QUALITATIVO 70
10.3 MONITORAMENTO QUANTITATIVO 71
10.4 MONITORAMENTO ISOTÓPICO 73

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS 74

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Localização da área de estudo (Fazenda Floresta e entorno). 10
Figura 4.1: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste. 12
Figura 4.2: Hidrografia da área de estudos. 13
Figura 4.3: Mapa geomorfológico da Folha Ponte Nova adaptado (CPRM, 1991). 14
Figura 5.1: Mapa geológico regional. Modificado de CPRM (1991). 16
Figura 5.2: Mapa geológico da área de estudos. Modificado de CPRM (1991). 18
Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados durante o inventário de pontos d´água em período seco. 22
Figura 7.2: Mapa de localização das nascentes inventariadas em período seco. 23
Figura 7.3: Localização da drenagem seca (Período seco). 30
Figura 7.4: Mapa de localização dos usuários cadastrados durante o inventário. 32
Figura 7.5: Mapa de localização dos pontos de medição de vazão na campanha do período de estiagem. 34
Figura 7.6: Mapa de localização dos pontos de controle cadastrados no inventário de período seco. 37
Figura 7.7: Mapa com a relação de pontos cadastrados e de pontos do plano de perfuração. 41
Figura 8.1: Localização dos pontos recadastrados no inventário de período chuvoso. 43
Figura 8.2: Mapa de localização das nascentes inventariadas nos períodos seco e chuvoso. 45
Figura 8.3: Localização da drenagem seca, cadastrada durante inventário de pontos d'água nos períodos seco e chuvoso. 51
Figura 8.4: Mapa de localização dos pontos de medição de vazão em período seco e chuvoso. 54
Figura 9.1: Perfil A - A'. (Período seco). 60
Figura 9.2: Perfil B - B'. (Período seco). 60
Figura 9.3: Mapa potenciométrico da Fazenda Floresta e entorno. 61
Figura 9.4: Mapa dos limites das sub-bacias dos córregos Micaela e Santo Antônio. 63
Figura 10.1: Mapa de proposta da rede de monitoramento inicial. 66
Figura 10.2: Perfil construtivo esperado para os piezômetros propostos. 68
Figura 10.3: Mapa da rede de monitoramento quali-quantitativa atualizado. 70
Figura 10.4: Medidor de nível d'água. 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1: Localização das nascentes cadastradas e descrição dos respectivos parâmetros físico-químicos medidos em campo por ocasião da campanha do período seco. 24
Tabela 7.2: Localização e descrição da drenagem seca do ponto SCA-DS-01 (Período seco). 30
Tabela 7.3: Localização e descrição dos usuários de água no entorno da Fazenda Floresta. 32
Tabela 7.4: Localização e parâmetros físico-químicos dos pontos de medição de vazão obtidos no campo por ocasião da campanha do período seco. 35
Tabela 7.5: Correlação dos pontos de controle do inventário de pontos d'água com o plano de sondagem da Fundação Renova na Fazenda Floresta. 38
Tabela 8.1: Localização e parâmetros físico-químicos medidos nas nascentes da área de estudo nas campanhas dos períodos seco e chuvoso. 44
Tabela 8.2: Localização da drenagem seca do ponto SCA-DS-01 e SCA-C-DS-01 (Períodos seco e chuvoso. 51

Tabela 8.3: Localização e parâmetros físico-químicos dos pontos de medição de vazão em período seco e chuvoso. 54
Tabela 9.1: Síntese dos cálculos da recarga efetiva para a área de estudos. 64
Tabela 10.1: Localização dos instrumentos propostos para implementação da rede de monitoramento quali/quantitativa. 66
Tabela 10.2: Localização dos pontos propostos para a instalação dos instrumentos da rede de monitoramento quali/quantitativa após atualização. 69
Tabela 10.3: Parâmetros previstos para a amostragem e análise de água subterrânea. 71
Tabela 10.4: Localização do ponto de medição de vazão com micromolinete no Córrego Santo Antônio. 73

LISTA DE FOTOS

Foto 7.1: A) Local do início da nascente SCA-NA-01, presença de blocos rochosos e água represada. B) Vista à montante, blocos rochosos e vegetação abundante no local (Período seco). 25
Foto 7.2: A) Localidade de um dos pontos da nascente SCA-NA-02, com facão indicando a direção do fluxo superficial. B) Vista à montante com indicação da direção do fluxo superficial, região côncava, com vegetação rasteira baixa do tipo pastagem (Período Seco). 26
Foto 7.3: A) Vista para jusante do ponto SCA-NA-03, evidenciando a ocorrência de solo saturado, presença de vegetação típica de solos hidromórficos e a indicação da direção do fluxo superficial. B) Vista lateral do ponto, vegetação do tipo pastagem e de grande porte circundante ao local (Período Seco). 27
Foto 7.4: A) Vista à montante da SCA-NA-04, local da saída do brejo com indicação da direção do fluxo superficial. B) Canalização e reservatório utilizado para dessedentação de animais. (Período Seco). 28
Foto 7.5: A) Vista à montante da SCA-NA-05, região tomada por gramíneas e rodeada por pastagens, com indicação da direção do fluxo superficial. B) Vista à jusante da nascente com indicação da direção do fluxo superficial. (Período Seco). 29
Foto 7.6: A) Vista à jusante da SCA-DS-01, região com solo saturado próximo à confluência com o Rio do Peixe, com indicação da direção do suposto fluxo superficial. B) Vista a montante da drenageme indicação da direção do suposto fluxo superficial. (Período Seco). 31
Foto 7.7: Ponto SCA-US-01. A) Local da captação, bomba submersa conectada a adutora de 1". B) Ambiente onde ocorre a captação e vista da residência dos usuários em segundo plano. 33
Foto 7.8: Ponto SCA-MV-01. A) Vista à montante da seção de medição. B) Vista à jusante do Córrego Micaela. Período Seco. 35
Foto 7.9: Ponto SCA-MV-02. A) Vista a jusante da seção medida. B) Vista a montante do Córrego do Santo Antônio. Período Seco. 36
Foto 7.10: A) Processo de medição do nível d'água no ponto SCA-FS-01. B) Vista para a praça de sondagem onde está localizado o furo de sondagem. 39
Foto 7.11: Pontos de controle das Pilhas I e II. A) Ponto SCA-PC-03 (Pilha I). B) Ponto SCA-PC-16 (Pilha II), furo de sondagem obstruído a partir de 4,0 m. 40
Foto 7.12: Pontos de controle do Platô II. A) Ponto SCA-PC-17, visada para a área em etapa de obras. B) Ponto SCA-PC-18, furo de sonda obstruído a partir de 1,3 m. 40
Foto 8.1: Situação SCA-NA-01 em período seco. 46
Foto 8.2: Situação SCA-C-NA-01 em período chuvoso. 46
Foto 8.3: Infiltração drenagem SCA-NA-01. 46
Foto 8.4: Ressurgência drenagem SCA-C-NA-01. Período chuvoso. 46
Foto 8.5: Situação SCA-NA-02 em período seco. 47
Foto 8.6: Situação SCA-C-NA-02 em período chuvoso. 47
Foto 8.7: Situação SCA-NA-03, em período seco. 48
Foto 8.8: Situação SCA-C-NA-03 em período chuvoso, cerca de 100 m à jusante do ponto cadastrado em período seco. 48
Foto 8.9: Situação SCA-NA-04 em período seco. 49
Foto 8.10: Situação SCA-C-NA-04 em período chuvoso. 49
Foto 8.11: Situação SCA-NA-05 em período seco (área de brejo). 50
Foto 8.12: Situação SCA-C-NA-05 em período chuvoso (nascente em contato solo/rocha). 50
Foto 8.13: Situação SCA-DS-01 em período seco. 52

Foto 8.14: Situação -SCA-C-DS-01 em período chuvoso. 52
Foto 8.15: Barramento à montante SCA-DS-01. 53
Foto 8.16: Água empoçada em dique na SCA-C-DS-01. 53
Foto 8.17: Situação SCA-MV-01 em período seco (vista para montante). A seta em amarelo indica o sentido do fluxo na drenagem. 55
Foto 8.18: Situação SCA-C-MV-01 em período chuvoso (vista para montante). Maior concentração de areia no leito do córrego em relação ao período seco. A seta em amarelo indica o sentido do fluxo na drenagem. 55
Foto 8.19: Situação SCA-MV-02 em período seco (vista para montante). A seta em amarelo indica o sntido do fluxo na drenagem. 56
Foto 8.20: Situação SCA-C-MV-02 em período chuvoso (vista para montante). A seta em amarelo indica o sentido do fluxo na drenagem. 56

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
ANEXO II – FICHAS DE CAMPO
ANEXO III – PROCEDIMENTO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO COM INSTRUMENTO MÓVEL

1 INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, em decorrência do rompimento da Barragem de Fundão, nas dependências do Complexo Germano em Mariana - MG, de responsabilidade da SAMARCO MINERAÇÃO, ocorreu o deslizamento 40 milhões de m³ de rejeitos do processo de beneficiamento do minério de ferro sobre o Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio do Carmo, o qual dá origem ao Rio Doce a partir do seu encontro com o Rio Piranga.

Parte da lama que foi liberada sobre os cursos d´água na bacia do Rio Doce chegou até a foz desse rio, no município de Regência, no estado do Espírito Santo, em 22 de novembro de 2015.

A grande parte do material liberado pelo rompimento da Barragem ficou retido na Usina Hidrelétrica Risoleta Neves – UHE Risoleta Neves (antigamente denominada UHE Candonga). Até a UHE Risoleta Neves, aproximadamente 26,5 milhões de m³ de rejeito ficaram retidos e foram depositados na porção a montante da bacia, representando cerca de 82% de todos o material extravasado da Barragem de Fundão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017).

A UHE Risoleta Neves, localizada entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, e em operação desde o ano de 2004, teve então que interromper suas operações devido ao acúmulo de material no seu reservatório. A fim de permitir a retomada das atividades da UHE Risoleta Neves, diversas atividades e estudos vêm sendo desenvolvidos - inicialmente pela própria SAMARCO e mais recentemente pela Fundação Renova[1] -, objetivando a retirada do material depositado no reservatório da UHE e a sua deposição em locais adequados.

Esses estudos conduziram ao desenvolvimento de um projeto para dragagem e deposição do material dragado da barragem da UHE Risoleta Neves na região denominada Fazenda Floresta, adquirida pela Fundação Renova para tal finalidade.

[1] A Fundação Renova foi a entidade criada a fim de gerenciar os recursos destinados a mitigar os impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Sua missão é implementar e gerir os programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem, previstos no Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado pelo SAMARCO com o Governo Federal, os estados de Minas Gerais e Espirito Santo e diversos outros órgão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017).

O contrato 450074059 firmado entre Fundação Renova e MDGEO, em março de 2017, estabeleceu como escopo o desenvolvimento de estudos hidrogeológicos na região da Fazenda Floresta, a fim de se avaliar o risco de contaminação dos aquíferos locais pela deposição dos rejeitos na área da Fazenda Floresta e definir um plano de monitoramento hídrico.

Este relatório é o resultado dos trabalhos realizados no decorrer do mês de junho de 2017 a janeiro de 2018. As atividades executadas compreenderam a elaboração de um inventário de pontos d'água (nascentes, drenagens secas); a medição de vazão em período seco e chuvoso; o levantamento de poços de bombeamento e dos instrumentos de monitoramento de nível d'água da região; a realização do cadastro de usuários de água da Fazenda Floresta e seu entorno; e ainda, a proposição de implantação de uma rede de monitoramento piezométrico e hidroquímico. Essa etapa compreendeu parte dos estudos sobre a caracterização do aquífero.

Nas próximas etapas serão perfurados poços de monitoramento para avaliação e monitoramento da qualidade da água subterrânea, bem como a continuidade do monitoramento da vazão nos cursos d'água principais (Córrego do Santo Antônio e Micaela).

Com os trabalhos finalizados, poderá ser caracterizada a condição do aquífero antes da deposição do material bem como avaliar possíveis impactos da deposição do material dragado do reservatório, e assim propor medidas de mitigação e controle para qualquer efeito adverso identificado.

2 OBJETIVO

O estudo tem por objetivo realizar a caracterização hidrogeológica da região da Fazenda Floresta, e de seu entorno, para posterior avaliação de possíveis impactos da disposição dos sedimentos dragados do reservatório da UHE Risoleta Neves para estruturas previstas para a Fazenda Floresta (diques de contenção, pilhas de disposição e bacias de sedimentação), considerando as condições naturais do aquífero da localidade.

A realização deste estudo, até o momento, foi precedida por duas campanhas - períodos seco e chuvoso -, para elaboração de inventário de pontos d'água e também de visita técnica para locação de poços de monitoramento quantitativo e qualitativo da água subterrânea.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo - Fazenda Floresta e entorno -, localiza-se no município de Rio Doce, que se encontra na porção sudeste do estado de Minas Gerais (Figura 3.1), distante em linha reta, aproximadamente, 200 km de Belo Horizonte.

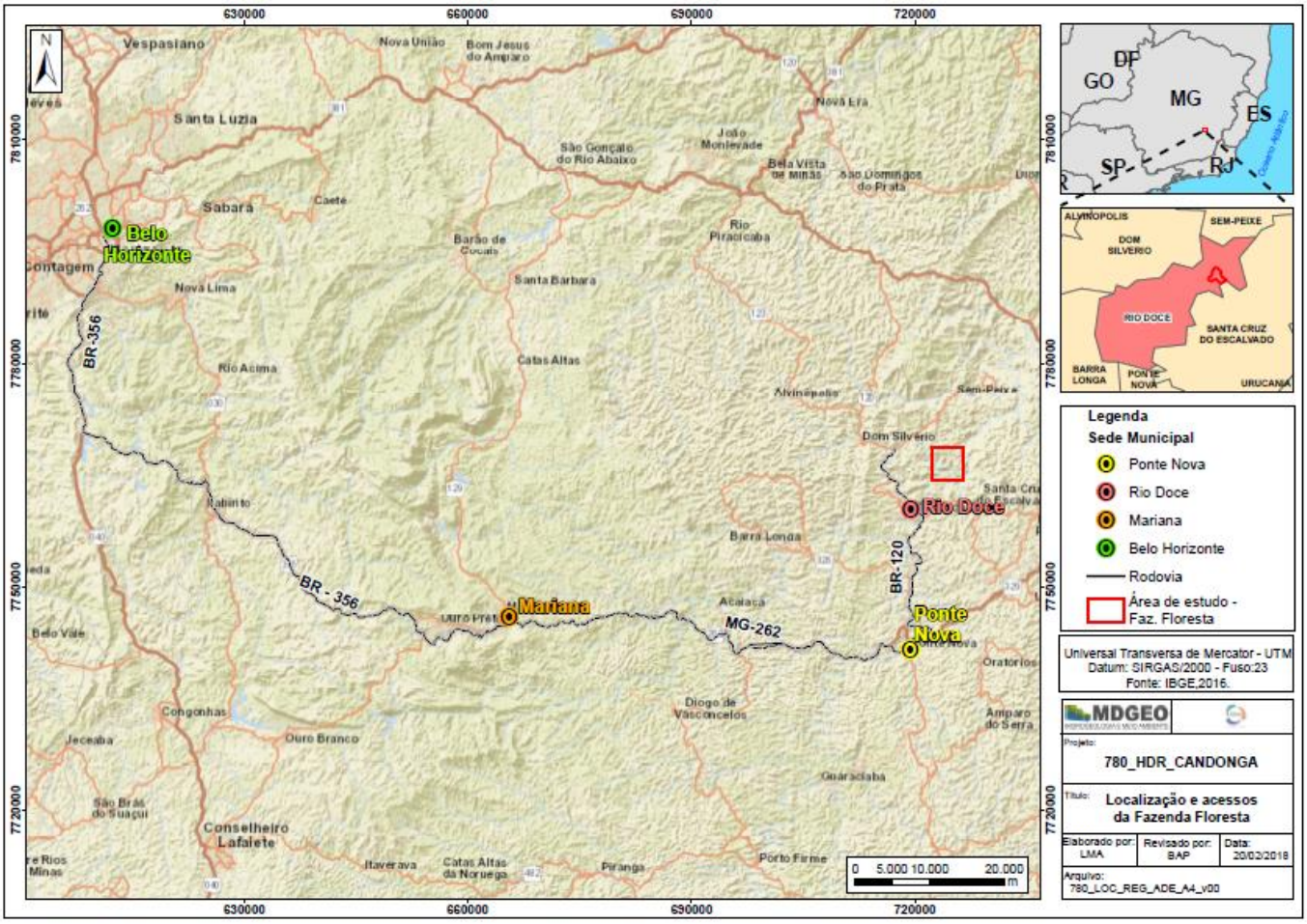


Figura 3.1: Localização da área de estudo (Fazenda Floresta e entorno).

O principal acesso, partindo de Belo Horizonte, é realizado pela BR-356, com acesso pelo trevo do condomínio Alphaville, seguindo até Mariana. Toma-se então a MG-262 (Rod. Luís Martins) por 62 km, até o município de Ponte Nova. Daí, seguindo pela BR-120, o município de Rio Doce fica a aproximadamente 20 km.

Por sua vez, a Fazenda Floresta está a aproximadamente 15 km da sede do município de Rio Doce, acessada por estrada de terra que margeia, pela esquerda, o rio homônimo.

4 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as características dos componentes fisiográficos existentes na região da Fazenda Floresta em Rio Doce (MG), tais como vegetação, clima, rede hidrográfica/drenagens e aspectos geomorfológicos.

4.1 CLIMA E VEGETAÇÃO

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a classificação climática de Köppen para região é predominantemente Aw (semi-úmido) em áreas de menor altitude, caracterizada por temperaturas médias anuais entre 24,7º-21,4ºC, com estações bem definidas e concentração de chuvas entre outubro e março (CPRM, 1991).

A etapa de Compilação de Dados (MDGEO, 2017) evidenciou que a estação pluviométrica mais próxima à área de estudo é a Estação Rio Casca, sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), que apresenta uma séria de dados de monitoramento de 1942 até a atualidade. Com isso, sabe-se que o regime pluviométrico anual da região é, em média, 1.321,3 mm/ano, com duas estações bem definidas - uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa de outubro a março -, definindo assim o ano hidrológico da região, corroborando as informações existentes em CPRM (1991), anteriormente citadas.

De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga (CBHRP, 2013) a região está situada na Zona da Mata Mineira, onde os aspectos vegetativos refletem claramente a atuação antrópica sobre o meio natural. Com isso, a localidade compreende a combinação de resquícios de mata fechada, capoeiras e pastagens.

4.2 REDE DE DRENAGEM

A área de estudo está localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (RHAS), definida pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2010) como de alto contingente populacional e importância econômica ligada à sua indústria. O município de Rio Doce situa-se na porção oeste da RHAS, sendo que a principal bacia hidrográfica que compõem a região é a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD).

O Rio Doce propriamente dito inicia-se no município homônimo, a partir da confluência dos rios do Carmo e Piranga. A área de estudo abrange uma pequena parte da Sub-bacia hidrográfica do Rio Piranga (CBHRP, 2013) (Figura 4.1).

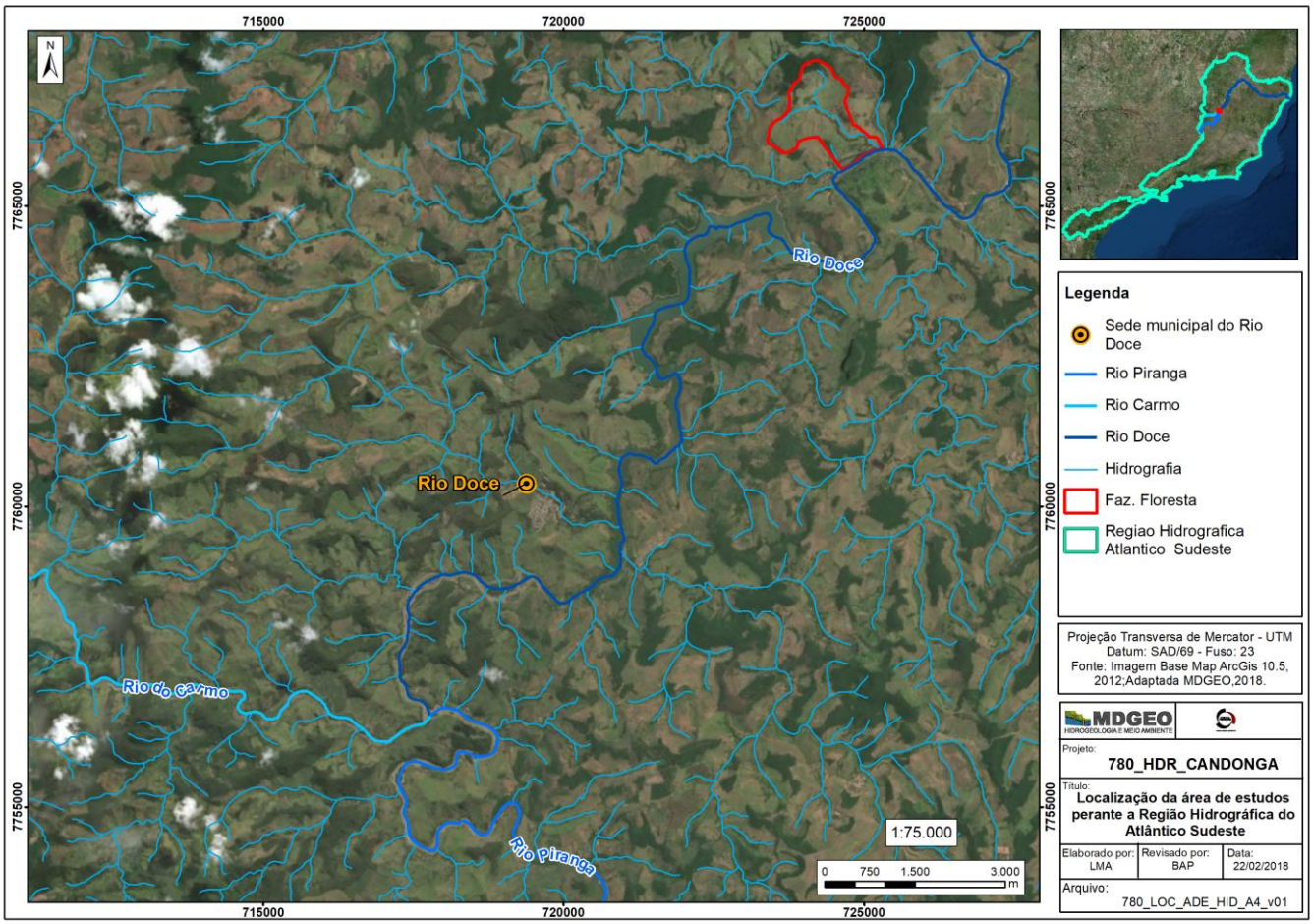


Figura 4.1: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste.

Na região de Ponte Nova e Rio Doce a rede de drenagem apresenta forte controle estrutural, governado pelas estruturas do embasamento de direção NE-SW, proporcionando o padrão retangular das drenagens (CPRM, 1991).

Os principais cursos d'água na área de estudos são o Rio do Peixe e os Córregos Micaela e do Santo Antônio, todos afluentes do Rio Doce (Figura 4.2).

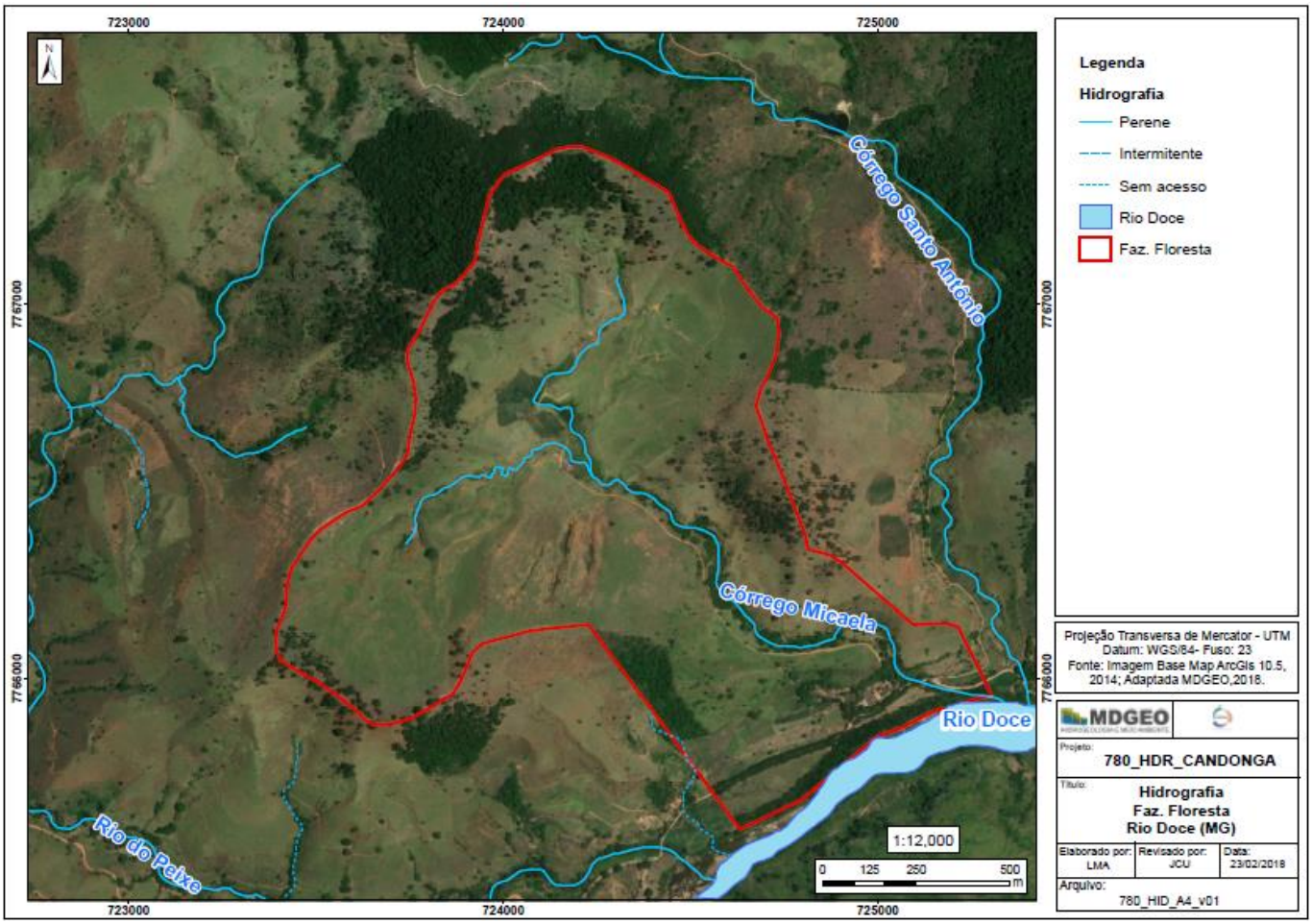


Figura 4.2: Hidrografia da área de estudos.

4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A região de estudo está incluída na porção leste do estado de Minas Gerais, que compreende parte do planalto Atlântico Brasileiro (Ab'Saber, 1972). Essa porção do relevo concebe um planalto cristalino rebaixado, onde processos morfogenéticos tropicais atuam de forma bastante participativa.

Além disso, os fatores geológicos como litologias e estruturas, bem como oscilações climáticas a partir do Mesozoico, contribuíram para formação da configuração atual da superfície da região. Assim, a região do município Rio Doce e seu entorno apresentam formas de dissecação de superfícies cenozoicas, caracterizadas principalmente por cristas, colinas e vales encaixados em sua porção norte, bem como colinas, ravinamentos e cristas esparsas em sua porção sul (CPRM, 1991) (Figura 4.3).

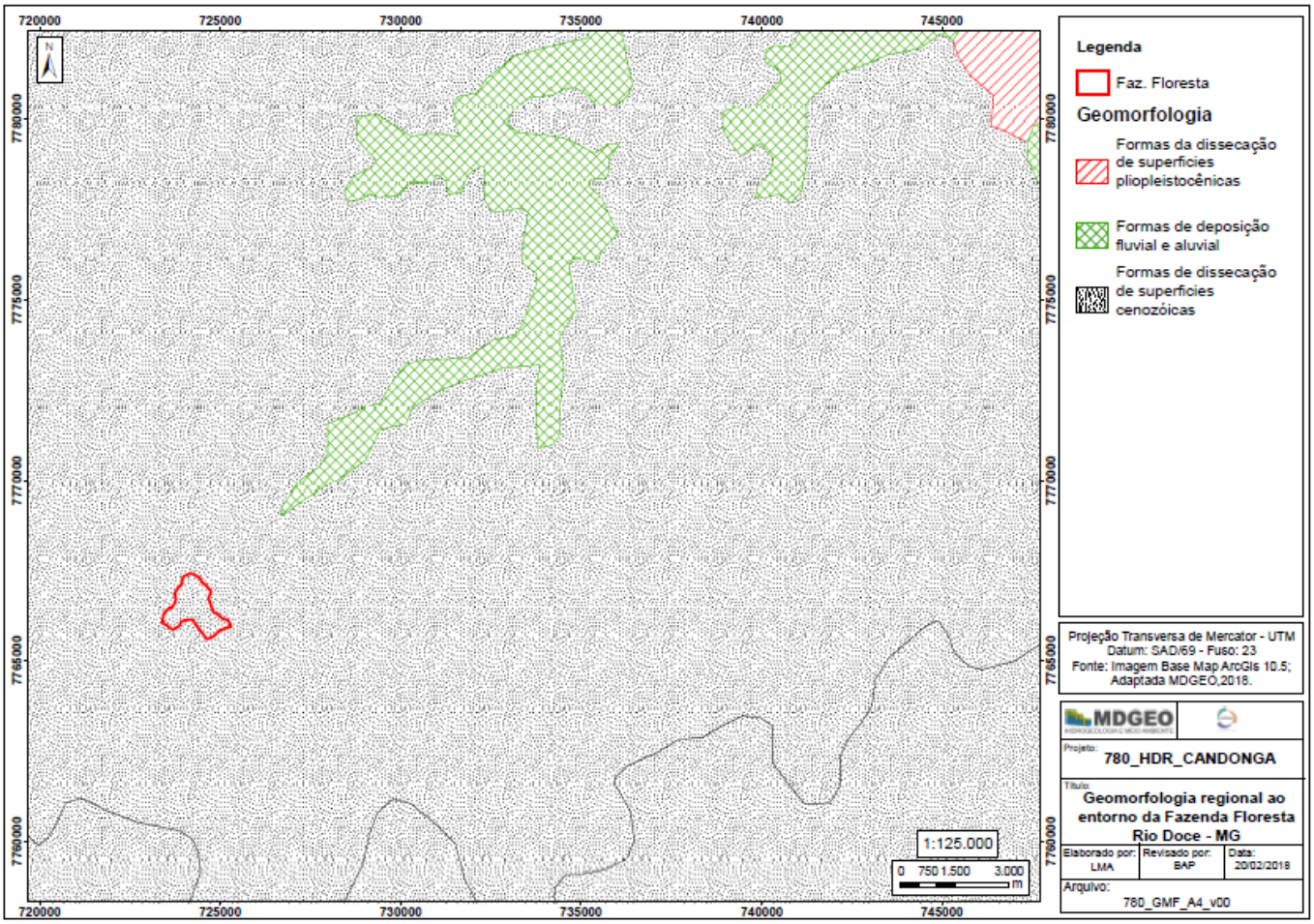


Figura 4.3: Mapa geomorfológico da Folha Ponte Nova adaptado (CPRM, 1991).

5 GEOLOGIA

5.1 GEOLOGIA REGIONAL

O capítulo de Geologia Regional foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Ponte Nova (SF-23-X-B-II) confeccionada pela CPRM (1991).

A área de estudo está localizada na Região Sudeste, no domínio geotectônico da Província Mantiqueira, rochas formadas nos ciclos tectônicos do Arqueado até o Proterozoico Superior, responsáveis pela consolidação da Faixa Ribeira. Os principais agrupamentos de rochas da região são do Complexo Mantiqueira, Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo e Grupo Dom Silvério (Figura 5.1).

Já as feições mais recentes são marcadas por falhamentos de gravidade e intrusões ácidas a básicas não deformadas, coberturas detrito-lateríticas e depósitos aluvionares (CPRM, 1991).

Dessa forma, as rochas existentes na região são, em ordem decrescente de idade:

- **Complexo Mantiqueira** *(Plm)*, 2.83 Ga:

  - Ortognaisses granito-tonalíticos *(Plm)*;

  - Granulitos Córrego Pedra Dourada *(Pi)*;

- **Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo** *(Plss)* 2.16 Ga, composta por anfibólio-biotita gnaisse, anfibolitos, rochas calcissilicáticas, muscovita-quartzitos e muscovita quartzo-xistos indivisos;

- **Grupo Dom Silvério** *(Plds)* (Datação relativa: grupo paleoproterozoico - <2.5 Ga - mais recente que as rochas da Suíte *Plss*, devido relações de contato):

  - *Unidade 1 (Plds1):* biotita-anfibolitos, granada-biotita-muscovita xistos, tremolititos e rochas calcissilicáticas;

  - *Unidade 2 (Plds2)*: muscovita-biotita-xistos, muscovita quartzoxistos, magnetita quartzitos, rochas calcissilicáticas, gonditos, mármores, biotita anfibolitos, formação ferrífera, biotita gnaisses;

- *Unidade 3 (Plds3)*: muscovita quartzitos, muscovita quartzoxistos.

- **Coberturas detrito-lateríticas** *(TQdl)* (>66 Ma).

  - Depósitos detrito-lateríticos em superfícies planas, com solo vermelho intenso pouco espesso.

- **Depósitos Aluvionates** *(Qa)* (>10.000 a), compostos por cascalhos grosseiros, areias e níveis argilosos.

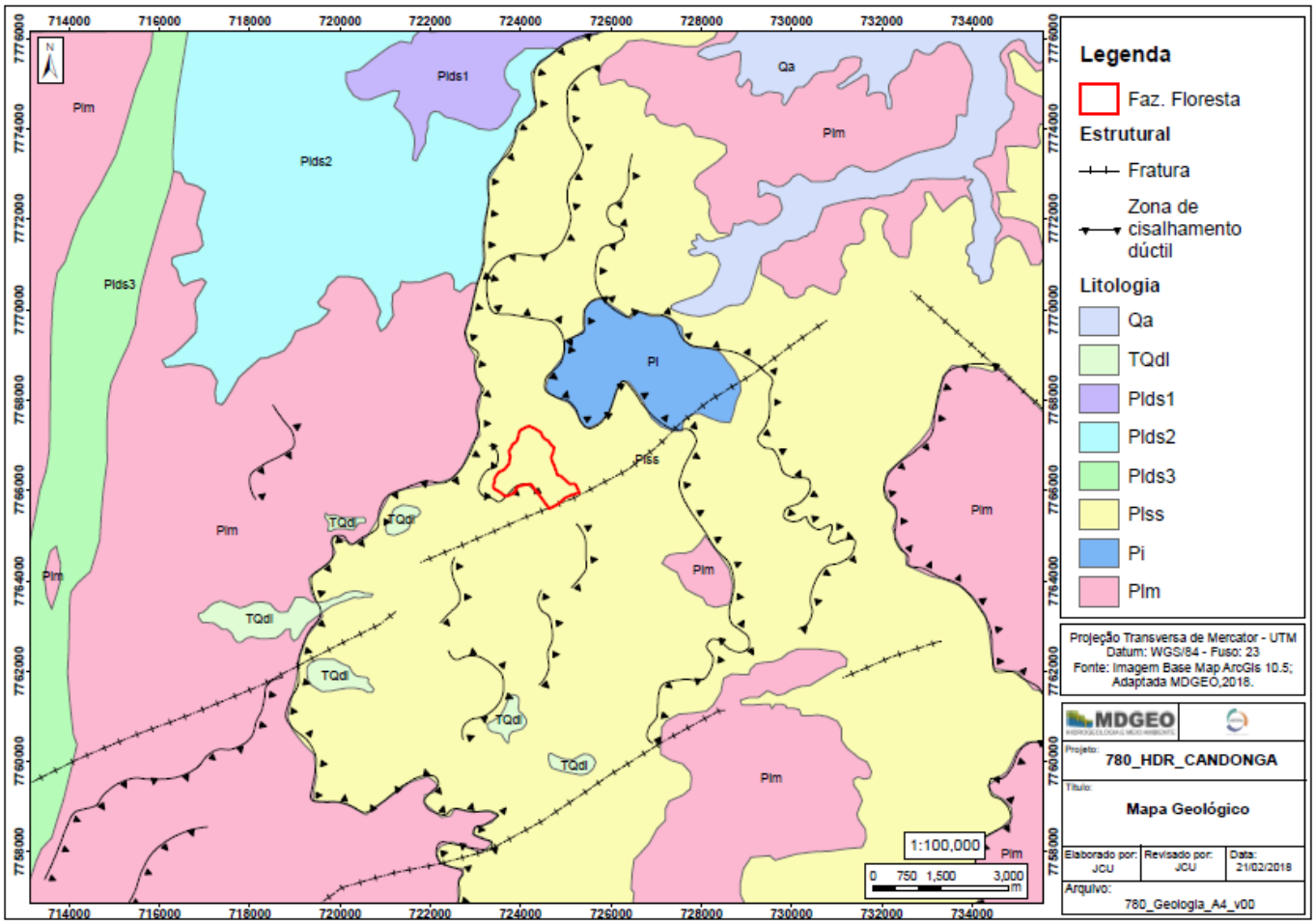


Figura 5.1: Mapa geológico regional. Modificado de CPRM (1991).

5.2 GEOLOGIA LOCAL

O capítulo de Geologia Local foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Ponte Nova (SF-23-X-B-II) confeccionada pela CPRM (1991).

A Fazenda Floresta e seu entorno estão localizados inteiramente na Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo (*Plss*), que abrange um conjunto de rochas de protólito basicamente sedimentar, constituída por anfibólio-biotita-gnaisse, anfibolitos, rochas calcissilicáticas, muscovita-quartzitos e muscovita-quartzoxistos, que contêm injeções graníticas de origem síncrona ao tectonismo responsável pela formação da suíte, além da cobertura formada por solos (aluvião e coluvião), resultantes dos processos de intemperismo das rochas descritas.

Em suma, a suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo (*Plss*) está representada por um conjunto de rochas essencialmente supracrustais datadas em 2.160 Ma, que compreendem gnaisses bandados a laminados com intercalações de anfibolito e rochas calcissilicáticas, podendo ocorrer, em menor proporção, estreitas faixas de quartzitos, xistos moscovíticos e rochas ferruginosas (Figura 5.2).

O litotipo predominante é um anfibólio-biotita-gnaisse com bandamento centimétrico a métrico, de granulação fina a média, coloração esbranquiçada, e com menor percentual de minerais máficos em relação aos félsicos. Esse gnaisse é constituído basicamente de quartzo, feldspato, biotita e anfibólio, e por vezes minerais acessórios como granada, magnetita, carbonato e epidoto.

As estruturas observadas nessas rochas, como a foliação e bandamento gnáissicos, são resultantes da transposição por cisalhamento dúctil, podendo por vezes aparecer zonas milonitizadas nas zonas próximas à contatos tectônicos com outros complexos ou suítes geológicas.

Com base nas descrições dos furos de sonda realizados na Fazenda Floresta, a cobertura tem espessura em torno de 20 a 25 m.

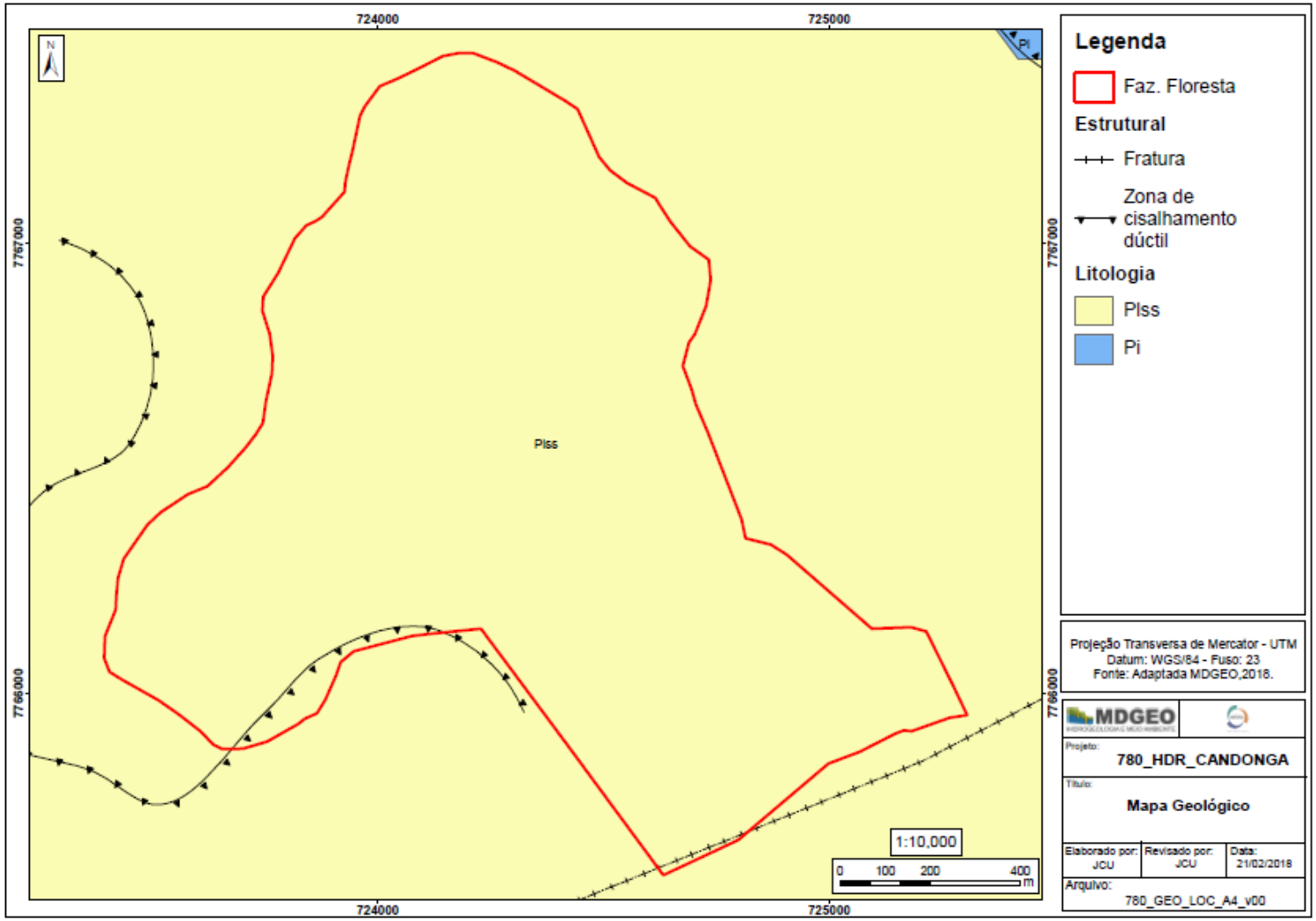


Figura 5.2: Mapa geológico da área de estudos. Modificado de CPRM (1991).

6 METODOLOGIA DE TRABALHO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

O trabalho de campo foi realizado em duas campanhas distintas, em período seco e chuvoso de um ano hidrológico, e compreendeu o inventário de surgências de água subterrânea (nascentes), de drenagens secas e de usuários d'água, e trabalho de sondagem de solo e medições de vazão de córregos na Fazenda Floresta e seu entorno.

Para cada ponto inventariado ou usuário identificado, foi preenchida uma ficha de identificação onde todas as informações pertinentes foram registradas. Tais pontos foram locados com GPS da marca GARMIM, modelo OREGON 550t, e devidamente fotografados. O Datum utilizado foi WGS/84, compatível com SIRGAS 2000.

Os caminhamentos ao longo das drenagens presentes na área de estudo possibilitaram a caracterização das surgências e drenagens secas, com a identificação e descrição da morfologia e litologia do terreno, tipo de surgência, vazão estimada e medições de parâmetros físico-químicos das águas *in situ*, (pH, Eh, condutividade elétrica e temperatura da água e do ar) por meio de medidor multiparâmetro HQ40d da marca Hach, devidamente calibrado.

As medições do nível d'água em furos de sondagem foram realizadas, quando possível, por meio de um medidor de nível portátil. Esses dados colaboraram com a avaliação da profundidade do nível freático e produção do mapa potenciométrico ao longo da área.

O cadastro de usuários de água consistiu no levantamento de informações dos meios de captação e armazenamento dos moradores de propriedades vizinhas à região da Fazenda Floresta. Foram levados em consideração o nome do proprietário, número de pessoas que utilizam o recurso, quantidade e volume de reservatórios, tipo e local de captação. O registro dessas informações pode colaborar com avaliações de possíveis impactos futuros na quantidade e distribuição da água após a construção das estruturas previstas para Fazenda Floresta.

As medições de vazão foram feitas, também, em período seco e chuvoso de um ano hidrológico, com o uso de um micromolinete da marca *Rickly Hidrological Company,* com conchas de diâmetro de 1 centímetro. A atividade seguiu o documento

Procedimento para medição de vazão com instrumento móvel (MDGEO, 2010), que aborda os procedimentos técnicos para medição de vazão com instrumentos móveis.

Todos os pontos de medição receberam o prefixo SCA. Os pontos cadastrados em período chuvoso receberam, após o prefixo SCA, a abreviação “C” (referente à chuvoso). As nascentes inventariadas receberam a sigla NA, seguida de um número correspondente à ordem em que foram cadastradas. A mesma metodologia foi aplicada para as drenagens secas (DS), furos de sondagem (FS), pontos de controle (PC), usuários d’água (US) e pontos de medição de vazão (MV).

7 INVENTÁRIO DE PERÍODO SECO

Entre os dias 09 e 14 de junho de 2017 a equipe de campo da MDGEO realizou a campanha para inventariar os pontos d´água do período seco.

Os dados apresentados neste capítulo são referentes às atividades de cadastro de nascentes, drenagens secas, furos de sondagem, usuários de água e pontos de controle, além da medição e vazão nos principais cursos d´água na região da Fazenda Floresta e entorno. Como resultado das atividades, 30 pontos foram cadastrados, sendo:

- 5 nascentes;
- 1 drenagem seca;
- 1 furo de sonda com água;
- 2 usuários;
- 2 medições de vazão;
- 19 pontos de controle.

A Figura 7.1 apresenta a disposição de todos os pontos cadastrados durante a atividade. Os subitens do presente capítulo apresentam as descrições de cada ponto cadastrado durante o período seco.

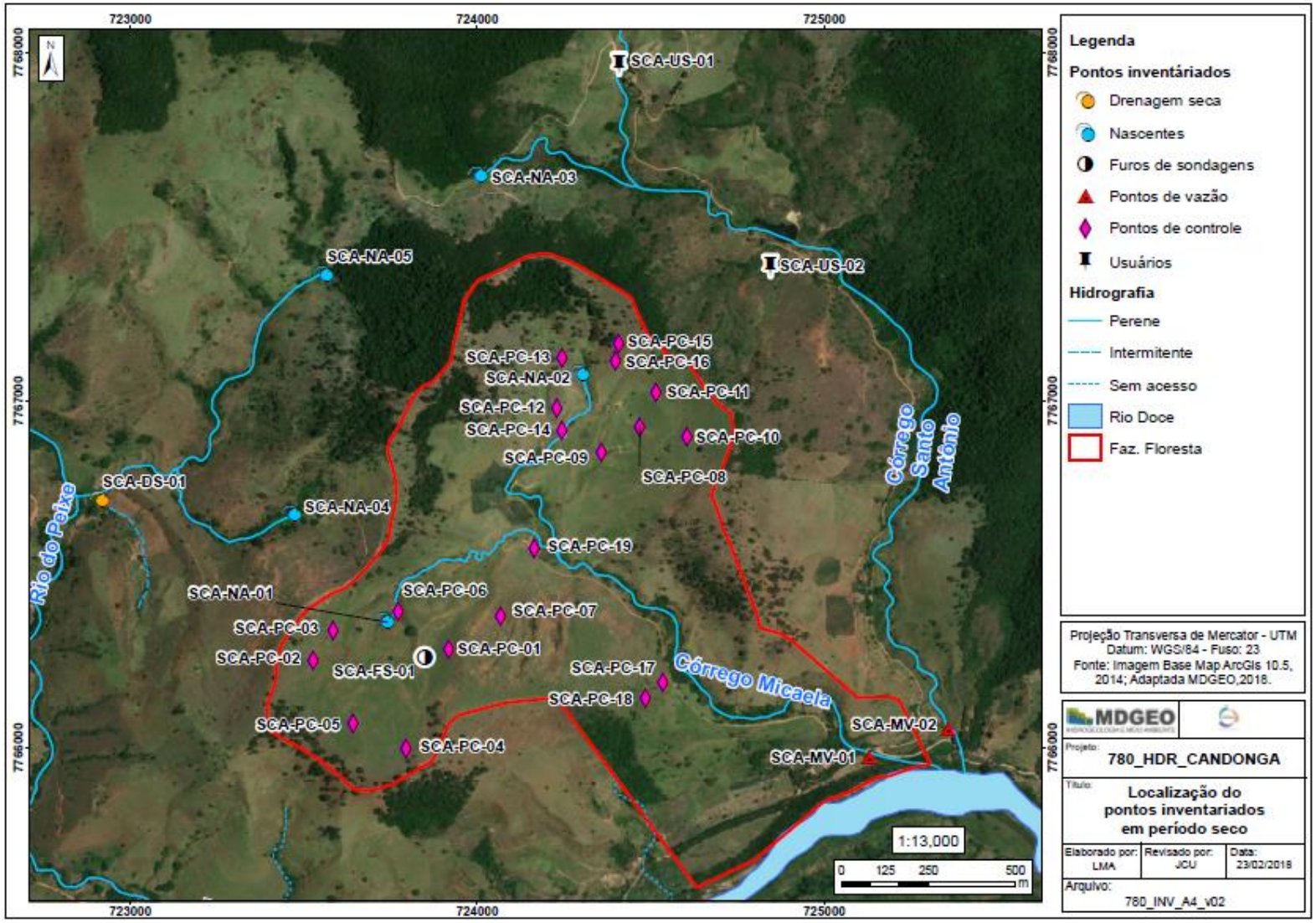


Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados durante o inventário de pontos d´água em período seco.

7.1 NASCENTES

Na área de estudo foram cadastradas 5 nascentes (Figura 7.2), das quais 2 se encontram no interior da Fazenda Floresta. Essas nascentes são os pontos de partida dos dois principais tributários que formam o Córrego Micaela, sendo que ambas estão localizadas na área das futuras Pilhas I e II, onde serão dispostos os sedimentos dragados do Rio Doce. A confluência entre esses cursos ocorre pelo fato de que a região da fazenda é uma microbacia, o que torna o Córrego Micaela o principal curso de drenagem superficial da área.

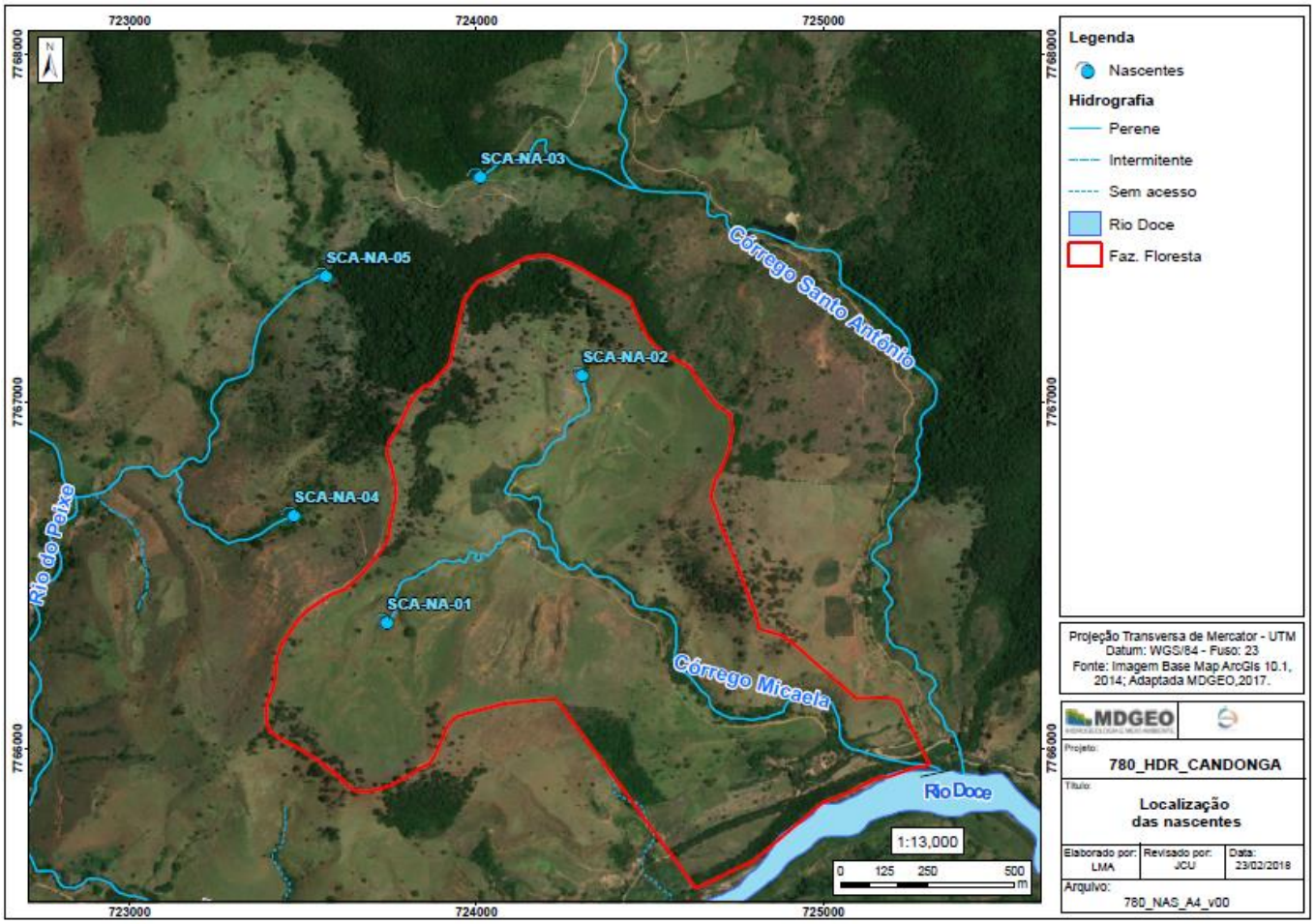


Figura 7.2: Mapa de localização das nascentes inventariadas em período seco.

A Tabela 7.1 apresenta os dados de localização das nascentes cadastradas e descrição dos respectivos parâmetros físico-químicos medidos em campo por ocasião da campanha do período seco.

Tabela 7.1: Localização das nascentes cadastradas e descrição dos respectivos parâmetros físico-químicos medidos em campo por ocasião da campanha do período seco.

Nome	X	Y	Cota (m) *Erro +/- 5m*	T. ar (°C)	T. água (°C)	C.E. (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão Estimada (L/s)
Período Seco									
SCA-NA-01	723743	7766363	416	22.30	21.80	94.20	6.37	196.10	0.1
SCA-NA-02	724306	7767075	400	23.00	22.60	16.88	6.48	87.50	0.2
SCA-NA-03	724012	7767648	441	22.90	22.30	84.40	7.27	-209.90	0.01
SCA-NA-04	723475	7766671	400	26.60	21.00	48.40	6.72	156.50	0.2
SCA-NA-05	723567	7767360	425	24.80	25.70	87.70	6.44	26.60	0.2

Em geral, e conforme apresentado detalhadamente a seguir, as nascentes são do tipo difusa, com solo saturado argiloso de coloração amarronzada. Comumente ocorrem em formatos circulares no terreno, circundadas por vegetação de baixo porte do tipo pastagem. A condição de preservação da mata ciliar nesses pontos é baixa, tendo sido identificadas apenas pequenas faixas de vegetação no entorno das surgências e das calhas das drenagens, com predomínio de área de pastagem em quase toda a região.

As características físico-químicas tendem a ser constantes ao longo de toda área de estudo, sendo que a temperatura do ar é usualmente maior do que a da água, com condutividade variando entre 16,88 e 94,2 µS/cm, pH tendendo à neutralidade, onde o ambiente subterrâneo costuma ser mais oxidante.

Essas características podem indicar fluxos subterrâneos moderados, com águas que interagem mediamente com o solo ou a rocha, por isso possuem pH parecido com o das águas pluviais (em torno da neutralidade).

7.1.1 SCA-NA-01

A nascente SCA-NA-01 (Foto 7.1) situa-se na porção delimitada para construção da Pilha I, destacando-se por ser do tipo pontual, aflorando sobre blocos rolados métricos de rochas de coloração preta (provavelmente anfibolitos), gnaisses e fragmentos de veios de quartzo.

O solo é argiloso de coloração marrom e a vegetação é abundante, situada numa faixa de até 15 metros ao redor do canal de drenagem. A água no local surge numa vazão estimada de cerca de 0,1 L/s, possuindo temperatura aproximadamente 1ºC mais baixa que do ar, com condutividade de 94,2 µS/cm, pH tendendo à neutralidade e Eh oxidante, ou seja, indicando boa circulação da água subterrânea. A vazão contínua proporciona porções empoçadas, onde o fluxo superficial é mais lento, e consequentemente ocorrem ferrobactérias que podem estar se aproveitando dos íons em solução, disponibilizados naturalmente pelas rochas e solo do local.

Foto 7.1: A) Local do início da nascente SCA-NA-01, presença de blocos rochosos e água represada. B) Vista à montante, blocos rochosos e vegetação abundante no local (Período seco).

7.1.2 SCA-NA-02

A nascente SCA-NA-02 (Foto 7.2) é do tipo difusa, ou seja, os pontos d'água abrangem uma grande área (aproximadamente 500 m²), onde o solo é saturado, de textura argilo-arenoso, rico em matéria orgânica e com vegetação de porte baixo, formando uma típica área brejada.

A jusante da área encharcada tem-se o ponto de saída da nascente, onde a vazão estimada de 0,2 L/s é relativamente maior que em montante. A nascente é circundada por morros cobertos por pastagens, onde serão dispostos os rejeitos da Pilha II. No local, a temperatura da água é pouco mais baixa que do ar, a condutividade é de 16,88 µS/cm, bem menor em comparação com o ponto SCA-NA-01, e características de pH e Eh tendem à neutralidade e ao ambiente oxidante, respectivamente.

Foto 7.2: A) Localidade de um dos pontos da nascente SCA-NA-02, com facão indicando a direção do fluxo superficial. B) Vista à montante com indicação da direção do fluxo superficial, região côncava, com vegetação rasteira baixa do tipo pastagem (Período Seco).

7.1.3 SCA-NA-03

Na porção norte está o ponto SCA-NA-03, correspondente à uma das nascentes que gera um dos afluentes do Córrego do Santo Antônio (Foto 7.3). É do tipo difusa, formada em região com características de brejo, onde o solo é argiloso de coloração acastanhada e saturado.

O local é rodeado por pastagens, e foi verificada vegetação típica de solos hidromórficos. A água é utilizada para dessedentação de animais bovinos, sendo que o acesso dos mesmos é livre ao longo de toda extensão da nascente. Além disso, uma via de acesso não pavimentada cruza a porção mais a montante do ponto. De acordo com o proprietário da região, a água já foi utilizada para consumo humano, mas atualmente a quantidade não é suficiente para captação.

A nascente possui vazão estimada de 0,01 L/s, temperatura relativamente mais baixa que a do ar, com condutividade de 84,4 µS/cm, pH tendendo à neutralidade e condições de Eh indicando um ambiente redutor e de baixa circulação da água subterrânea.

Foto 7.3: A) Vista para jusante do ponto SCA-NA-03, evidenciando a ocorrência de solo saturado, presença de vegetação típica de solos hidromórficos e a indicação da direção do fluxo superficial. B) Vista lateral do ponto, vegetação do tipo pastagem e de grande porte circundante ao local (Período Seco).

7.1.4 SCA-NA-04

Os cursos d'água iniciados a partir das nascentes cadastradas na porção noroeste do entorno da Fazenda Floresta se unem e formam um dos afluentes do Rio do Peixe, que bordeja a região leste dos divisores de água da microbacia do Córrego Micaela. Os pontos cadastrados nessa região foram SCA-NA-04 e SCA-NA-05.

O ponto SCA-NA-04 (Foto 7.4) refere-se à uma nascente do tipo difusa caracterizada por solo areno-argiloso saturado de coloração marrom claro em meio a blocos métricos de gnaisse, e vegetação abundante típica de brejos. Na saída da região saturada a água é canalizada para reservatórios utilizados para dessedentação de animais, sendo que os excedentes correm livremente pelo curso natural da drenagem.

A nascente possui vazão estimada de cerca de 0,2 L/s, com temperatura inferior que a do ar, condutividade de 48,4 µS/cm, pH tendendo à neutralidade e Eh indicando um ambiente oxidante.

Foto 7.4: A) Vista à montante da SCA-NA-04, local da saída do brejo com indicação da direção do fluxo superficial. B) Canalização e reservatório utilizado para dessedentação de animais. (Período Seco).

7.1.5 SCA-NA-05

O ponto SCA-NA-05 condiz com uma nascente localizada no setor norte-noroeste do entorno da Fazenda Floresta. A mesma se configura como do tipo difusa, localizada em área circular de raio de aproximadamente 40 metros. O solo é saturado de textura argilosa de coloração marrom claro, com forte incidência de matéria orgânica, tomado por gramíneas e rodeado por pastagens (Foto 7.5). A temperatura da água neste ponto é maior que a do ar, a condutividade é de 87,7 µS/cm, de pH tendendo à alcalinidade, com Eh indicando um ambiente pouco oxidante, sendo essas características similares às da nascente do ponto SCA-NA-03.

Foto 7.5: A) Vista à montante da SCA-NA-05, região tomada por gramíneas e rodeada por pastagens, com indicação da direção do fluxo superficial. B) Vista à jusante da nascente com indicação da direção do fluxo superficial. (Período Seco).

7.2 DRENAGENS SECAS

Apenas uma drenagem seca foi cadastrada durante a campanha de inventário do período seco (Figura 7.3). Esta relaciona-se a um curso d'água que se uniria ao deflúvio gerado pelas nascentes dos pontos SCA-NA-04 e SCA-NA-05, e que juntas consolidariam o afluente do Rio do Peixe, que tem origem nas porções noroeste e oeste dos divisores d'água do Córrego Micaela.

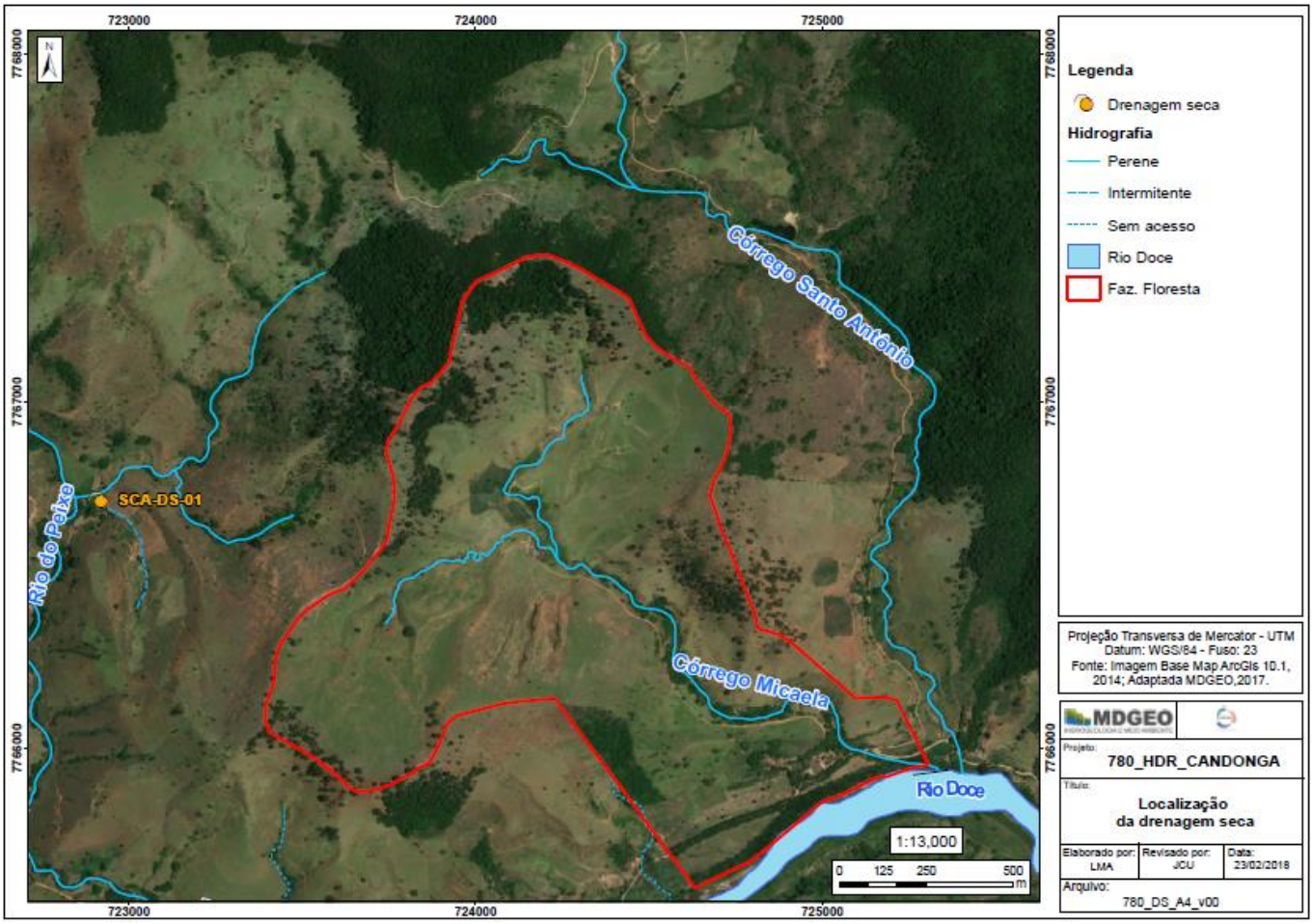


Figura 7.3: Localização da drenagem seca (Período seco).

A Tabela 7.2 apresenta os dados de localização e uma descrição sucinta da drenagem seca cadastrada durante as atividades de inventário.

Tabela 7.2: Localização e descrição da drenagem seca do ponto SCA-DS-01 (Período seco).

Nome	X	Y	Cota (m) *Erro +/- 5m*	Observações
SCA-DS-01	722921	7766712	324	Drenagem seca com solo saturado próximo à confluência com o Rio do Peixe. Existência de barramento à montante e registro de utilização do local para captação de água em tempos pretéritos.

7.2.1 SCA-DS-01

A drenagem é margeada por um canavial e ocorre há cerca de 300 metros da residência de um usuário - Sr. Iraci. De acordo com o proprietário da localidade, já existiu uma nascente na drenagem, mas a mesma secou nos últimos anos.

Na porção de montante existe um barramento que atualmente está seco, e que servia de contenção da água para utilização no abastecimento da propriedade. Na região a jusante, próximo à confluência com o Rio do Peixe, o solo é saturado, mas não há fluxo superficial (Foto 7.6).

Foto 7.6: A) Vista à jusante da SCA-DS-01, região com solo saturado próximo à confluência com o Rio do Peixe, com indicação da direção do suposto fluxo superficial. B) Vista a montante da drenageme indicação da direção do suposto fluxo superficial. (Período Seco).

7.3 CADASTRO DE USUÁRIOS

Dois usuários de água contribuíram com o cadastramento, sendo que ambos usufruem do recurso nas porções norte e nordeste do entorno da Fazenda Floresta (Figura 7.4). A Tabela 7.3 apresenta as informações de localização e uma descrição da situação de captação dos usuários cadastrados nessa etapa.

Tabela 7.3: Localização e descrição dos usuários de água no entorno da Fazenda Floresta.

Nome	X	Y	Cota (m) *Erro +/- 5m*	Descrição
SCA-US-01	724409	7767970	410	Sr. Geraldo. Captação por meio de bomba submersa em brejo. Adutora: mangueira 1", ~200 m até a caixa. 2 caixas d'água 100 L. Abastece 6 pessoas.
SCA-US-02	724845	7767388	370	Sr. "Benevenuto". Captação a fio d'água por gravidade. Adutora 1". 1 caixa d'água 500 L. Abastece 1 pessoa.

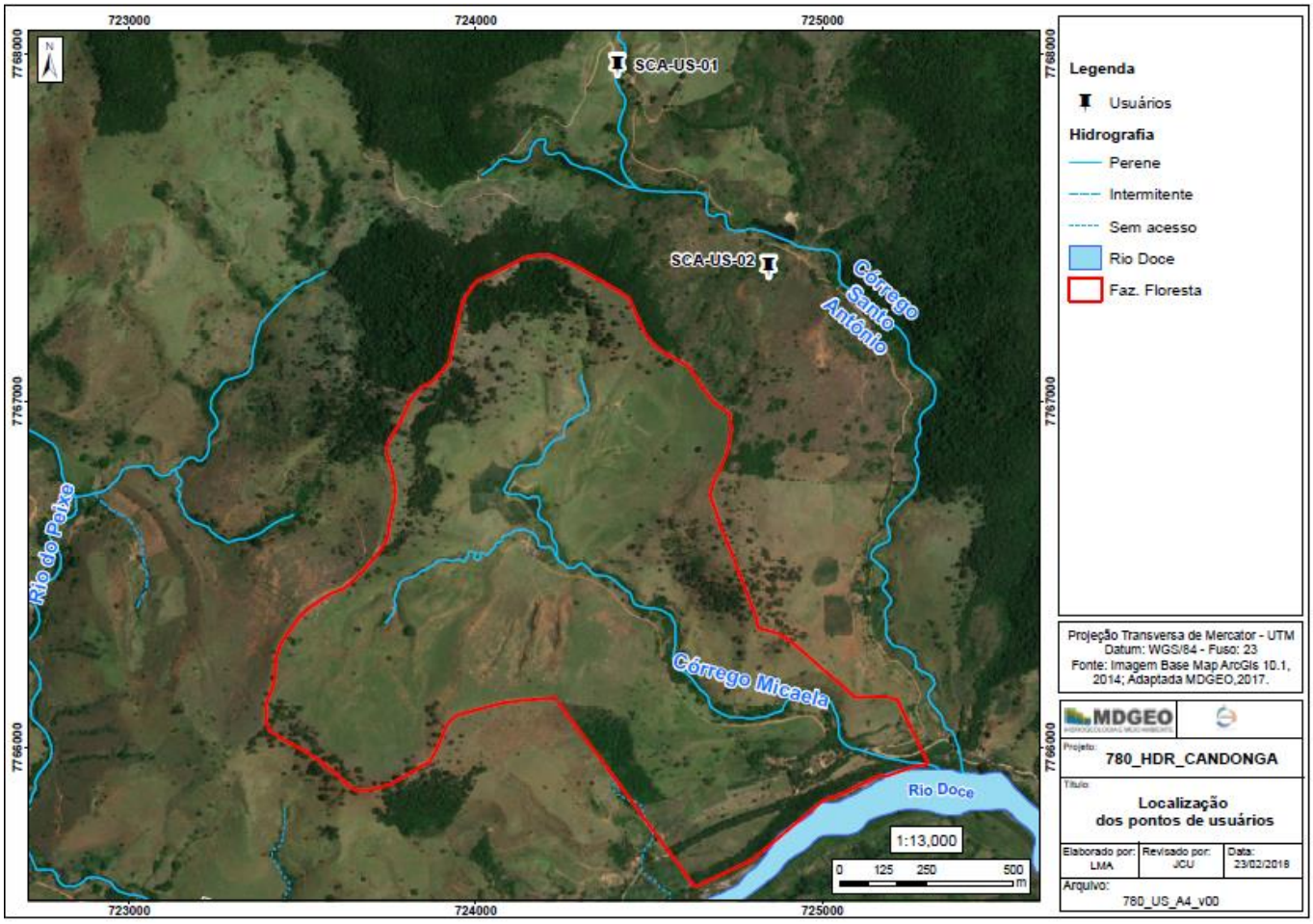


Figura 7.4: Mapa de localização dos usuários cadastrados durante o inventário.

7.3.1 SCA-US-01

O primeiro usuário cadastrado, Sr. Geraldo, residente na região do ponto SCA-US-01, faz captação de água superficial por meio de uma bomba submersa situada num brejo adjacente à sua moradia. O transporte ocorre através de uma adutora de 1'' em aproximadamente 200 m até duas caixas de 100 L cada. O abastecimento é suficiente para as 6 pessoas que habitam no local, e tem finalidade de consumo doméstico (Foto 7.7).

Foto 7.7: Ponto SCA-US-01. A) Local da captação, bomba submersa conectada a adutora de 1''. B) Ambiente onde ocorre a captação e vista da residência dos usuários em segundo plano.

7.3.2 SCA-US-02

O segundo usuário cadastrado, Sr. Benevenuto, residente na região do ponto SCA-US-02, faz a captação diretamente da nascente, sem utilização de bomba hidráulica, apenas por gravidade. A nascente em que ocorre a captura localiza-se na margem oposta ao Córrego Santo Antônio, sendo que a mesma não possui interação com os divisores de água do Córrego Micaela. O transporte da água acontece através de uma adutora de 1'' até uma caixa de 500 L. A água é utilizada apenas pelo proprietário, com finalidade de consumo doméstico, irrigação de áreas verdes e, raramente, para dessedentação de animais.

7.4 MEDIÇÃO DE VAZÃO

A medição de vazão ocorreu nos principais cursos d'água da região de estudo. Dentre eles, estão o Córrego Micaela, que é o principal deflúvio da Fazenda Floresta, e o Córrego do Santo Antônio, localizado no entorno oeste da área (Figura 7.5). No Rio do Peixe não foi encontrada seção que permitisse a medição de vazão devido ao grande volume de água no rio e ao leito muito rochoso.

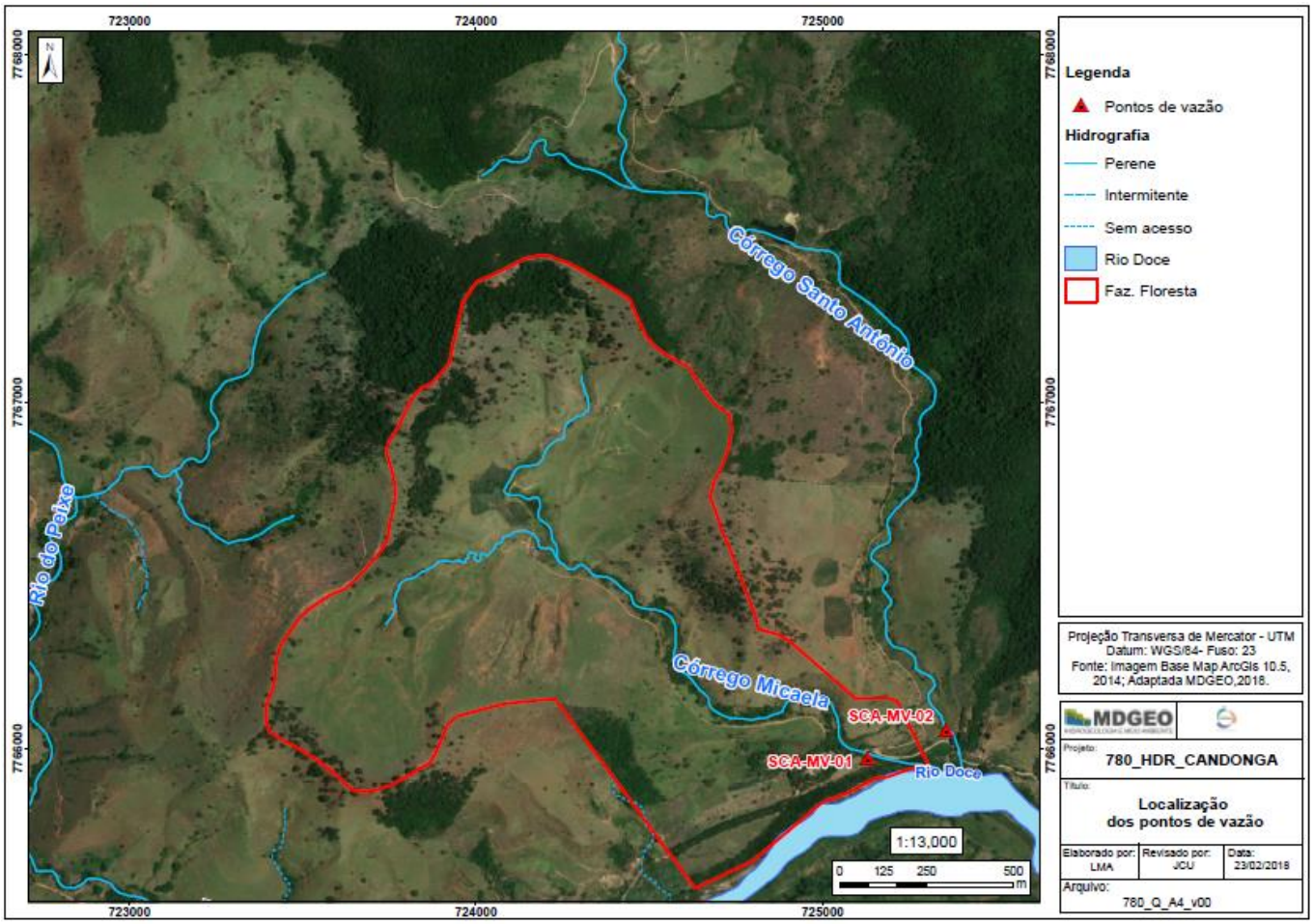


Figura 7.5: Mapa de localização dos pontos de medição de vazão na campanha do período de estiagem.

A Tabela 7.4 apresenta a localização dos pontos e os resultados obtidos no campo por ocasião da campanha do período seco.

Tabela 7.4: Localização e parâmetros físico-químicos dos pontos de medição de vazão obtidos no campo por ocasião da campanha do período seco.

Nome	X	Y	Cota (m) *Erro +/- 5m*	T. ar (°C)	T. água (°C)	C.E. (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão (L/s)	Córrego
Período Seco										
SCA-MV-01	725129	7765974	289	21	19.9	60	7.61	119.9	4.2	Córrego Micaela
SCA-MV-02	725357	7766055	279	26.5	22.4	50.4	7.69	63.6	18.9	Córrego Santo Antônio

7.4.1 SCA-MV-01 (Córrego Micaela)

A vazão do Córrego Micaela foi medida em uma seção de 0,9 m situada próxima de sua confluência com o Rio Doce, na tentativa de abranger a contribuição máxima possível da água subterrânea ao curso d'água. O ponto é adjacente à sede da Fazenda Floresta, onde o solo é arenoso e a vegetação é predominantemente de gramíneas e de bambu. A vazão é de 4,2 L/s ou 15,2 m³/h, e assim como nas nascentes cadastradas, a temperatura da água é inferior à do ar, a condutividade é de 119,9 µS/cm, o pH tende à neutralidade e o Eh indica uma ambientação oxidante (Foto 7.8).

Foto 7.8: Ponto SCA-MV-01. A) Vista à montante da seção de medição. B) Vista à jusante do Córrego Micaela. Período Seco.

7.4.2 SCA-MV-02 (Córrego Santo Antônio)

A vazão do Córrego do Santo Antônio foi medida em uma seção de 1,60 m, num ponto ao lado de uma ponte sobre o mesmo córrego, a aproximadamente 200 m da confluência com o Rio Doce. A vazão medida é de 18,9 L/s ou de 68,2 m³/h, sendo a temperatura da água consideravelmente menor que a do ar, condutividade, pH e Eh semelhantes ao do Córrego Micaela (Foto 7.9).

Foto 7.9: Ponto SCA-MV-02. A) Vista a jusante da seção medida. B) Vista a montante do Córrego do Santo Antônio. Período Seco.

7.5 PONTOS DE CONTROLE E FUROS DE SONDAGEM

Ainda na fase de compilação de dados, a MDGEO teve acesso ao plano de perfuração de furos de sondagem que seria implementado na área de estudos. Durante as atividades, foram realizadas visitas em todos os pontos para verificação dos níveis d'água com a finalidade de oferecer suporte ao entendimento da circulação e comportamento do aquífero na área.

Em campo, foram visitadas as localidades de todas as estruturas previstas para a Fazenda. Como via de regra, os caminhamentos realizados buscaram a chegada nas praças de sondagem já construídas.

Ao total, foram 19 pontos de controle mais 1 furo de sondagem cadastrados (Figura 7.6).

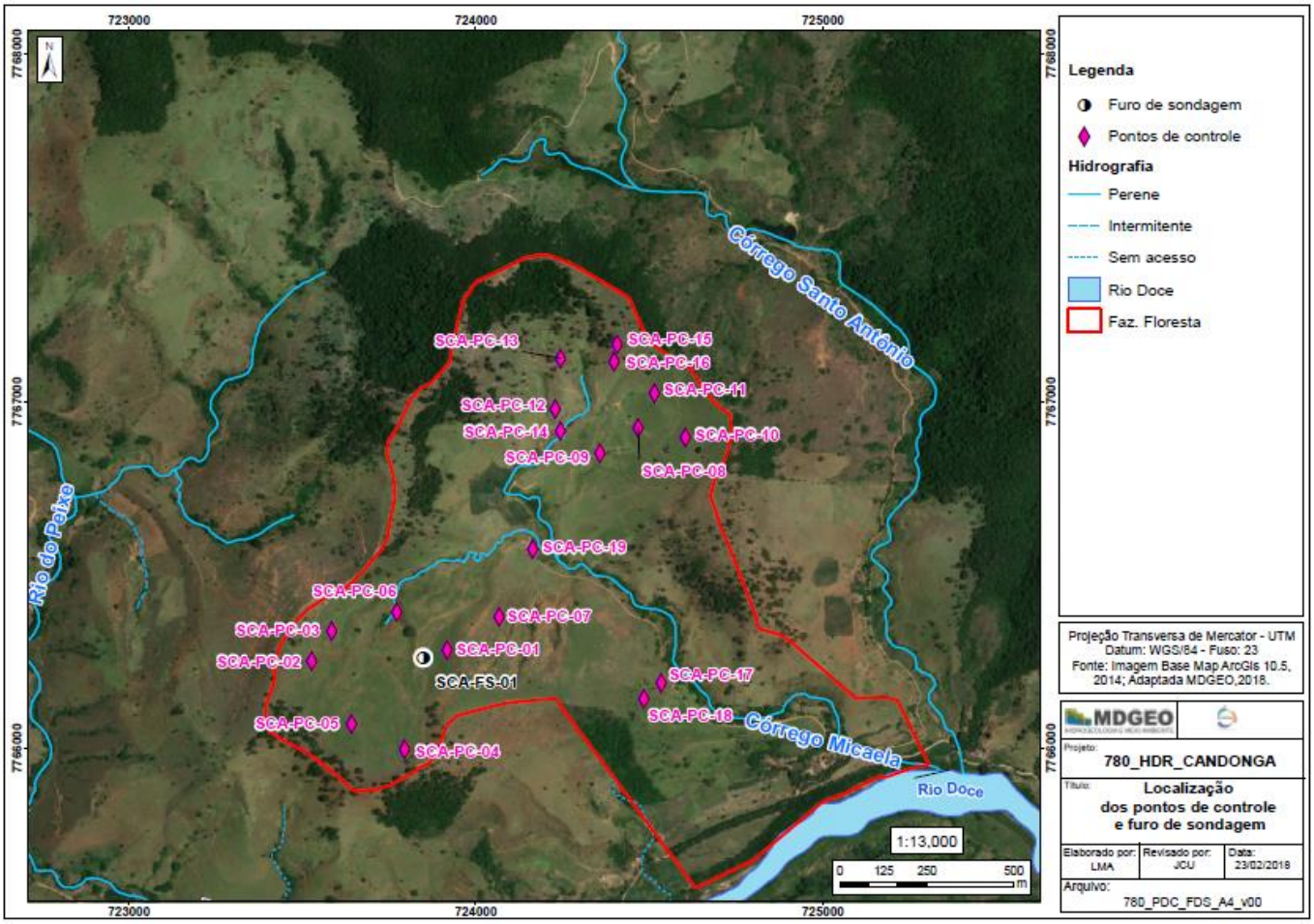


Figura 7.6: Mapa de localização dos pontos de controle cadastrados no inventário de período seco.

Em todos pontos de controle existe uma praça de sondagem, sendo que furos foram eventualmente encontrados. De acordo com o plano, nem todas praças são correlatas à algum ponto preteritamente escolhido, o que pode ter advindo da fase de construção, onde supostamente houve algum deslocamento para melhor posicionamento da mesma

A Tabela 7.5 apresenta com detalhes a correlação dos pontos de controle e furos de sondagem inventariados no campo com o plano de sondagem fornecido pela Fundação Renova, bem como um resumo da situação atual dos mesmos.

Tabela 7.5: Correlação dos pontos de controle do inventário de pontos d'água com o plano de sondagem da Fundação Renova na Fazenda Floresta.

Nome do Ponto	X	Y	Cota (m)	Código Correspondente	Situação
SCA-FS-01	723849	7766262	435	SM 09	Praça e furo de sondagem construídos. Profundidade do NA igual a 14.53 m.
SCA-PC-01	723918	7766288	444	Sem correspondentes	Praça de sondagem sem furo aparente. Possivelmente ocorreu um deslocamento do local de construção da praça de sondagem após a confecção do plano de perfuração.
SCA-PC-02	723527	7766253	478	Sem correspondentes	Praça de sondagem sem furo aparente. Possivelmente ocorreu um deslocamento do local de construção da praça de sondagem após a confecção do plano de perfuração.
SCA-PC-03	723585	7766341	454	SM 02	Praça de sondagem construída, mas não houve perfuração.
SCA-PC-04	723795	7765999	482	SM 07	Praça de sondagem e furo construídos. O furo não foi encontrado, provavelmente foi obstruído.
SCA-PC-05	723642	7766073	485	Sem correspondentes	Praça de sondagem construída, não houve perfuração. Não existem pontos correspondentes no plano de perfuração.
SCA-PC-06	723773	7766393	425	SM 05	Praça de sondagem e furo construídos. O furo não foi encontrado, provavelmente foi obstruído
SCA-PC-07	724067	7766381	415	SMP 01	Praça de sondagem construída, mas não houve perfuração.
SCA-PC-08	724468	7766927	420	SM 18	Praça de sondagem e furo construídos. O furo não foi encontrado, provavelmente foi obstruído
SCA-PC-09	724357	7766852	395	SM 17	Praça de sondagem e furos construídos. O furo não foi encontrado, provavelmente foi obstruído.
SCA-PC-10	724605	7766900	444	SM 20	Praça de sondagem e furos construídos. O furo não foi encontrado, provavelmente foi obstruído.
SCA-PC-11	724515	7767025	427	SM 19	Praça de sondagem e furo construídos. Furo não encontrado, possivelmente foi obstruído após a perfuração.
SCA-PC-12	724229	7766981	422	SM 12	Praça de sondagem e furos construídos. O furo não foi encontrado, provavelmente foi obstruído.
SCA-PC-13	724245	7767124	428	SM 11	Praça de sondagem construída, mas não houve perfuração.
SCA-PC-14	724245	7766918	397	Sem correspondentes	Ponto onde haveria furo de sondagem, local se encontra alagado.
SCA-PC-15	724408	7767165	456	Sem correspondentes	Praça de sondagem construída, mas não houve perfuração e não possui ponto correspondente no plano de perfuração.
SCA-PC-16	724399	7767115	440	Sem correspondentes	Praça de sondagem e furos construídos. Não há ponto correspondente com plano de perfuração. Furo obstruído com profundidade de 4 m.
SCA-PC-17	724534	7766192	351	---	Visada do Platô mais próximo a sede da fazenda, não há nenhum furo de sondagem pois foram destruídos após o início das atividades de construção dos platôs.

Nome do Ponto	X	Y	Cota (m)	Código Correspondente	Situação
SCA-PC-18	724485	7766145	356	SMP 08	Praça de sondagem e furo construídos. Furo obstruído na profundidade a partir de 1.3 m.
SCA-PC-19	724165	7766578	374	---	Visada do Platô mais próximo das áreas das futuras pilhas, não há nenhum furo de sondagem pois foram destruídos após o início das atividades de construção dos platôs.

De todos os pontos percorridos, apenas no SCA-FS-01 o furo de sondagem apresentava nível d'água, onde a profundidade medida foi de 14,53 m (Foto 7.10).

Foto 7.10: A) Processo de medição do nível d'água no ponto SCA-FS-01. B) Vista para a praça de sondagem onde está localizado o furo de sondagem.

Nas demais praças, os furos que por vezes eram encontrados estavam obstruídos ou tinham sido colapsados pelo avanço do processo de construção das estruturas na área da Fazenda Floresta.

Na área das pilhas I e II, as praças de sondagem apresentaram essa situação, sendo que de acordo com o plano, em alguns pontos de controle ainda não foram realizados os furos de sondagem. A vegetação tem invadido essas localidades e o acesso de animais bovinos é livre, o que pode ter colaborado com o colapso e obstrução dos eventuais furos de sondagem realizados (Foto 7.11).

Foto 7.11: Pontos de controle das Pilhas I e II. A) Ponto SCA-PC-03 (Pilha I). B) Ponto SCA-PC-16 (Pilha II), furo de sondagem obstruído a partir de 4,0 m.

De acordo com o plano de perfuração na área dos Platôs I e II, diversas sondagens já foram realizadas e os furos destruídos pelo avanço de máquinas. A Foto 7.12 apresenta a situação atual encontrada nessas localidades durante as atividades de campo.

Foto 7.12: Pontos de controle do Platô II. A) Ponto SCA-PC-17, visada para a área em etapa de obras. B) Ponto SCA-PC-18, furo de sonda obstruído a partir de 1,3 m.

Na área dos tanques, próxima à entrada da fazenda, a situação é a mesma dos Platôs: Os furos anteriormente construídos foram destruídos pela construção da estrutura (Figura 7.7).

Por fim, foi observado que nos locais onde serão construídos os Diques I e II estão sendo realizadas mais sondagens. As futuras informações de nível d'água que podem ser fornecidas por esses furos podem colaborar com a melhor avaliação do aquífero em outros estudos, até mesmo no inventário de período chuvoso.

Foi recebido da contratante um arquivo denominado “PLANO DE PESQUISA GEOLOGICO-GEOTECNICO” em 05/07/2017, referente ao plano de sondagem da área de estudos. Desse documento, foram extraídos os pontos do plano inicial de sondagem que já foram ou não executados. No mapa a seguir, os pontos em amarelo são referentes a todos sondagens propostas no plano inicial de perfuração, os pontos em vermelho são aqueles em que já houve a perfuração, e por fim, os círculos pretos são os pontos de controle em que foram feitas as visitas em campo.

Vale ressaltar que este mapa retrata a situação da área de estudos em maio de 2017 e tem a finalidade de mostrar os resultados da visitação de campo, em campanha de inventário de período seco. Atualmente, boa parte do plano de sondagem foi modificado, e muitos pontos sondados já foram destruídos ou novos foram acrescentados.

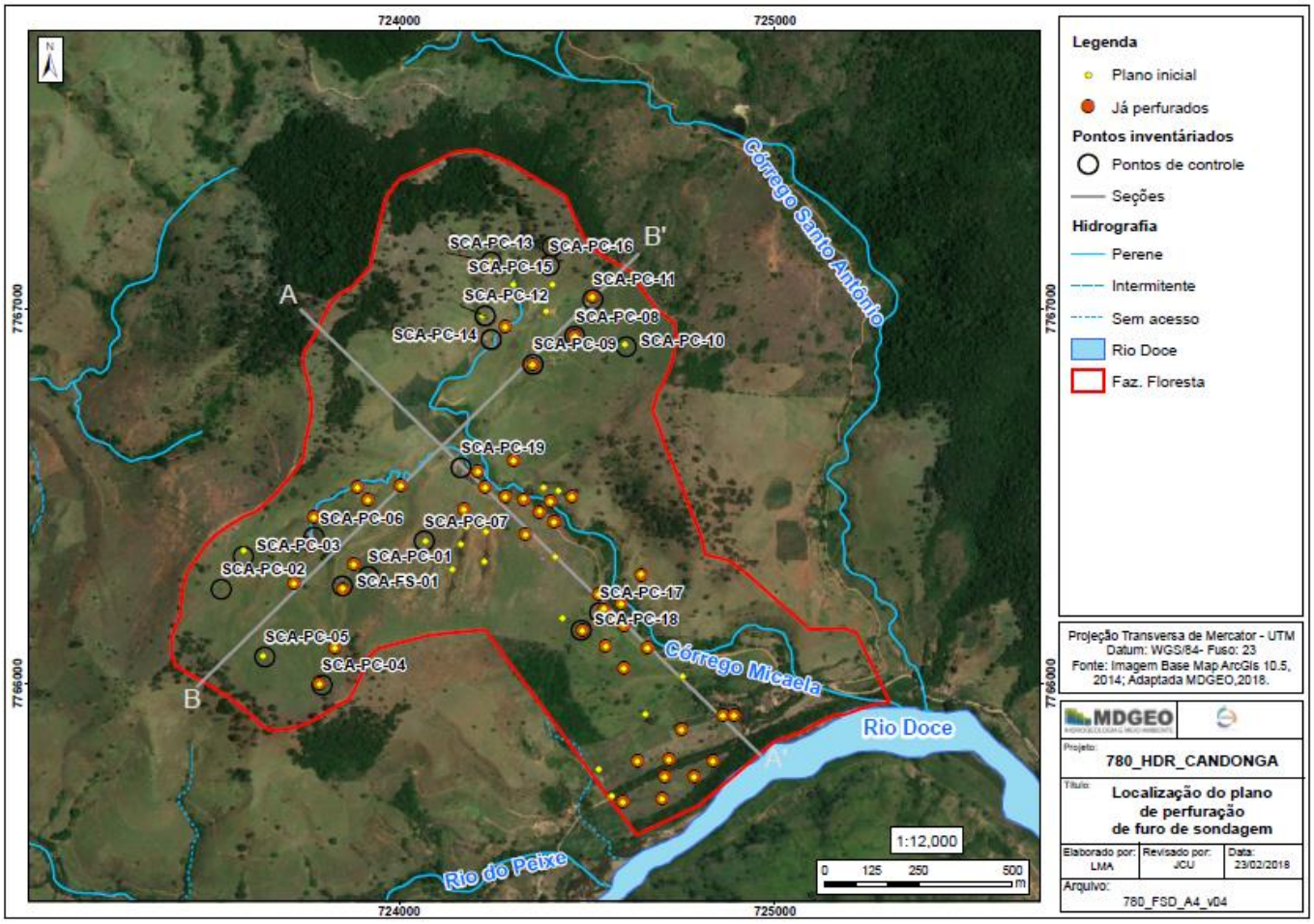


Figura 7.7: Mapa com a relação de pontos cadastrados e de pontos do plano de perfuração.

8 INVENTÁRIO DE PERÍODO CHUVOSO

Entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2018, a equipe de campo da MDGEO, realizou a etapa de campo de inventário de pontos d´água do período chuvoso.

Os dados apresentados neste capítulo são referentes as atividades de cadastro de nascentes, drenagens secas e medição e vazão nos principais cursos d´água na região da Fazenda Floresta e entorno. Como resultado das atividades, 8 pontos foram recadastrados, sendo:

- 5 nascentes;
- 1 drenagem seca;
- 2 medições de vazão.

A Figura 8.1 apresenta a disposição de todos pontos recadastrados durante a atividade.

Para diferenciar os pontos d’água cadastrados durante a etapa de inventário referente ao período chuvoso, foi acrescentado à nomenclatura dos pontos o prefixo “C”.

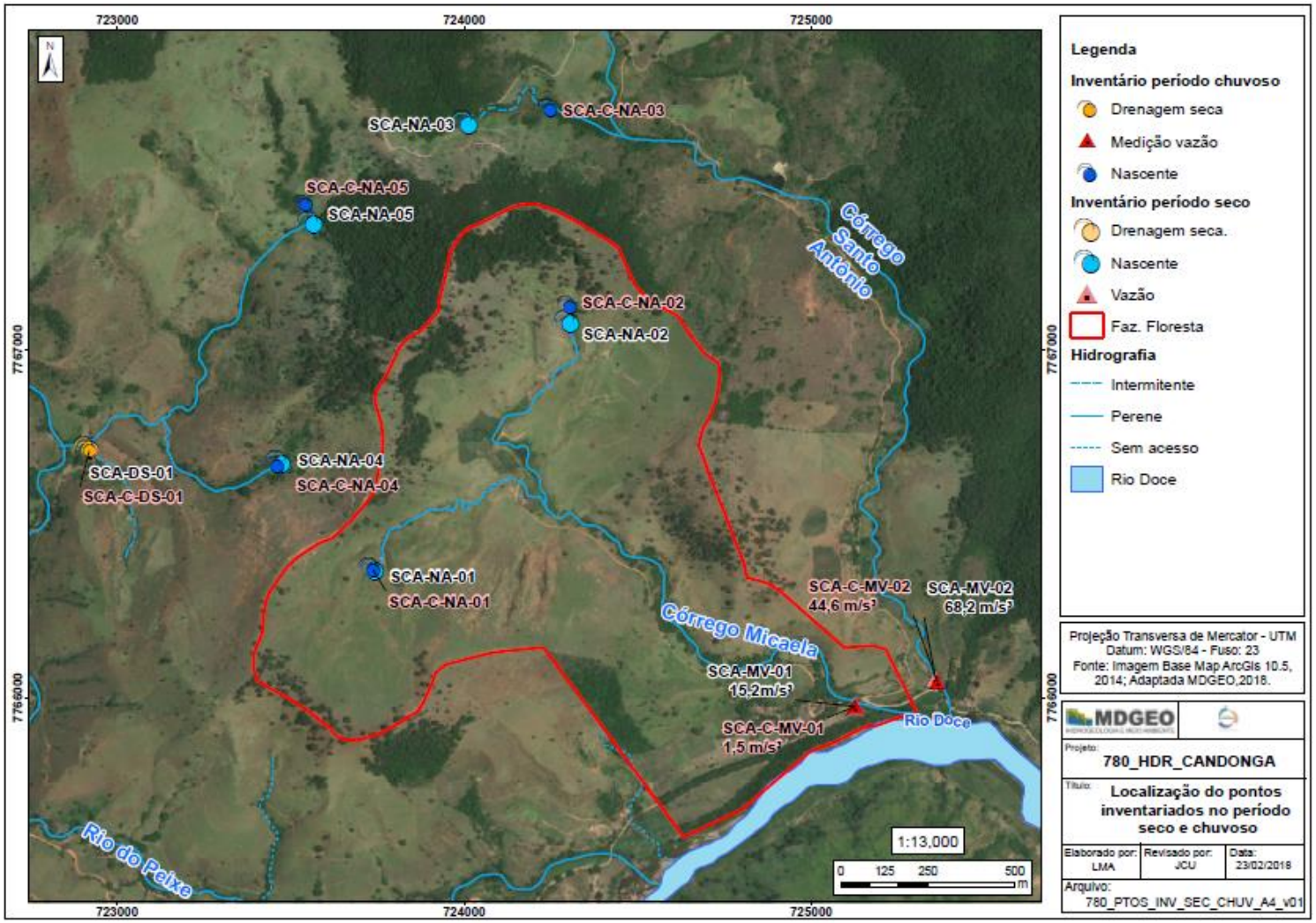


Figura 8.1: Localização dos pontos recadastrados no inventário de período chuvoso.

8.1 NASCENTES

Na área de estudo foram recadastradas as 5 nascentes inventariadas no período seco. A Figura 8.2 apresenta a nova localização dos pontos em que as nascentes foram encontradas após a mudança sazonal.

A Tabela 8.1 apresenta os dados de localização e dos parâmetros físico-químicos medidos em campo na campanha em período chuvoso.

Tabela 8.1: Localização e parâmetros físico-químicos medidos nas nascentes da área de estudo nas campanhas dos períodos seco e chuvoso.

NOME	WGS-84		COTA (m) *(Erro +/-5 m)*	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS					VAZÃO ESTIMADA (L/s)
	E	N		T ar (°C)	T água (°C)	C.E. (µS/cm)	pH	Eh (mV)	
Período Seco									
SCA-NA-01	723743	7766363	416	22.30	21.80	94.20	6.37	196.10	0.1
SCA-NA-02	724306	7767075	400	23.00	22.60	16.88	6.48	87.50	0.2
SCA-NA-03	724012	7767648	441	22.90	22.30	84.40	7.27	-209.90	0.01
SCA-NA-04	723475	7766671	400	26.60	21.00	48.40	6.72	156.50	0.2
SCA-NA-05	723567	7767360	425	24.80	25.70	87.70	6.44	26.60	0.2
Período Chuvoso									
SCA-C-NA-01	723739	7766367	431	29.20	-	97.20	-	-	>0.05
SCA-C-NA-02	724305	7767125	405	27.30	26.10	488.00	6.57	-	0.15
SCA-C-NA-03	724249	7767691	433	32.60	24.50	84.40	-	-	0.15
SCA-C-NA-04	723463	7766665	400	31.40	23.90	62.60	-	-	1.3
SCA-C-NA-05	723544	7767416	415	25.20	25.00	65.00	-	-	>0.01

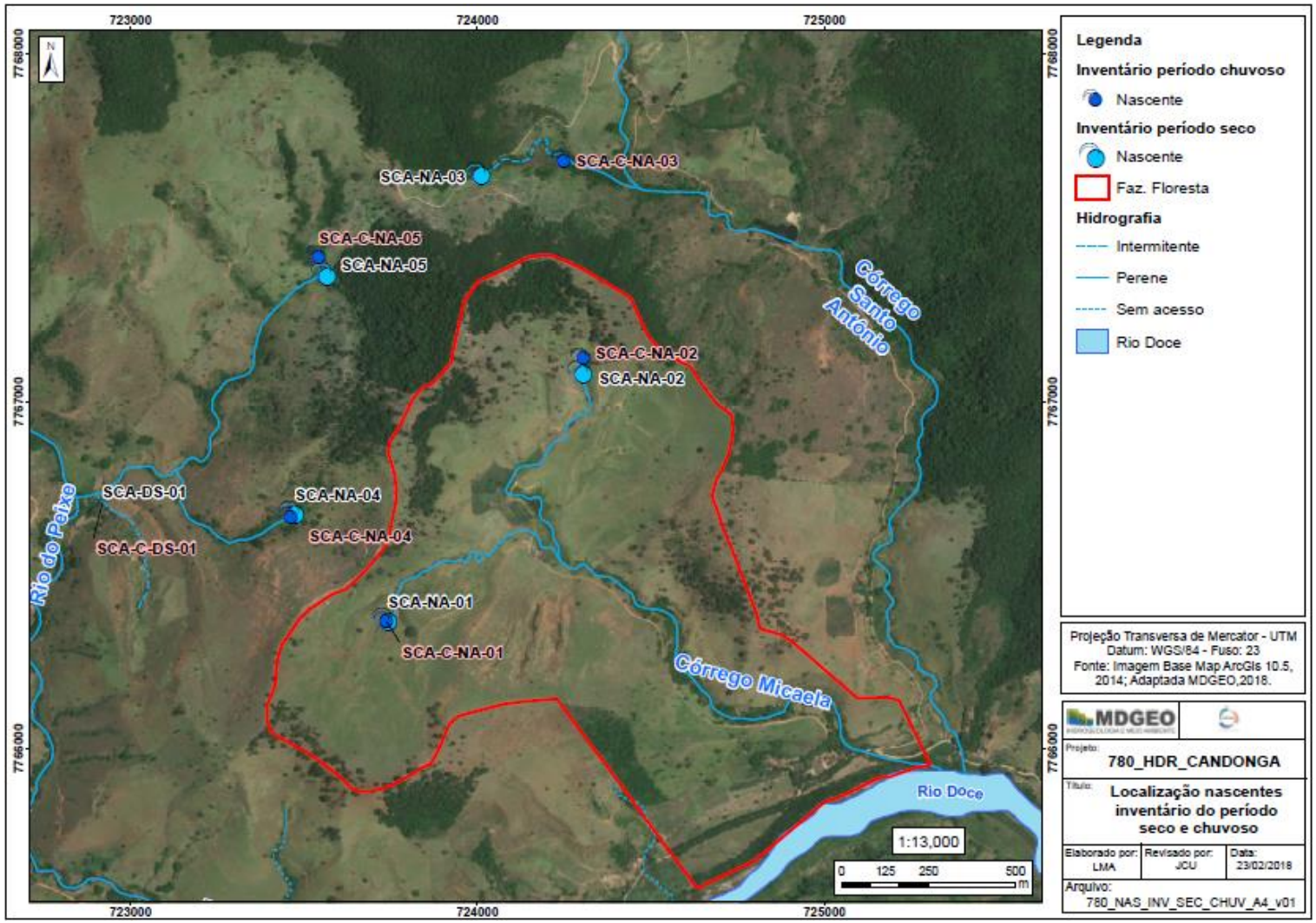


Figura 8.2: Mapa de localização das nascentes inventariadas nos períodos seco e chuvoso.

8.1.1 SCA-C-NA-01

As características do solo e vegetação permaneceram as mesmas que as observadas na campanha em período seco. Não houve deslocamento da nascente após mudança de estação (Foto 8.1 e Foto 8.2). Contudo, algumas porções da drenagem a jusante foram assoreadas em decorrências de obras realizadas na Fazenda Floresta, o que ocasionou a infiltração e ressurgência da água em certos pontos do curso d'água (Foto 8.3 e Foto 8.4).

Houve alteração a menor na vazão estimada, mesmo que no período chuvoso, decaindo de 0,1 L/s para >0,05 L/s, o que pode ser decorrente de obras realizadas ao lado da nascente. Os parâmetros medidos permaneceram com as mesmas características se comparado com o período seco, mesmo com a variação sazonal, sendo que não foram observadas ferrobactérias no local.

Foto 8.1: Situação SCA-NA-01 em período seco.

Foto 8.2: Situação SCA-C-NA-01 em período chuvoso.

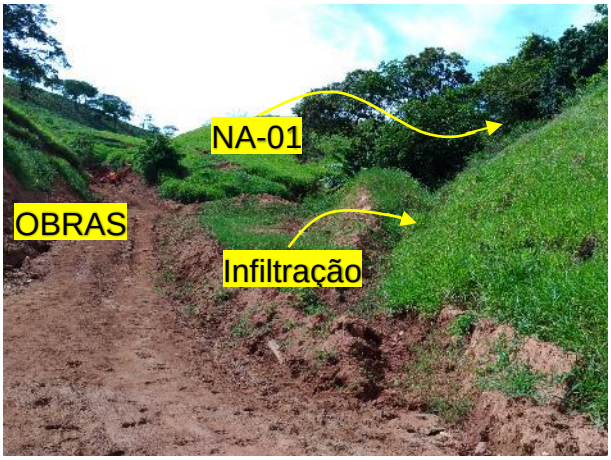


Foto 8.3: Infiltração drenagem SCA-NA-01.

Foto 8.4: Ressurgência drenagem SCA-C-NA-01. Período chuvoso.

8.1.2 SCA-C-NA-02

As características do solo e vegetação no ponto SCA-C-NA-02 permaneceram semelhantes às observadas na campanha em período seco.

Não houve deslocamento da nascente após a mudança de estação hidrológica, no entanto, a drenagem a jusante foi assoreada, recoberta por uma nova estrada de acesso e barrada em um dique próximo ao local (Foto 8.5 e Foto 8.6).

Na saída do brejo houve pequena variação na vazão estimada, que mesmo em período chuvoso, diminuiu de 0,2 L/s para 0,15 L/s na saída do brejo, o que pode ser decorrente das obras ao lado da nascente.

Dentre os parâmetros medidos, o pH manteve-se constante, passando de 6,48 para 6,57, e a CE aumentou consideravelmente, de 16,88 µS/cm para 488,00 µS/cm.

Foto 8.5: Situação SCA-NA-02 em período seco.

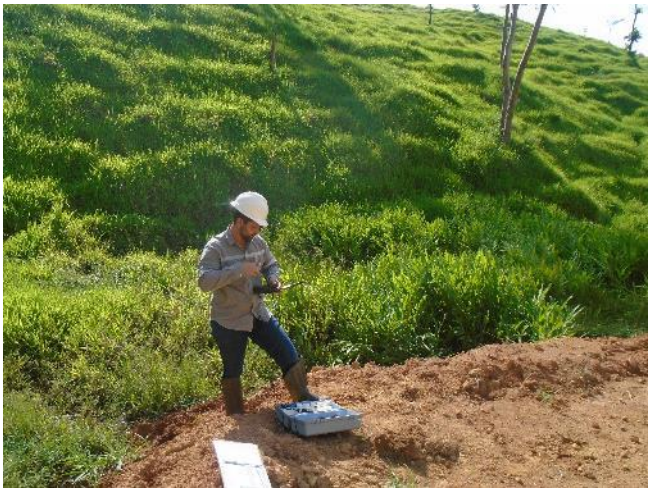


Foto 8.6: Situação SCA-C-NA-02 em período chuvoso.

8.1.3 SCA-C-NA-03

A NA-03 foi deslocada cerca de 100 metros a jusante do ponto inventariado no período seco (Foto 8.7 e Foto 8.8). O novo local cadastrado encontra-se na saída da área de brejo que forma o curso d'água. O solo é pouco desenvolvido e há forte indecência de areia, seixos e blocos rochosos no canal da drenagem.

Na campanha de período seco, a vazão foi estimada para a cabeceira do antigo brejo, contudo, como houve deslocamento da surgência e recadastro na saída do brejo, a vazão aparentemente aumentou de 0,01 L/s para 0,15 L/s (importante ressaltar que na saída do brejo a vazão é maior que em sua cabeceira).

A CE permaneceu a mesma dentre as duas campanhas de inventário, sendo de 84,4 µS/cm.

Foto 8.7: Situação SCA-NA-03, em período seco.

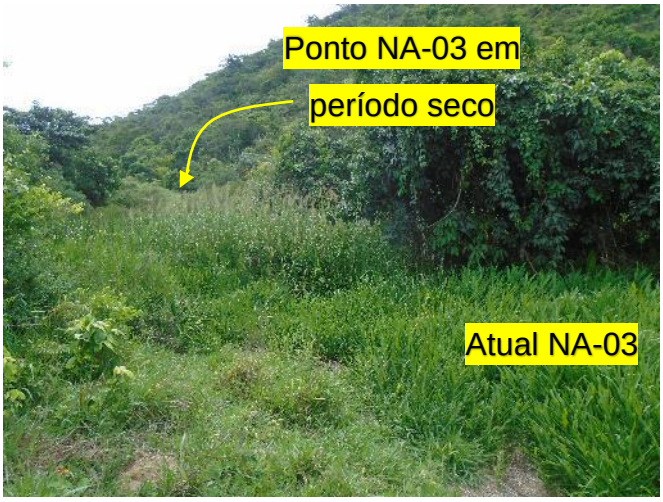


Foto 8.8: Situação SCA-C-NA-03 em período chuvoso, cerca de 100 m à jusante do ponto cadastrado em período seco.

8.1.4 SCA-C-NA-04

Na SCA-C-NA-04, as características do solo e vegetação permaneceram semelhantes às observadas na campanha em período seco.

Não houve deslocamento da nascente após mudança de estação (Foto 8.9 e Foto 8.10).

Na saída do brejo houve pequena variação na vazão, que mesmo em período chuvoso, diminuiu de 0,2 L/s para 0,13 L/s (método volumétrico) na saída do brejo.

Dentre os parâmetros medidos, a CE aumentou ligeiramente de 48,4 µS/cm para 62,60 µS/cm.

Foto 8.9: Situação SCA-NA-04 em período seco.

Foto 8.10: Situação SCA-C-NA-04 em período chuvoso.

8.1.5 SCA-C-NA-05

Houve um deslocamento da surgência SCA-NA-05 de cerca de 10 metros a montante do ponto cadastrado em período seco. Neste local, a nascente caracteriza-se como do tipo pontual, formada pelo contato entre solo/rocha. O solo é pouco desenvolvido, com presença de areia, seixos e blocos no canal da drenagem até o brejo a jusante (onde ocorria a surgência da SCA-NA-05 em período seco) (Foto 8.11 e Foto 8.12).

A vazão estimada em período chuvoso foi de 0,2 L/s, contudo, em período seco foi >0,01 L/s. Apesar das vazões serem diferentes, as medições foram realizadas em contextos diferentes (antes a nascentes era difusa em área de brejo, e atualmente é pontual em local de contato solo/rocha), o que dificulta a avaliação da variação da vazão durante as mudanças de estação.

Dentre os parâmetros analisados, a CE diminuiu ligeiramente, passando de 87,7 µS/cm para 65,00 µS/cm.

Foto 8.11: Situação SCA-NA-05 em período seco (área de brejo).

Foto 8.12: Situação SCA-C-NA-05 em período chuvoso (nascente em contato solo/rocha).

8.2 DRENAGENS SECAS

Assim como no período seco, apenas uma drenagem seca foi cadastrada no inventário de período chuvoso (Figura 8.3).

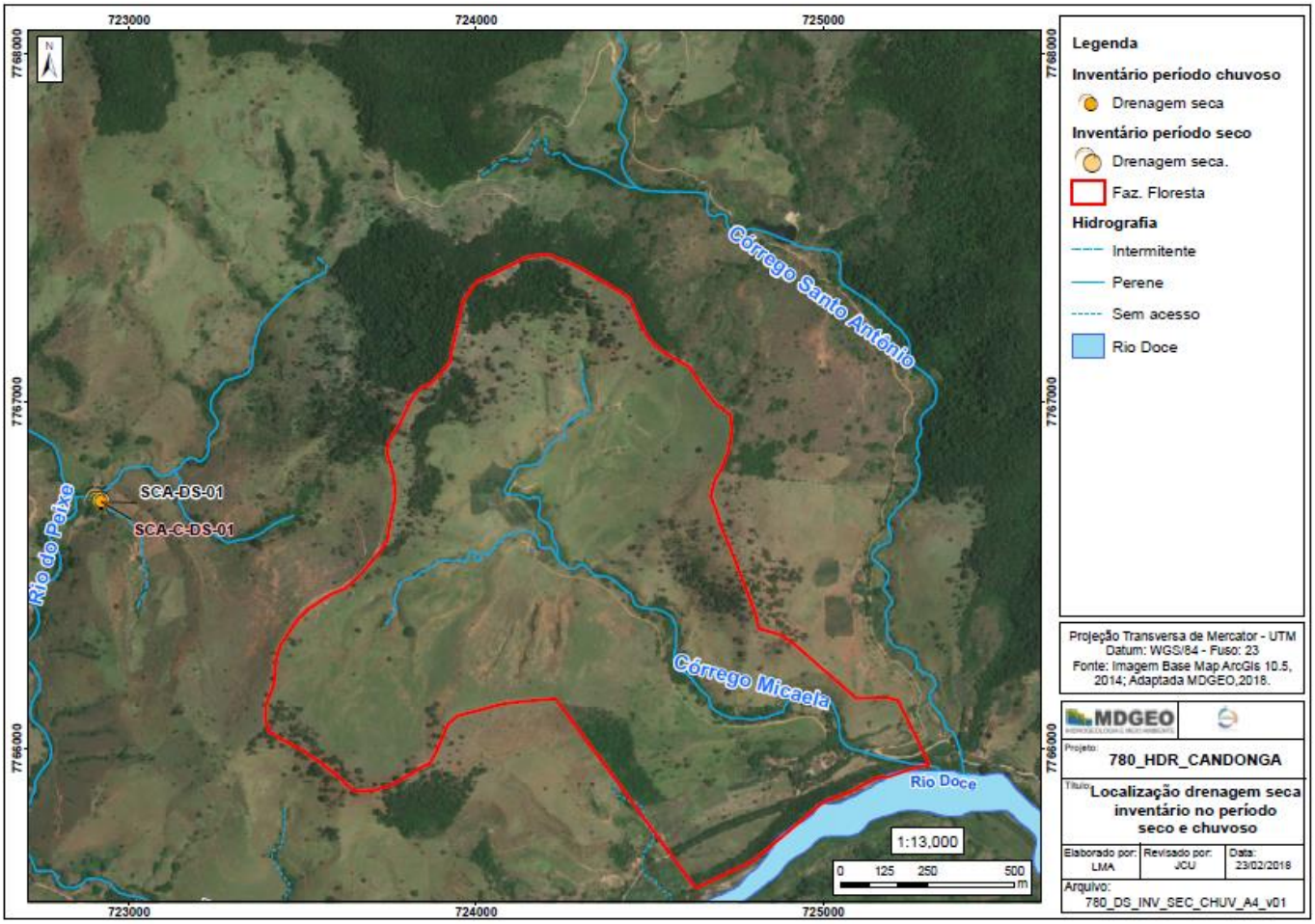


Figura 8.3: Localização da drenagem seca, cadastrada durante inventário de pontos d'água nos períodos seco e chuvoso.

A Tabela 8.2 apresenta os dados de localização da drenagem seca cadastrada durante as atividades de inventário em período seco e chuvoso.

Tabela 8.2: Localização da drenagem seca do ponto SCA-DS-01 e SCA-C-DS-01 (Períodos seco e chuvoso.

NOME	WGS-84		COTA (m) *Erro +/- 5m*
	E	N	
Período Seco			
SCA-DS-01	722921	7766712	324
Período Chuvoso			
SCA-C-DS-01	722921	7766712	324

8.2.1 SCA-C-DS-01

As características do solo e vegetação são as mesmas da campanha de inventário durante o período seco.

Em relação ao período seco, o ponto foi assoreado e não há água empoçada como havia (Foto 8.13 e Foto 8.14).

Assim como durante o período seco, o barramento existente na porção de montante da SCA-DS-01 também estava seco (Foto 8.15). Próximo ao barramento, existe um pequeno dique de contenção de água de chuvas para dessedentação animal, e neste ponto havia água (Foto 8.16), diferentemente da situação encontrada durante a campanha realizada no período seco.

Foto 8.13: Situação SCA-DS-01 em período seco.

Foto 8.14: Situação -SCA-C-DS-01 em período chuvoso.

Foto 8.15: Barramento à montante SCA-DS-01.

Foto 8.16: Água empoçada em dique na SCA-C-DS-01.

8.3 MEDIÇÃO DE VAZÃO

A medição de vazão ocorreu novamente nos pontos mais a jusante dos Córregos Micaela e Santo Antônio, ou seja, em localidades próximas às suas confluências com o Rio Doce.

A seção de medição permaneceu a mesma no Córrego Micaela, e foi realocada no Córrego Santo Antônio em cerca de 4 metros a jusante, devido à viabilidade de rotação do micromolinete. A Figura 8.4 e Tabela 8.3, a seguir, apresentam a nova localização dos pontos de medição de vazão na campanha de inventário em período chuvoso.

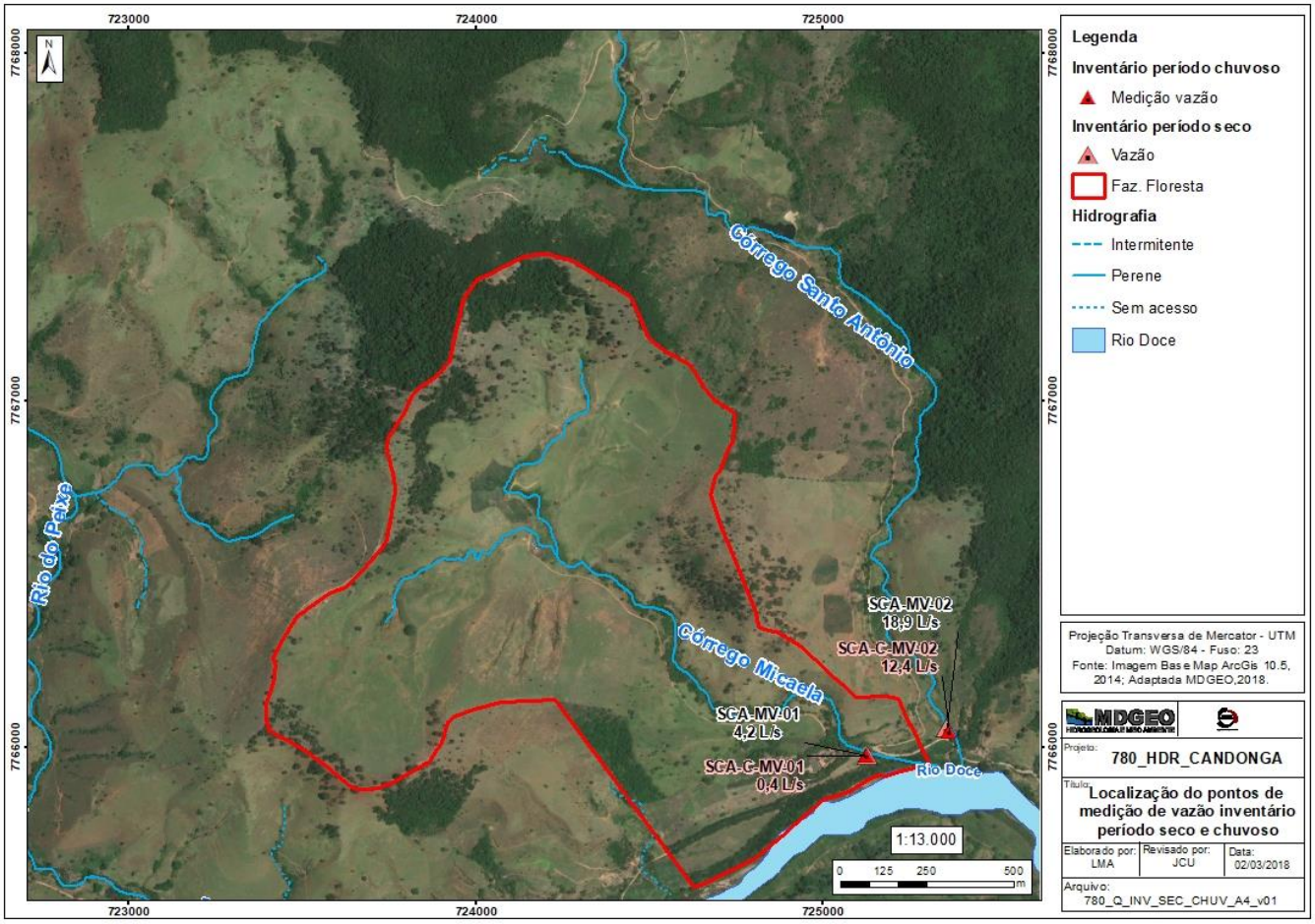


Figura 8.4: Mapa de localização dos pontos de medição de vazão em período seco e chuvoso.

Tabela 8.3: Localização e parâmetros físico-químicos dos pontos de medição de vazão em período seco e chuvoso.

Nome	UTM E	UTM N	COTA (m) *Erro +/- 5m*	T ar (°C)	T água (°C)	C.E. (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Vazão Estimada (L/s)
Período Seco									
SCA-MV-01	725129	7765974	289	21	19.9	60	7.61	119.9	4.2
SCA-MV-02	725357	7766055	279	26.5	22.4	50.4	7.69	63.6	18.9
Período chuvoso									
SCA-C-MV-01	725126	7765974	290	27.9	23.7	132.6	-	-	0.4
SCA-C-MV-02	725363	7766046	279	24.1	25.6	61.3	-	-	12.4

8.3.1 SCA-C-MV-01 (Córrego Micaela)

As características da vegetação permaneceram as mesmas desde o inventário referente ao período seco. O solo local foi modificado, sendo que houve forte assoreamento, incrementando a concentração de areia área no leito do rio (Foto 8.17 e Foto 8.18).

A seção de medição de vazão no Córrego Micaela permaneceu no mesmo local, contudo, houve uma intensa diminuição da largura da calha da drenagem. A vazão diminuiu de 4,2 L/s para 0,4 L/s do período seco para o chuvoso, possivelmente em decorrência das obras e diques de contenção no interior da Fazenda Floresta.

Dentre os parâmetros que foram medidos, destaca-se que a CE aumentou ligeiramente de 119,9 µS/cm para 132,6 µS/cm.

Foto 8.17: Situação SCA-MV-01 em período seco (vista para montante). A seta em amarelo indica o sentido do fluxo na drenagem.

Foto 8.18: Situação SCA-C-MV-01 em período chuvoso (vista para montante). Maior concentração de areia no leito do córrego em relação ao período seco. A seta em amarelo indica o sentido do fluxo na drenagem.

8.3.2 SCA-C-MV-02 (Córrego Santo Antônio)

As características do solo local permaneceram as mesmas. A vegetação apresentou-se mais exuberante, devido às chuvas.

A seção de medição de vazão no Córrego Santo Antônio foi deslocada cerca de 4 metros a jusante para adequação da leitura das rotações do micromolinete (Foto 8.19 e Foto 8.20).

A vazão também diminuiu de 18,9 L/s para 12,4 L/s do período seco para o período chuvoso. O Córrego Santo Antônio não se encontra na área de influência das obras realizadas no interior da Fazenda Floresta, por isso, a diminuição da vazão pode ter sido influenciada por fatores naturais, como tempo sem chuva na localidade.

Foto 8.19: Situação SCA-MV-02 em período seco (vista para montante). A seta em amarelo indica o sntido do fluxo na drenagem.

Foto 8.20: Situação SCA-C-MV-02 em período chuvoso (vista para montante). A seta em amarelo indica o sentido do fluxo na drenagem.

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

9.1 CONCEITOS

A seguir será apresentada uma descrição conceitual sobre tipos de aquíferos e como as rochas descritas para a região de estudo se comportam quanto ao seu potencial para o armazenamento e a circulação da água subterrânea.

Aquífero

Um aquífero é toda formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a explotação desta em quantidades economicamente viáveis. Esse conceito está relacionado à demanda de água local, sendo que um aquífero considerado pobre em uma região pode ser considerado como um aquífero razoável em outra.

A água contida em uma formação geológica qualquer pode ocupar tanto os vazios intergranulares quanto espaços vazios relacionados com falhas, fraturas e estruturas de dissolução/carstificação.

A seguir são apresentadas as classificações de aquíferos em relação ao tipo de porosidade e em relação ao confinamento:

Classificação em relação à porosidade: entende-se por porosidade granular ou primária os vazios formados entre os grãos da rocha, e por porosidade secundária ou fissural, aquela formada por descontinuidades da rocha, que possibilitam o armazenamento e a circulação de água subterrânea. Assim sendo, empregam-se as denominações de aquíferos com porosidade granular (ou primária) e porosidade fissural (ou secundária). Existem também os aquíferos cársticos, normalmente caracterizados por redes de condutos subterrâneos formados pela dissolução de rochas, principalmente carbonáticas, e que também apresentam porosidade secundária.

Classificação em relação ao confinamento: aquíferos livres são aqueles no qual há uma superfície livre de água (em contato direto com o ar), ou seja, sob pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a água contida em seu interior está submetida a certa pressão, superior a atmosférica, e ocupa a totalidade dos poros e vazios da formação, saturando-a totalmente. Uma variação dos aquíferos confinados são os

aquíferos denominados semi-confinados, no qual a camada superior ou inferior que os confine não seja totalmente impermeável, mas semi-permeável (vide definições adiante). Ou seja, um material que permita a circulação vertical da água, muito lenta, que alimente um aquífero a partir de outro situado acima ou abaixo.

Aquitardo, aquiclude e aquifugo

Um aquitardo faz referência a formações geológicas que, mesmo contendo água em seu interior, a transmite muito lentamente. Dessa forma, essas formações podem permitir, de maneira lenta, uma recarga ou drenagem vertical de outros aquíferos adjacentes.

Um aquiclude trata-se de uma formação que, mesmo contendo água em seu interior, inclusive até a saturação, não a transmite, impossibilitando assim sua explotação.

Denomina-se aquifugo aquelas formações geológicas que não contêm água, e, portanto, não a podem transmitir. Podemos classificar como aquifugo aquelas rochas compactas desprovidas de porosidade e que não possuam fraturas ou falhas que permitam o armazenamento e a circulação de água.

9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Em termos hidrogeológicos, os sistemas aquíferos existentes são:Sistema Aquífero Poroso, mais superficial, e Sistema Aquífero Cristalino mais profundo, sotoposto ao primeiro.

9.2.1.1 Sistema Aquífero Poroso

No aquífero poroso, que compreende os alúvios e colúvios presentes nas encostas de morros, a água proveniente da precipitação pluviométrica percola por dentre os poros dos grãos do solo. De acordo com os perfis das sondagens, o solo possui cerca de 20 a 25 metros de espessura, possui características texturais e composicionais semelhantes, e por vezes é saturado.

9.2.1.2 Sistema Aquífero Cristalino ou Fraturado

O Sistema Aquífero Cristalino é o predominante na área de estudo, sendo constituído por gnaisse, anfibolito, veios de quartzo fraturados e pelos seus correspondentes da atuação do intemperismo (latossolo e cambissolo), na interface

solo/rocha. O fluxo subterrâneo nesse aquífero ocorre através de fraturas nas rochas que, por sua vez, estão condicionadas a esforços tectônicos que geraram a suíte metamórfica, onde se encontra inserida a área de estudos.

9.3 RECARGA, DESCARGA E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

9.3.1 RECARGA

A principal forma de recarga na área se dá por meio da infiltração de água da chuva no solo (aquífero poroso, mais superficial) e este, por sua vez, funciona como meio de recarga para o sistema aquífero fraturado, mais profundo.

A recarga dos sistemas aquíferos ocorre principalmente durante o período chuvoso do ano hidrológico para a região, sendo esse período de outubro a março (MDGEO, 2017).

9.3.2 FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA – POTENCIOMETRIA

Com base nas informações de nível d'água presentes nos *logs* de sondagem disponibilizados e as informações coletadas durante o campo de inventário de período seco, foi possível elaborar o mapa potenciométrico e determinar o sentido do fluxo da água subterrânea na área da Fazenda Floresta e entorno, tendo como limites o Córrego Santo Antônio e o Rio do Peixe.

Além disso, com base nas descrições litológicas das sondagens, foi possível elaborar perfis geológicos para uma melhor observação do comportamento da superfície do nível d'água durante o período seco ao longo da Fazenda Floresta.

Foram confeccionados dois perfis: A-A', de noroeste a sudeste, e B-B' de sudoeste a nordeste. A disposição dos perfis encontra-se na Figura 7.7 (Item 7.5 - PONTOS DE CONTROLE E FUROS DE SONDAGEM).

O perfil A-A' representa claramente como é o aquífero nos diferentes contextos topográficos da área de estudos, bem como a provável interface entre solo e rocha/aquífero poroso e fraturado no local. O perfil secciona um ponto próximo à confluência das duas nascentes que geram o Córrego Micaela, a partir desse ponto o perfil é próximo a drenagem e por isso o nível freático é próximo à topografia, o que justifica um solo mais espesso, visto que é uma região saturada. No meio da seção, observa-se uma elevação do nível d'água que é condicionada pela variação

topográfica, e o mesmo acontece para o topo rochoso. Na porção mais a Leste, têm-se o afloramento da superfície potenciométrica marcada pela passagem do Rio Doce (Figura 9.1).

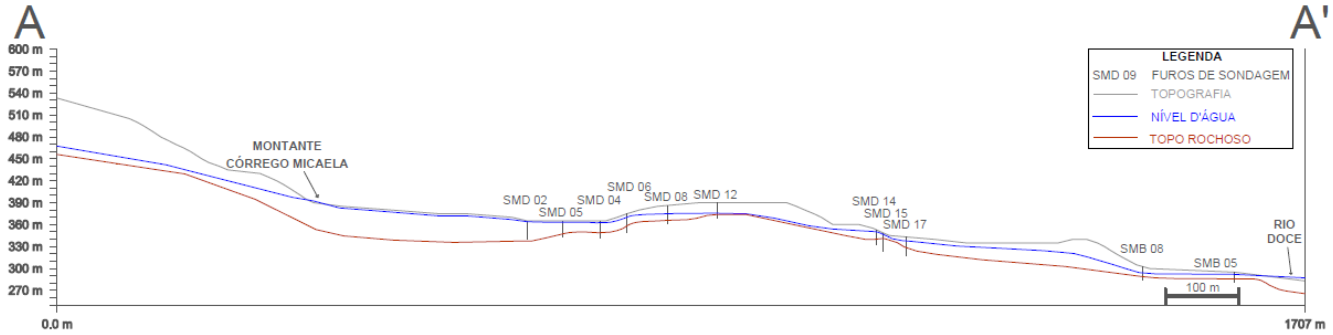


Figura 9.1: Perfil A - A'. (Período seco)

O perfil B-B' representa uma seção mais próxima às divisas, a montante da Fazenda Floresta. A representação também ilustra de forma bastante elucidativa a disposição do nível d'água e topo rochoso ligeiramente paralelos à topografia, sendo mais profundos nas áreas de cota mais elevada e vice-versa. Em dois pontos há o afloramento do nível d'água, representados no perfil como os córregos afluentes formadores do Córrego Micaela (Figura 9.2).

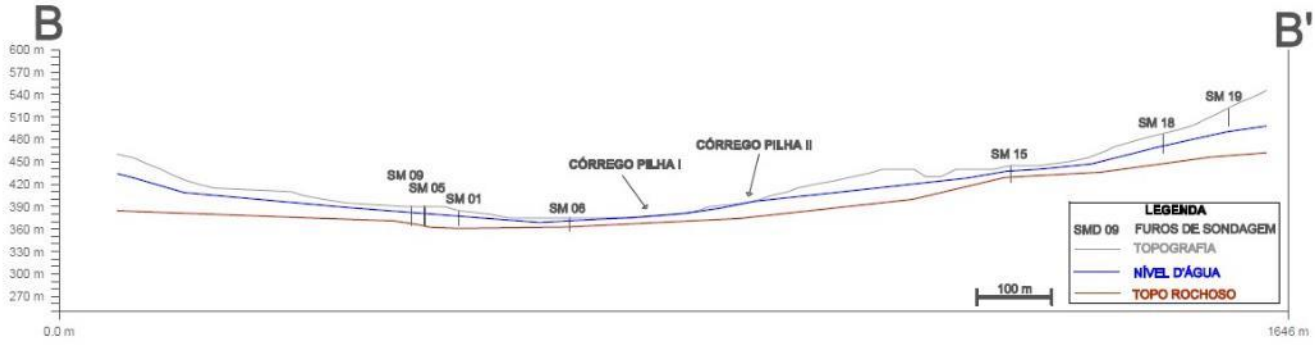


Figura 9.2: Perfil B - B'. (Período seco)

Os dados utilizados foram a cota do nível d'água nos furos de sondagem, as cotas de nascentes e de rios. As informações provenientes das sondagens foram

filtradas avaliando apenas perfurações que ocorreram durante o período seco, visto que os dados de pontos d'água da campanha de inventário foram adquiridos em uma mesma época do ano hidrológico. Logo, os elementos empregados têm origem em agosto a outubro de 2016 e junho de 2017.

Além de dados de nível d'água, dados topográficos e de hidrografia atualizados foram usados para formulação do modelo potenciométrico.

No mapa da Figura 9.3, as linhas equipotenciais estão representadas de 20 em 20 metros para melhor visualização e entendimento da circulação subterrânea. Observa-se que, de forma geral, as cargas hidráulicas decaem da cota 450 até 290 a partir das porções de maior altitude da Fazenda Floresta até próximo ao Rio Doce.

Nota-se, na Fazenda Floresta, que o fluxo tem direção radial, partindo dos limites da fazenda, com sentido para o Córrego Micaela. Nas regiões do entorno da Fazenda Floresta, o fluxo tem sentido para os corpos d'água principais, a leste da área sentido Córrego Santo Antônio e a oeste, sentido Rio do Peixe.

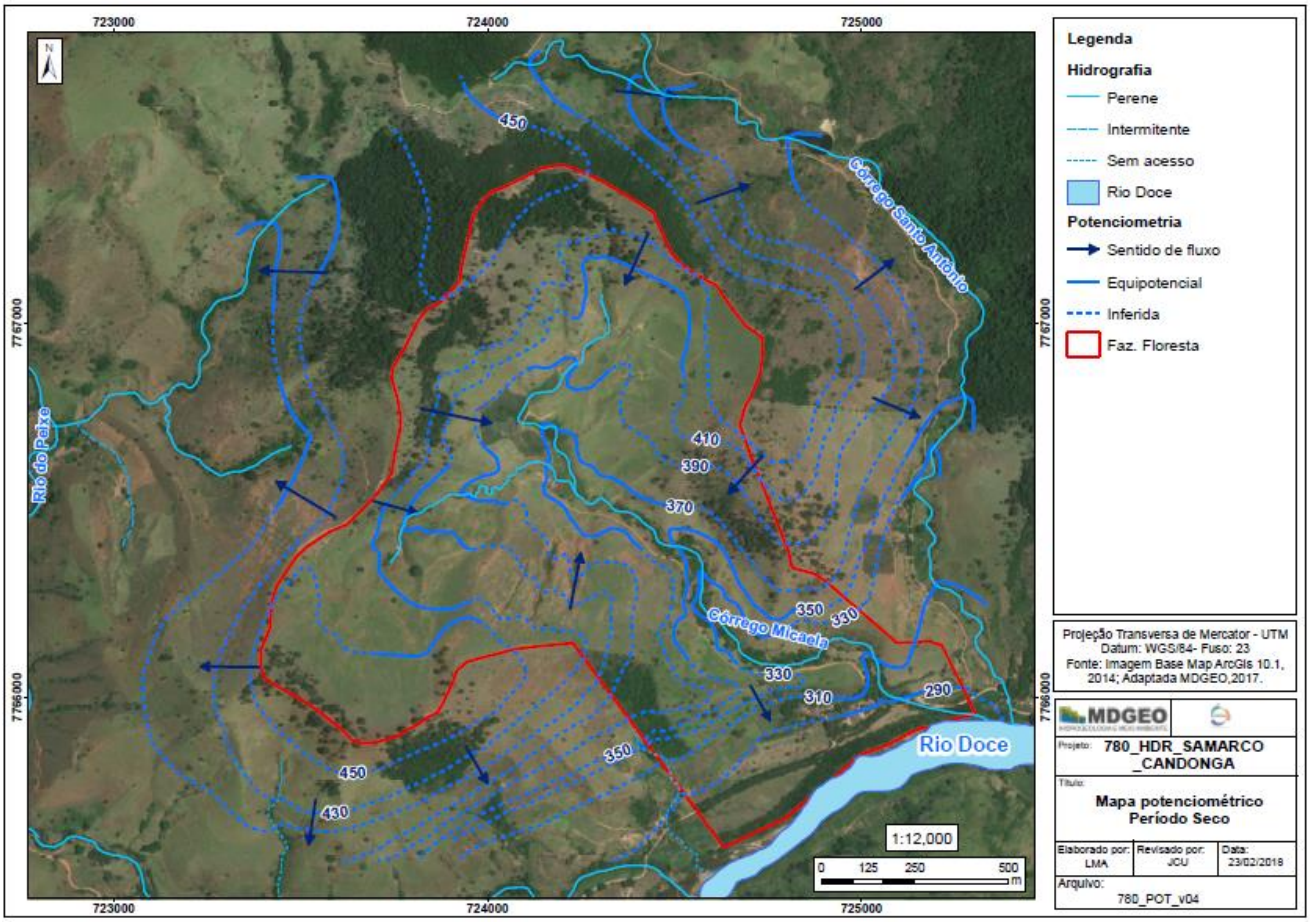


Figura 9.3: Mapa potenciométrico da Fazenda Floresta e entorno.

Como o deslocamento das nascentes durante o período chuvoso foi pequeno, as variações do nível d'água não seriam bem observadas dentre as diferentes estações hidrológicas. Contudo, de acordo com os registros de campo, a direção do fluxo subterrâneo no período chuvoso é o mesmo que ocorre no período seco.

9.3.3 DESCARGA

A principal forma de descarga dos aquíferos da área em estudo se dá por meio das drenagens.

No interior da Fazenda Floresta, o Córrego Micaela comporta-se como a principal drenagem da área, sendo que toda água superficial e excedentes subterrâneos seguem em direção ao canal principal até sua confluência com o Rio Doce. O Córrego Micaela é caracterizado como um curso d'água efluente.

Os limites fisiográficos da fazenda correspondem aos divisores de água da microbacia do Córrego Micaela, o que colabora com que as direções de fluxo subterrâneo sejam opostas a partir de suas divisas. Em seu entorno, a partir das nascentes (SCA-NA-03, SCA-NA-04 E SCA-NA-05), as demasias do reservatório são lançadas nas drenagens até a confluência com o Rio do Peixe, a oeste, ou no Córrego do Santo Antônio, a leste da área, que posteriormente seguem até o Rio Doce em ambas regiões.

A partir das medições de vazão realizadas no campo de inventário de período seco, é possível calcular, de maneira preliminar, a porção da chuva que infiltra no solo e recarrega o aquífero, considerando cada sub-bacia determinada pelos divisores de água da região.

O mapa da Figura 9.4 ilustra as sub-bacias definidas para o cálculo da reserva efetiva dos aquíferos.

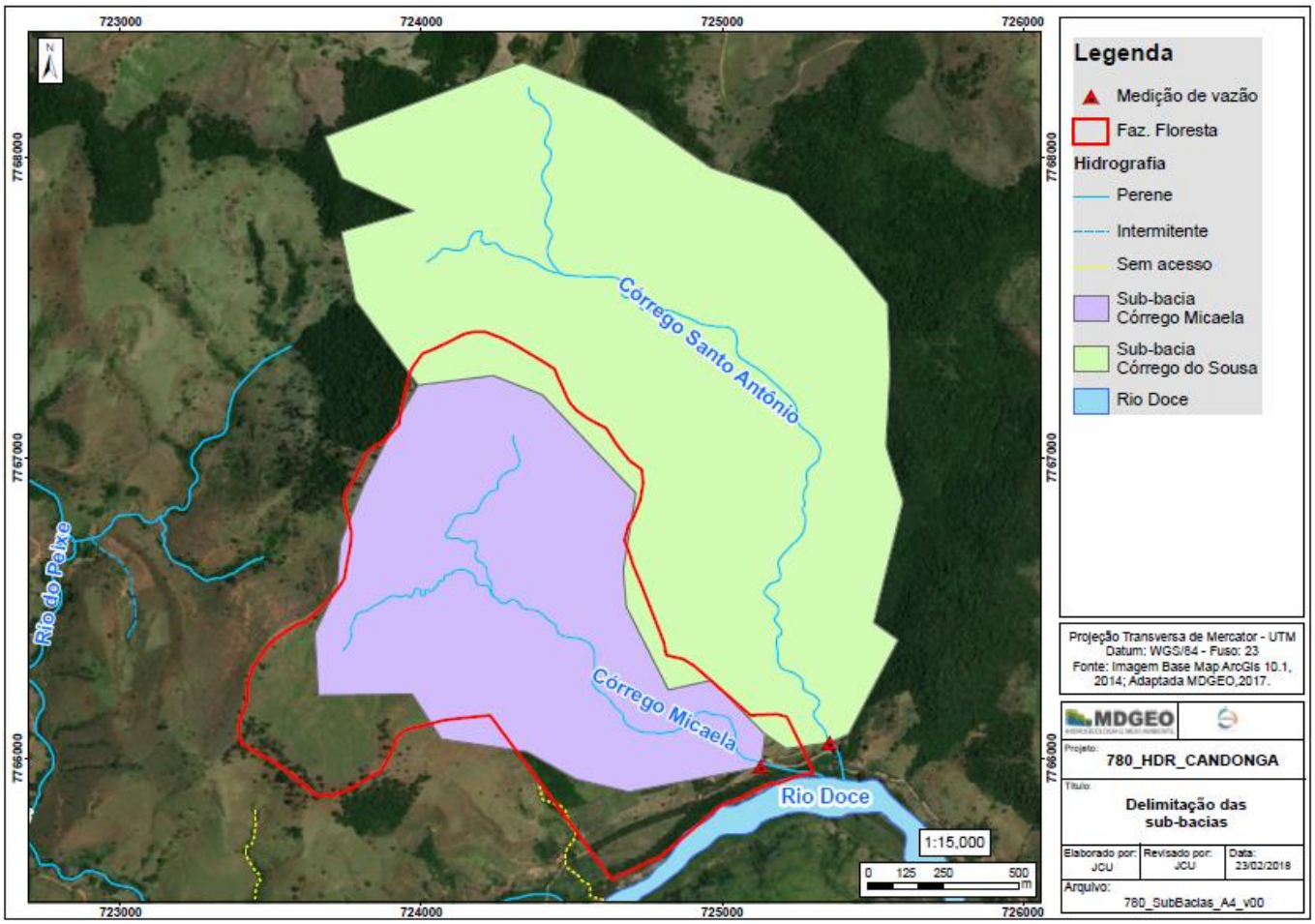


Figura 9.4: Mapa dos limites das sub-bacias dos córregos Micaela e Santo Antônio.

As áreas das sub-bacias, delimitadas no *software ArcGis*, correspondem a uma área de 1.188.904 m² para a sub-bacia do Córrego Micaela, e 2.386.518,6 m² para a sub-bacia do Córrego Santo Antônio.

Os dados utilizados referentes a precipitação correspondem aos mesmos dados apresentados no Relatório de Compilação de Dados (MDGEO, 2017). Assim, considerou-se uma média anual de precipitação de 1.321,33 mm/ano, segundo a Estação Pluviométrica de Rio Casca, sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), utilizada por conter o histórico de dados mais completo.

As medidas de vazão obtidas durante o inventário de pontos d'água, apresentadas no capítulo 7.4 do presente relatório, correspondem a 15,2 m³/h para o Córrego Micaela e 68,2 m³/h para o Córrego Santo Antônio.

A partir dessas informações, é calculado o volume de chuva correspondente a cada sub-bacia e, desse valor, uma parcela corresponde a recarga do aquífero, uma ao escoamento superficial e a outra a evapotranspiração. Durante o período seco, a vazão medida nos cursos d'água corresponde ao escoamento subterrâneo. Portanto, a parcela que recarrega o aquífero se dá pela seguinte equação:

$$Recarga = \frac{Escoamento\ subterrâneo}{Precipitação}$$

A partir da área das sub-bacia e da pluviometria, tem-se que a vazão de chuva na sub-bacia do Córrego Micaela equivale a 179,3 m³/h. A partir da vazão medida no córrego (15,2 m³/h), calcula-se a recarga:

$$Recarga\ sub - bacia\ Micaela = \frac{15{,}2\,\frac{m^3}{h}}{179{,}3\,\frac{m^3}{h}} = 0{,}0847 = 8{,}5\%$$

Ou seja, do total da média anual de chuva, 8,5 % é responsável pela recarga do aquífero na sub-bacia do Córrego Micaela.

Considerando o mesmo raciocínio, tem-se para o Córrego Santo Antônio:

$$Recarga\ sub - bacia\ Sto\ Antonio = \frac{68{,}2\ \frac{m^3}{h}}{359{,}88\ \frac{m^3}{h}} = 0{,}189 = 18{,}9\%$$

Ou seja, do total da média anual de chuva 18,9 % é responsável pela recarga do aquífero na sub-bacia do Córrego Santo Antônio.

Cabe ressaltar que os cálculos têm caráter preliminar, uma vez que foi utilizada apenas uma medição de vazão nos córregos, referente ao período seco do ano hidrológico. A Tabela 9.1 apresenta a síntese dos resultados dos cálculos da recarga para as sub-bacias da área de estudos.

Tabela 9.1: Síntese dos cálculos da recarga efetiva para a área de estudos.

SUB-BACIA	ÁREA (m²)	MÉDIA ANUAL PRECIPITAÇÃO NA ÁREA (mm/ano)	VAZÃO DE CHUVA (m³/h)	VAZÃO CÓRREGO MEDIDA (m³/h)	RECARGA (%)
Micaela	1.188.904	1321,33	179,28	15,2	8,47
Santo Antônio	2.386.519		359,88	68,2	18,95

10 PROJETO DE REDE DE MONITORAMENTO

A implantação da rede de monitoramento quali-quantitativo na área da Fazenda Floresta é de fundamental importância para a avaliação dos recursos hídricos presentes na área.

As informações providas pela rede de monitoramento permitirão atestar a manutenção das características naturais dos recursos hídricos da área, após a disposição do rejeito, além de, em caso de alguma alteração, tomar medidas mitigatórias com maior eficiência.

Para garantir a qualidade dos dados monitorados é necessário que, tanto a coleta hidroquímica como a medição de vazão e nível d'água subterrâneo, sejam realizadas por profissionais capacitados e seguindo as respectivas metodologias. Para as coletas e análises hidroquímicas é indicado seguir a metodologia presente no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

O mapa da Figura 10.1 ilustra a disposição dos pontos de monitoramento propostos inicialmente na área. Vale ressaltar que, o ponto onde a Fundação Renova já realiza o monitoramento de vazão do Córrego Micaela não é indicado no mapa, uma vez que ele apresenta somente a proposta de implementação da rede de monitoramento.

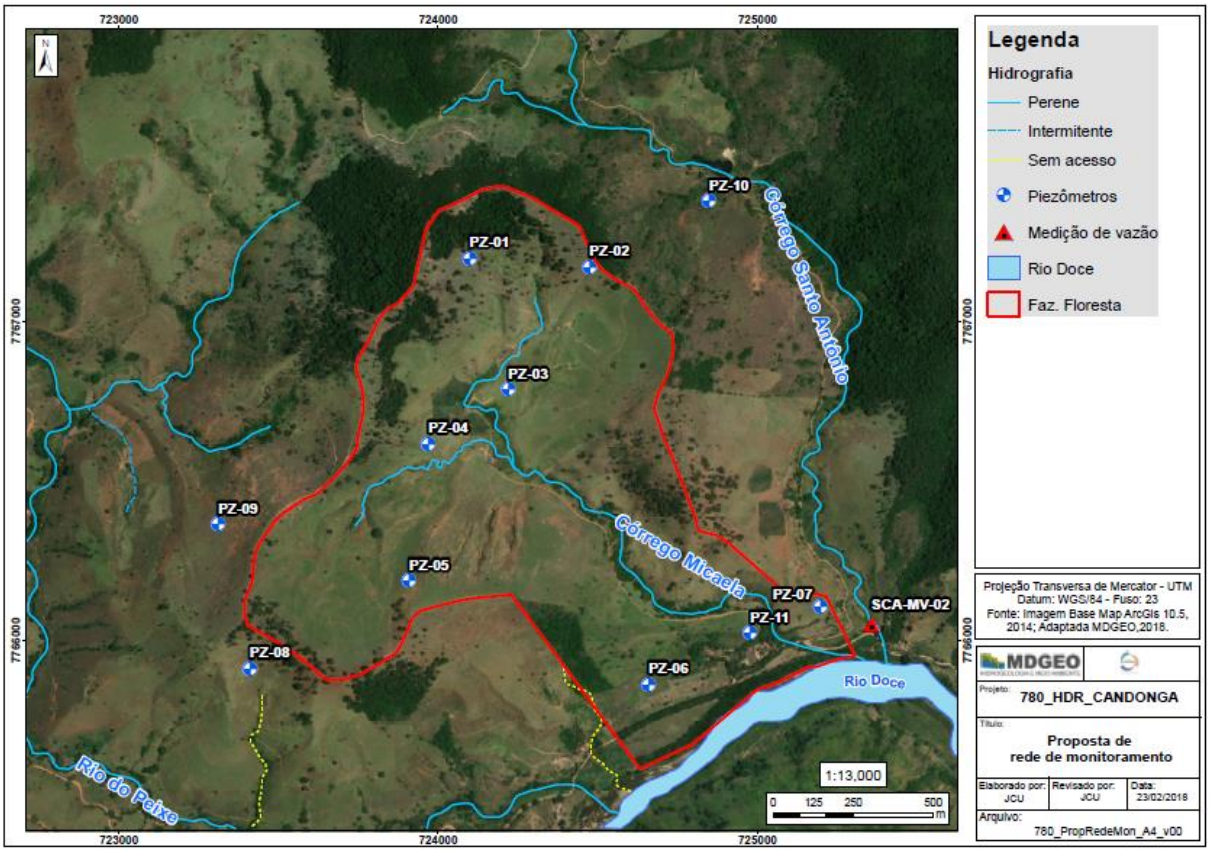


Figura 10.1: Mapa de proposta da rede de monitoramento inicial.

As localizações dos pontos propostos para a instalação dos instrumentos visam monitorar qualquer alteração na água, considerando o fluxo subterrâneo definido no capítulo 9.3.2. A Tabela 10.1 apresenta a localização dos instrumentos propostos.

Tabela 10.1: Localização dos instrumentos propostos para implementação da rede de monitoramento quali/quantitativa.

NOME	WGS-84	
	E	N
PZ-01	724099	7767199
PZ-02	724474	7767169
PZ-03	724220	7766786
PZ-04	723970	7766618
PZ-05	723910	7766188
PZ-06	724659	7765865
PZ-07	725197	7766106
PZ-08	723410	7765912
PZ-09	723311	7766364
PZ-10	724848	7767376
PZ-11	724977	7766024

Sugere-se que os instrumentos de medição de nível d'água subterrâneo sejam construídos a fim de atender os requisitos para a realização de coletas de amostras de água, como diâmetro do tubo.

A perfuração deve ser, preferencialmente, roto-percussiva com circulação reversa. A amostragem do material deve ser realizada de metro a metro. A Figura 10.2 apresenta o perfil construtivo esperado, gerado com base nas informações dos furos de sonda próximos aos pontos propostos para a locação dos piezômetros. As profundidades das camadas litológicas poderão apresentar alterações em relação ao perfil durante a execução do furo, de acordo com cada local perfurado.

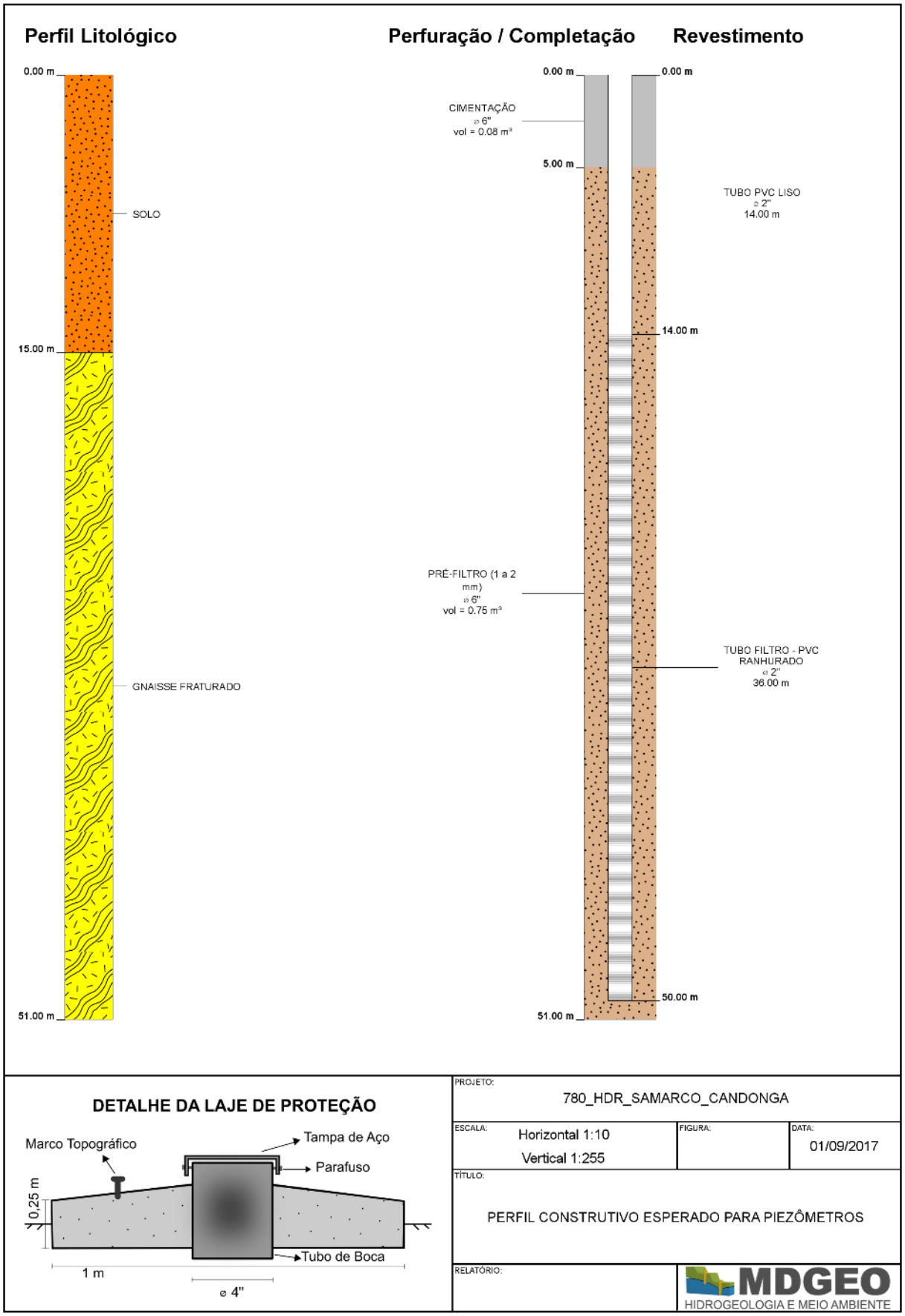


Figura 10.2: Perfil construtivo esperado para os piezômetros propostos.

Após a instalação, o instrumento deverá passar por limpeza de 12 horas, pelo método de *air-lift*, com compressor de 5 kg/80 psi, com filtro de óleo para evitar contaminações, e tubo edutor.

10.1 ATUALIZAÇÃO NA LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Após a proposta da instalação da rede de monitoramento, foi realizada uma visita técnica no dia 19 de dezembro de 2017 a fim de confirmar a localização dos instrumentos ou, caso necessário, deslocar algum ponto marcado em local inadequado.

Foi solicitado pela Fundação Renova manter os pontos da rede de monitoramento no interior dos limites da Fazenda Floresta a fim de evitar dificuldades na perfuração de instrumentos em propriedades de terceiros.

Além disso, alguns pontos encontravam-se em locais com cota topográfica elevada, o que provavelmente levaria a necessidade de instrumentos mais profundos para atingir o nível d'água subterrâneo esperado.

Sendo assim, a rede de monitoramento foi adequada levando-se em consideração o propósito da mesma, mantendo os pontos de monitoramento segundo o mapa potenciométrico elaborado para os limites da área de estudo, aliado à melhor disposição dos pontos em locais adequados na Fazenda Floresta.

Após a atualização, a rede de monitoramento proposta conta com 08 instrumentos dispostos como apresentado no mapa da Figura 10.3. As novas coordenadas UTM dos pontos encontram-se na Tabela 10.2.

Tabela 10.2: Localização dos pontos propostos para a instalação dos instrumentos da rede de monitoramento quali/quantitativa após atualização.

NOME	X	Y
PZ-01	724233	7767121
PZ-02	724412	7767166
PZ-03	724503	7766649
PZ-04	724015	7766617
PZ-05	724004	7766413
PZ-06	724526	7765743
PZ-07	725222	7766125
PZ-08	724712	7765679

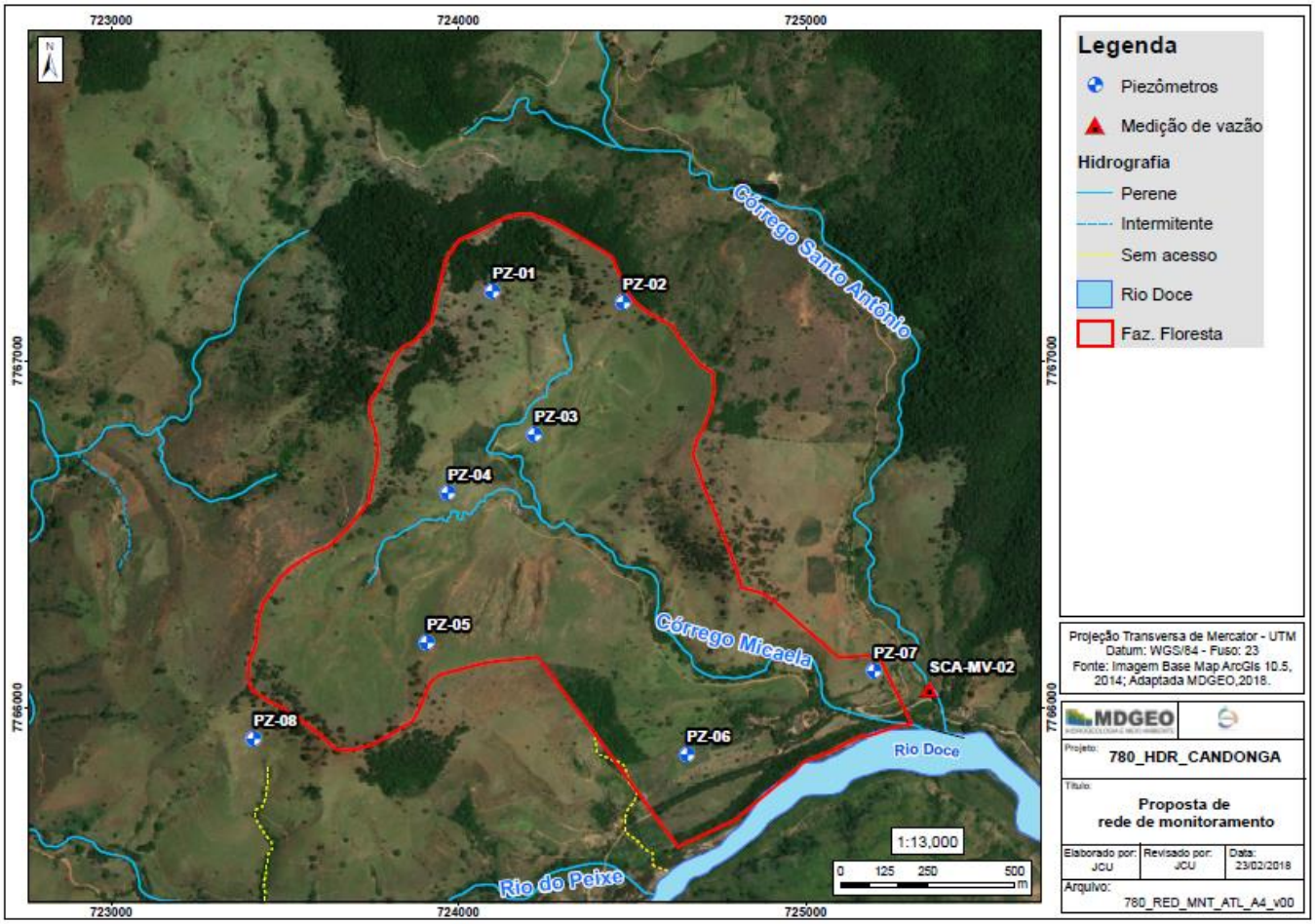


Figura 10.3: Mapa da rede de monitoramento quali-quantitativa atualizado.

Ressalta-se que a atualização da localização dos pontos propostos para a instalação dos instrumentos da rede de monitoramento em nada altera o perfil construtivo esperado, nem os métodos apresentados para o monitoramento quali-quantitativo.

10.2 MONITORAMENTO QUALITATIVO

O monitoramento qualitativo permite a classificação e análise das águas subterrâneas e superficiais. Para tanto, deve-se garantir, pelo menos, a análise dos cátions e ânions principais dissolvidos, sendo os cátions Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} e o ânions Cl^{-}, $HCO3^{-}$ e $SO4^{-}$, para fins de caracterização. Para a análise, sugere-se os itens presentes na Tabela 10.3, selecionados com base na resolução CONAMA 396/2008, para águas subterrâneas.

Tabela 10.3: Parâmetros previstos para a amostragem e análise de água subterrânea.

PARÂMETROS PARA ANÁLISE – BASEADOS NA RESOLUÇÃO CONAMA 396/2008
Metais dissolvidos (Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Berílio, Boro, Cádmio, Chumbo, Cianeto, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Fluoreto, Manganês, magnésio, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Nitrato (como N), Nitrito (como N), Prata, Selênio, Vanádio, Zinco), sódio, Sulfeto e Sulfato, Série nitrogenada (Nitrato, Nitrito e N-Kjeldare), Fe II e Fe III, Enxofre, potássio, cloretos, Cálcio e Alcalinidade total, Alcalinidade de carbonatos (para amostras com pH>8,3), Alcalinidade de hidróxidos (para amostras com pH>9);

Para a atividade da coleta de amostras, sugere-se utilizar o método de *Low-Flow,* uma vez que esse método causa menos turbulência na água do instrumento durante a coleta, mantendo as condições da água mais próximas ao estado natural. Para a utilização desse método, deve-se atentar para a construção do instrumento para que o mesmo tenha diâmetro suficiente para a passagem da bomba do equipamento de coleta, evitando assim entupimento do mesmo e/ou perda da bomba por travamento.

10.3 MONITORAMENTO QUANTITATIVO

O monitoramento quantitativo permite avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos da área por meio da medição do nível d'água subterrâneo e a vazão nos cursos d'água mais relevantes.

A medição do nível d'água subterrâneo é realizada por meio de um medidor de nível d'água (Figura 10.4), em instrumentos que permitam o monitoramento de um aquífero específico (piezômetro) ou do nível d'água subterrâneo como um todo (INA – indicador de nível d'água). Furos de sonda, quando preservados, podem ser adaptados com revestimento de tubo filtro e completação com brita 0 ou algum tipo de pré-filtro, para utilização como instrumento de monitoramento de nível d'água subterrâneo.

Figura 10.4: Medidor de nível d'água.

Para a medição de vazão nos cursos d'água, sugere-se a utilização de micromolinete em locais onde o curso d'água apresente seções adequadas (seções retilíneas afastadas de curvas no curso d'água e sem a existência de remansos) ou então pela instalação de vertedouros para medição pelo método volumétrico, onde a seção do curso assim permitir (seções do curso d'água com largura menor e em trecho mais escavado, facilitando a instalação da placa vertedoura). Já existem pontos de monitoramento de vazão no Córrego Micaela, realizado pelo método volumétrico, e tais pontos devem ser mantidos.

Como já apresentado, a localização dos instrumentos de monitoramento do nível d'água subterrâneo poderá ser realizado nos mesmos locais onde será realizada a coleta de amostras de água.

Os pontos de monitoramento de vazão encontram-se nos córregos da área. Como descrito anteriormente, já existe monitoramento de vazão no Córrego Micaela, e esse ponto será mantido. Além disso, sugere-se o monitoramento da vazão do Córrego Santo Antônio no mesmo ponto onde foi realizada a medição durante o inventário de pontos d'água. No Rio do Peixe, não foi identificado seção segura para medição com micromolinete ou local favorável a instalação de vertedouro.

A Tabela 10.4 apresenta a localização do ponto de medição de vazão no Córrego Santo Antônio.

Tabela 10.4: Localização do ponto de medição de vazão com micromolinete no Córrego Santo Antônio.

NOME	X	Y
*SCA-MV-02	725357	7766055

***-Nome dado ao ponto durante o inventário**

Sugere-se o monitoramento diário do nível d'água subterrâneo durante as primeiras campanhas. Após a consolidação de uma base de dados, é possível avaliar uma nova periodicidade necessária para o acompanhamento da evolução do nível d'água na área.

10.4 MONITORAMENTO ISOTÓPICO

Os isótopos naturalmente presentes nas águas subterrâneas fornecem várias informações como a origem, tempo de circulação, idade da água e mecanismo de recarga. Os principais isótopos estudados são os do oxigênio (O^{18}) e do hidrogênio (H^2 e H^3), por serem constituintes da molécula de água.

Sugere-se a coleta de amostras de água subterrânea para análise isotópica de O^{18} e Deutério (H^2) nos mesmos pontos onde poderá ser realizada a coleta para análise/caracterização hidroquímica, superficiais e subterrâneas. O método de coleta das amostras deve ser, preferencialmente, o *Low-Flow*, evitando assim contaminação por bolhas de ar.

A variação da concentração dos isótopos O^{18} e Deutério (H^2) nas águas subterrâneas permite definir a origem da água e o mecanismo de recarga do aquífero.

Não há necessidade de periodicidade para esse monitoramento, pois a realização de uma campanha já é suficiente para atingir os objetivos da análise dos elementos.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de inventário de pontos d'água de período seco na Fazenda Floresta e entorno resultou no cadastro de 5 nascentes, 1 drenagem seca, 1 furo de sondagem, 2 usuários, 2 pontos de medição de vazão e 19 pontos de controle. Destes, 2 nascentes, 1 ponto de medição de vazão e todos furos de sondagem mais pontos de controle estão dentro da área da Fazenda Floresta.

Em período seco, as vazões foram medidas no Córregos Micaela e Santo Antônio, com vazões de 4,2 e 18,9 L/s, respectivamente. As medições de vazão em janeiro/2018 resultaram, respectivamente, no volume de 0,4 e 12,4 L/s (vazão menor que em relação ao período seco), mesmo após o início do período chuvoso.

Na campanha de inventário de período chuvoso, as nascentes no interior da Fazenda Floresta permaneceram na mesma localidade e cota. Uma nascente do entorno (SCA-NA-C-03) foi deslocada cerca de 100 m a jusante do canal de drenagem, uma deslocou-se 10 m à montante (SCA-NA-C-05) e a última permaneceu no mesmo local (SCA-NA-C-04).

Mesmo em período chuvoso, não havia água no ponto SCA-DS-01, o que confirma sua natureza como "Drenagem Seca".

Com base na compilação de dados dos furos de sonda já perfurados e nas informações adquiridas durantes o inventário de nascentes, foi possível elaborar um mapa potenciométrico com indicação do fluxo subterrâneo na área de estudos, além de definir as principais unidades hidrogeológicas.

As unidades hidrogeológicas são compostas por 2 sistemas aquíferos, um poroso, mais superficial, composto pelo solo (colúvios e alúvios), e o outro fraturado, composto pelas rochas fraturadas (anfibolitos, gnaisses e veios de quartzo), sotopostas ao solo.

O fluxo de água subterrânea no interior da Fazenda Floresta é, preferencialmente, radial, convergindo para o Córrego Micaela. Já no entorno, o fluxo tem sentido para o Córrego Santo Antônio, a leste da área da fazenda, e para o Rio do Peixe na porção oeste.

Mesmo após o início do período chuvoso e deslocamento da posição de algumas nascentes, não seriam bem observadas variações no mapa potenciométrico. A direção do fluxo subterrâneo permaneceu a mesma em ambas estações do ano hidrológico.

A proposta de rede de monitoramento quali-quantitativa corresponde a instalação de 11 instrumentos para monitoramento do nível d'água subterrâneo e coleta hidroquímica. O mesmo instrumento pode ser utilizado para os dois tipos de monitoramento desde que seja construído a fim de atender ambas atividades, considerando-se um diâmetro de revestimento compatível com a bomba utilizada para a coleta.

O monitoramento de vazão no Córrego Micaela já existe e deve ser mantido. No Córrego Santo Antônio, o monitoramento poderá ser realizado no ponto onde a vazão foi medida com micromolinete durante o inventário de pontos d'água.

No dia 19 de dezembro de 2017 foi realizada uma visita técnica a fim de se confirmar a localização dos instrumentos ou, caso fosse necessário, deslocar algum ponto marcado em local inadequado. Sendo assim, a localização de alguns pontos propostos foi alterada, mantendo o propósito da rede de monitoramento. Após a atualização, a rede de monitoramento quali-quantitativa proposta conta com 08 piezômetros, enquanto os pontos de monitoramento de vazão foram mantidos.

O presente relatório é uma porção complementar do estudo do impacto que pode ser gerado pela transposição dos sedimentos assoreados no leito do Rio Doce, a montante da Usina Hidroelétrica Risoleta Neves. Assim, informações sobre o monitoramento da água serão necessários para maiores conclusões pertinentes à proposta em questão.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. (2010). *Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste*. Fonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx

Ab'Saber, A. N. (1972). Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro: Considerações finais, conclusão. *Geomorfologia*, 28:01-38.

CBHRP. (2013). *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga*. Fonte: http://www.cbhpiranga.org.br/a-bacia

CPRM. (1991). *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ponte Nova. Folha SF.23-X-B-II.* Ponte Nova.

FUNDAÇÃO RENOVA. (17 de maio de 2017). Fonte: Site da Fundação Renova: http://www.fundacaorenova.org/a-fundacao/

MDGEO. (2017). *Relatório dos estudos hidrogeológicos na região da Fazenda Floresta. "Compilação de dados". Rio Doce - MG.* Belo Horizonte.

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201800000004364792

1. Responsável Técnico

ANTONIO CARLOS BERTACHINI

Título profissional: **GEOLOGO;**

RNP: 2605579352

Registro: 06.0.0000070902

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: 22580

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: 25.135.507/0001-83
Logradouro: **AVENIDA GETÚLIO VARGAS** Nº: 000671
Complemento: 400 Bairro: **SAVASSI**
Cidade: **BELO HORIZONTE** UF: **MG** CEP: 30112021
Contrato: 4800001458 Celebrado em: 23/03/2017
Valor: 282.913,76 Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **AVENIDA GETÚLIO VARGAS** Nº: 000671
Complemento: 400 Bairro: **SAVASSI**
Cidade: **BELO HORIZONTE** UF: **MG** CEP: 30112021
Data de início: 27/03/2017 Previsão de término: 26/03/2018
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: 25.135.507/0001-83

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	8.00	h/d

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NA FAZENDA FLORESTA - SANTA CRUZ DO ESCALVADO, MG..
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. **Assinaturas**

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, _____ de _____ de _____

ANTONIO CARLOS BERTACHINI RNP: 2605579352

FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: 25.135.507/0001-83

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$282.913,76. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: 218,54 Registrada em: 02/03/2018 Valor Pago: 218,54 Nosso Número: 0000000004273818

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201800000004364792

1. Responsável Técnico

ANTONIO CARLOS BERTACHINI

Título profissional: **GEOLOGO;**

RNP: 2605579352

Registro: 06.0.0000070902

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: 22580

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: 25.135.507/0001-83
Logradouro: **AVENIDA GETÚLIO VARGAS** Nº: 000671
Complemento: 400 Bairro: **SAVASSI**
Cidade: **BELO HORIZONTE** UF: **MG** CEP: 30112021
Contrato: 4800001458 Celebrado em: 23/03/2017
Valor: 282.913,76 Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **AVENIDA GETÚLIO VARGAS** Nº: 000671
Complemento: 400 Bairro: **SAVASSI**
Cidade: **BELO HORIZONTE** UF: **MG** CEP: 30112021
Data de início: 27/03/2017 Previsão de término: 26/03/2018
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: 25.135.507/0001-83

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	8.00	h/d

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NA FAZENDA FLORESTA - SANTA CRUZ DO ESCALVADO, MG..
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. **Assinaturas**

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, _____ de _____ de _____

ANTONIO CARLOS BERTACHINI RNP: 2605579352

FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: 25.135.507/0001-83

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$282.913,76. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: 218,54 Registrada em: 02/03/2018 Valor Pago: 218,54 Nosso Número: 0000000004273818

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201800000004364792

1. Responsável Técnico

ANTONIO CARLOS BERTACHINI

Título profissional: **GEOLOGO;**

RNP: 2605579352

Registro: 06.0.0000070902

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: 22580

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: 25.135.507/0001-83
Logradouro: **AVENIDA GETÚLIO VARGAS** Nº: 000671
Complemento: 400 Bairro: **SAVASSI**
Cidade: **BELO HORIZONTE** UF: **MG** CEP: 30112021
Contrato: 4800001458 Celebrado em: 23/03/2017
Valor: 282.913,76 Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **AVENIDA GETÚLIO VARGAS** Nº: 000671
Complemento: 400 Bairro: **SAVASSI**
Cidade: **BELO HORIZONTE** UF: **MG** CEP: 30112021
Data de início: 27/03/2017 Previsão de término: 26/03/2018
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: 25.135.507/0001-83

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	8.00	h/d

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NA FAZENDA FLORESTA - SANTA CRUZ DO ESCALVADO, MG..
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. **Assinaturas**

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, _____ de _____ de _____

ANTONIO CARLOS BERTACHINI RNP: 2605579352

FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: 25.135.507/0001-83

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$282.913,76. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: 218,54 Registrada em: 02/03/2018 Valor Pago: 218,54 Nosso Número: 0000000004273818

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

RELATÓRIO B

FUNDAÇÃO renova

reparar, restaurar, reconstruir

RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE SEM PEIXE

NOVEMBRO DE 2019

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Título do Projeto:	RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE SEM PEIXE
Contrato:	4800015316
Vigência Contrato:	26/03/2018
Centro de Custo:	975
Local:	Sem Peixe/MG

DADOS DA CONTRATANTE

Contratante:	FUNDAÇÃO RENOVA
CNPJ:	25.135.507/0001-8
Endereço:	Avenida Getúlio Vargas, 671, Sala 400, 4º Andar, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.112-021
Gestor do Contrato:	Euzimar Augusto da Rocha Rosado
Contato:	31-3557-6084
Fiscal projeto:	Vinícius Ricardo de Almeida Brito
Contato fiscal:	31-9 8463-1978

RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

Razão Social:	MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.
CNPJ:	38.625.927/0001-90
Responsável Técnico:	Antônio Carlos Bertachini
Contato:	Rua Gararu, 389, Sagrada Família 31.035-470 – Belo Horizonte – MG Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602 Fax: (+55) 31-3481-8911 mdgeo@mdgeo.com.br
Anotação de Resp. Técnica – ART:	5001235 – Breno Pereira – Resp. Téc. – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D 5665363 – Breno Pereira – Resp. Téc – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Antônio Carlos Bertachini (ABT) – Geólogo, Msc. CREA SP 70902/D	Consultor em Hidrogeologia	Consultor em Hidrogeologia Responsabilidade técnica
Breno Alexandre Pereira (BAP) – Eng. Geo. CREA MG 81028/D	Hidrogeólogo sênior	Responsabilidade técnica Gerente do Projeto
Arthur Carvalho Pimentel (ACP) Geólogo	Analista de Hidrogeologia	Aquisição de dados em campo Confecção de relatório técnico Compilação de dados
Antônio Carlos Pedrosa Júnior (APJ) Eng. Geólogo	Analista de Hidrogeologia	Aquisição de dados em campo Confecção de relatório técnico Compilação de dados
Pedro Dias	Auxiliar de Campo	Aquisição de dados em campo

REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROVAÇÃO	FINALIDADE
V00	30/09/19	ACP/BAP		Elaboração de relatório

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6

2 OBJETIVO 8

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO 9

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO 10

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS 10
4.2 TRABALHO DE CAMPO 10
4.2.1 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea 10
4.2.1.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo 11
4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO 12

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA 13

5.1 CLIMA 13
5.2 VEGETAÇÃO 16
5.3 PEDOLOGIA 17
5.4 REDE HIDROGRÁFICA 17
5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 18

6 GEOLOGIA 19

6.1 GEOLOGIA REGIONAL 19
6.1.1 Complexo Juiz de Fora 19
6.1.1.1 Unidade A 19
6.1.1.2 Unidade B 20
6.1.1.3 Unidade C 20
6.1.1.4 Unidade D 20
6.1.1.5 Unidade E 21
6.1.2 Complexo Mantiqueira 21
6.1.2.1 Granulito córrego Pedra Dourada 21
6.1.2.2 Otognaisses granito-tonalíticos 21
6.1.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo 22
6.1.4 Grupo Dom Silvério 23
6.1.4.1 Unidade 1 23
6.1.4.2 Unidade 2 24
6.1.4.3 Unidade 3 24
6.1.5 Rochas Metaígneas 25
6.1.5.1 Ortoanfibolitos Santo Antônio do Grama 25
6.1.5.2 Granitóide Córrego do Cerca 25
6.1.5.3 Granitóide Morro Grande 26
6.1.5.4 Metaígneas de Rio Doce 26
6.1.6 Rochas Básicas não-deformadas: Gabros, Diabásios e Basalto 26
6.1.7 Depósitos Aluvionares 27
6.1.8 Coberturas detrito-lateríticas 27
6.2 GEOLOGIA LOCAL 27
6.2.1 Complexo Mantiqueira 28
6.2.1.1 Otognaisses granito-tonalíticos 28
6.2.2 Depósitos Aluvionares 28
6.2.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo 28
6.2.4 Grupo dom Silvério 29
6.2.4.1 Unidade 1 30
6.2.4.2 Unidade 2 30

7 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS 32

8 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL 36

8.1 CONCEITOS 36
8.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 37

8.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA 37
9 CONCLUSÕES 40
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Localização da área de estudo. *9*
Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA (2042031). *13*
Figura 5.2: Precipitação mediana, percentil 90° e percentil 10° mensal – Estação 2042031. ..... *15*
Figura 5.3: Pluviometria total anual. *16*
Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste. *18*
Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados. *35*
Figura 8.1: Mapa potenciométrico, com cota do nível estático dos poços, da região de Sem Peixe... *39*

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA (2042031). *14*
Tabela 7.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados. *32*
Tabela 7.2: Dados dos pontos cadastrados (Datum WGS84). *33*
Tabela 7.3: Parâmetros físico-químicos medidos in situ. *33*

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
ANEXO II – MODELO DO TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO DA FUNDAÇÃO RENOVA
ANEXO III – FICHAS DE CAMPO

1 INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, em decorrência do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão, nas dependências do Complexo Germano em Mariana - MG, de responsabilidade da SAMARCO MINERAÇÃO, ocorreu o deslizamento de cerca de 40 milhões de m³ de rejeitos do processo de beneficiamento do minério de ferro sobre o Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio do Carmo, o qual dá origem ao Rio Doce a partir do seu encontro com o Rio Piranga.

No dia 02 de março de 2016 foi assinado o Termo de Transação e de Ajuste de Conduta para estabelecer diretrizes a serem tomadas em função do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão. Na Cláusula 171, da Subseção IV.2 (Programa de melhoria dos sistemas de abastecimento de água, englobando as seguintes medidas de cunho reparatório e compensatório) ficou acordado que:

> **CLÁUSULA 171:** Nos municípios que tiveram localidades cuja operação do sistema de abastecimento público ficou inviabilizada temporariamente como decorrência do EVENTO, a FUNDAÇÃO deverá construir sistemas alternativos de captação e adução e melhoria das estações de tratamento de água para todas para as referidas localidades desses municípios que captam diretamente da calha do Rio Doce, utilizando a tecnologia apropriada, visando reduzir em 30% (trinta por cento) a dependência de abastecimento direto naquele rio, em relação aos níveis anteriores ao EVENTO, como medida reparatória.
>
> **PARÁGRAFO PRIMEIRO:** Este programa incluirá os levantamentos de campo, estudos de concepção e projetos básicos, que deverão ser desenvolvidos em 2 (dois) anos, a contar da data da assinatura deste Acordo. A partir destas atividades, as obras necessárias deverão ser concluídas num prazo de 3 (três) anos.

No município de Sem Peixe, no distrito Córrego Fundo e Camões os moradores reclamam da qualidade da água e alegam que os poços do local estão contaminados e que isto ocorreu após o rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão. Como estabelecido no TTAC a Fundação Renova[1] ficou incumbida de entrar em contato com

[1] A Fundação Renova foi a entidade criada a fim de gerenciar os recursos destinados a mitigar os impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Sua missão é implementar e gerir os

os moradores e programar um estudo de analise rio aquífero para obter as respostas e descobrir se existe ou não a interferência do rio no aquífero da região.

Para realização de tal estudo a Fundação Renova contratou a MDGEO (PEDIDO Nº 4800015316). Os trabalhos realizados na região de Sem Peixe procuraram entender a dinâmica de fluxo da água subterrânea na área próxima aos poços do local e como resultado pretende-se definir como é a relação de interferência Rio-Aquífero na área dos poços.

Os estudos aqui apresentados incluem inicialmente o cadastramento dos poços dos moradores da região (localização, profundidade, nível d'água (N.A) e nível dinâmico (N.D)). Compilação de informações referentes a geologia, hidrogeologia, geomorfologia, além de outras informações fornecidas pela Fundação Renova são apresentados neste relatório.

programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem, previstos no Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado pelo SAMARCO com o Governo Federal, os estados de Minas Gerais e Espirito Santo e diversos outros órgão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017).

2 OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo realizar a caracterização da dinâmica do fluxo da água subterrânea na região próxima aos poços do distrito Córrego Fundo e Camões, entender como se dá a dinâmica de recarga e descarga entre o aquífero e o Rio Doce é a principal preocupação do presente trabalho.

No final do estudo a informação sobre a interferência ou não do rio aquífero será passado para os moradores.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO

Os distritos Córrego Fundo e Camões localizam-se no município de Sem Peixe, que se encontra na porção leste do estado de Minas Gerais, a aproximadamente 183 km de Belo Horizonte.

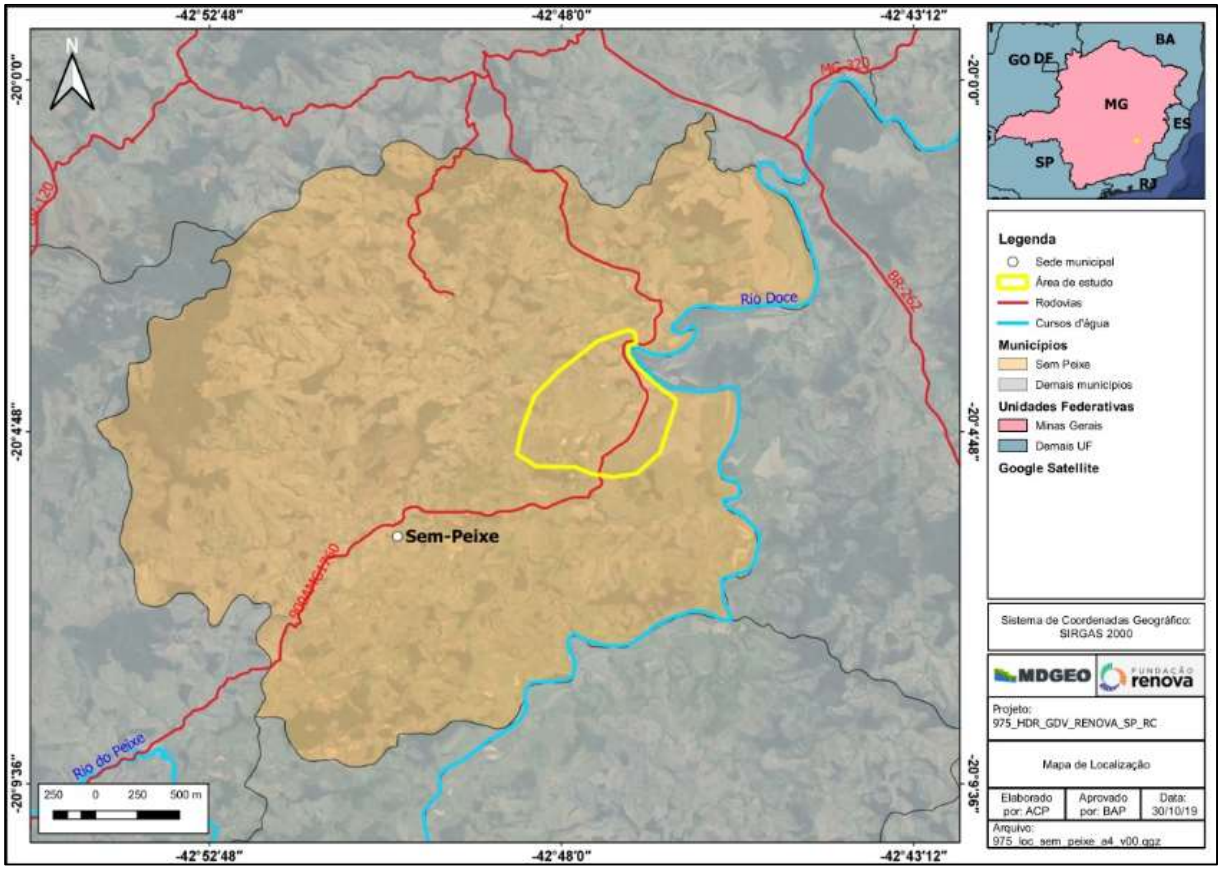


Figura 3.1: Localização da área de estudo.

O acesso mais rápido partindo de Belo Horizonte é realizado pela BR-381, passando por Roças Novas até João Monlevade, pegando a BR-262 passando por São Domingos do Prata até Vargem Linda, após Vargem Linga o caminho é feito pela BR-120 até o município de Sem Peixe.

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO

A seguir são descritas as atividades realizadas no projeto.

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS

Inicialmente foi realizada a compilação de dados da área de estudo. Nesta etapa reuniram-se todas as informações existentes relacionadas à cartografia, geologia, hidrografia e hidrogeologia da região. Bem como informações existentes sobre o poço a ser outorgado.

4.2 TRABALHO DE CAMPO

De posse das informações da etapa anterior, a equipe da MDGEO composta pelos profissionais Arthur Carvalho Pimentel (Analista de Hidrogeologia) e Antônio Carlos Pedrosa Junior (Analista de Hidrogeologia) foram para Sem Peixe realizar a coleta de informações no campo. No dia 30/09 ocorreu a substituição dos profissionais Antônio Carlos Pedrosa Junior pelo Pedro Dias (Auxiliar de Campo).

4.2.1 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea

Nos dias 26, 27 e 30 de setembro a equipe realizou cadastramento dos pontos de captação de água nas propriedades localizadas dentro da área de estudo, no total foram cadastrados 29 pontos. Desses 25 são poços subterrâneos e em 4 a captação é feita na nascente. Dos 25 poços 18 são cisternas e 7 são poços.

O cadastro desses pontos se deu a partir de idas as residências, as quais tinham informação sobre a existência de poços ou cisternas. Em todas as propriedades visitadas primeiramente chamava-se a pessoa que estava na propriedade (proprietário, inquilino, caseiro, funcionário, etc), apresentava-se como funcionários da MDGEO que estavam fazendo um estudo na região a mando da Fundação Renova, o qual contemplava o cadastro e a medição do N.A. do poço da propriedade, então pedia-se a autorização para a realização de tais trabalhos. A atividade só era iniciada após o proprietário assinar o Termo de Autorização de Intervenção, autorizando a realização (como modelo apresentado no Anexo II).

Durante a apresentação, eram feitas as seguintes perguntas a pessoa que nos atendeu:

- Nome, localização e, posteriormente à autorização,
- Número de usuários do poço,
- Tipo e quantidade de criação (galinhas, bovinos, suínos, etc), se fosse o caso,
- Quantidade de poços existentes na propriedade,
- Aspectos construtivos como profundidade do poço, diâmetro do poço, material atravessado durante a perfuração do poço, tipo de tubo,
- Aspectos sobre a qualidade da água, como cor, odor, etc.

Após a liberação para realização da atividade e questionário respondido pelo proprietário, pedia-se para ir até o(s) poço(s) ou pontos d'água, nos quais eram feitas as medidas diretas de:

- Coordenadas com GPS de campo,
- Profundidade do nível d'água,
- Profundidade do poço.

Por fim, pedia-se para ligar a bomba, com o intuito de medir a vazão de bombeamento do poço (inferida) e a obtenção de amostra d'água para a realização da medição dos parâmetros *in situ*:

- pH,
- Eh (mV),
- Condutividade elétrica (µS/cm) e,
- Temperaturas da água e do ar (°C).

Também foram devidamente fotografados, complementando assim as informações pedidas nas fichas de cadastramento da MDGEO e consequentemente a base de dados. As fichas de cadastramento são apresentadas no Anexo III.

4.2.1.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo

A ida a campo foi feita com uma camionete L200, placa QNC-6524 da marca Mitsubishi mobilizada pela Fundação Renova.

Todos os pontos foram locados com GPS da marca GARMIM MAP modelo 62s, utilizando o datum WGS84 como convenção.

As medições dos parâmetros foram realizadas através de dois multiparâmetros: um da marca Akso (combo pH, CE e temperatura) e outro da marca Hach (combo EH e temperatura).

O nível d'água era obtido por meio de um medidor de nível portátil de 100 m da marca Hidrosuprimentos. A coleta para medir os parâmetros *in situ* era feita com bayler ou pela bomba do poço e a medida dos parâmetros era feita na canequinha de alumínio, para evitar interferências externas.

4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

A última etapa do estudo consistiu na elaboração do presente relatório através da consolidação e interpretação dos dados coletados em campo e discussões sobre os resultados obtidos.

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as características dos componentes fisiográficos existentes na região de Sem Peixe, tais como vegetação, clima, rede hidrográfica/drenagens e aspectos geomorfológicos.

5.1 CLIMA

Os dados climatológicos aqui descritos foram extraídos na estação mais próxima de Sem Peixe, estação de monitoramento pluviométrico da Agencia Nacional de Águas (ANA) no município de São José do Goiabal (Estação Fazenda Cachoeira D'Antas – 2042031). A Figura 5.1 mostra a localização da estação em relação a área de estudo.

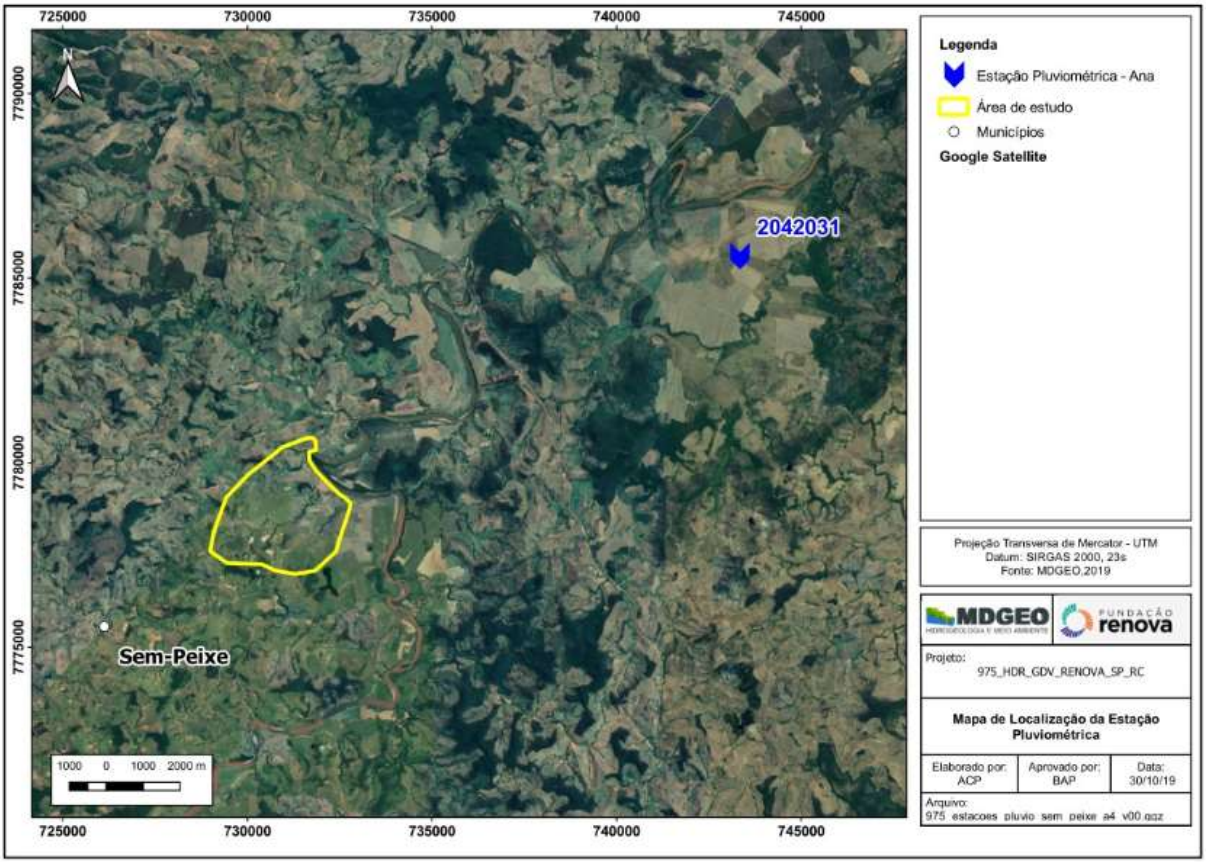


Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA (2042031).

Esta estação da ANA (Fazenda Cachoeira D'Antas – 2042031) tem dados de monitoramento pluviométrico desde de dezembro de 1981 até o julho de 2019. A Tabela 5.1 apresenta os dados da série histórica da precipitação mensal registrada neste período.

Nesta tabela podem ser consultados todos os dados existentes da estação de São José do Goiabal (Fazenda Cachoeira D'Antas – 2042031), além das precipitações medianas, percentil 90° e percentil 10° de toda a série histórica, as quais podem ser visualizadas graficamente na Figura 5.2, sendo que os dados foram organizados conforme o ano hidrológico local, considerando o período chuvoso de outubro a março e o período seco de abril a setembro.

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA (2042031).

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1981/1982			531,8	249,1	3,3	169,6	5,3	9,5	1,5	7,2	11,2	24,3
1982/1983	89,9	157,8	283,7	340,7	203,3	149,6	102,8	60,0	27,4	0,4	0,0	87,1
1983/1984	230,3	195,2	278,4	139,5	33,7	145,9	59,7	0,0	0,0	4,1	76,5	115,8
1984/1985	122,4	199,8	474,5	742,2	74,1	231,0	5,5	45,5	0,0	0,0	34,0	16,0
1985/1986	102,5	182,6	264,7	230,6	153,6	16,4	23,4	19,6	12,7	26,4	43,5	25,7
1986/1987	21,8	88,6	174,1	153,3	25,8	236,4	105,5	95,0	19,4	8,4	0,0	84,1
1987/1988	39,9	170,6	324,5	241,5	184,0	151,3	57,7	74,4	14,4	0,0	0,0	11,1
1988/1989	84,5	101,2	178,3	110,4	184,6	183,7	67,4	32,5	53,7	39,7	9,4	39,7
1989/1990	103,0	146,9	301,1	73,7	18,6	31,0	7,1	40,1	5,4	10,1	63,6	36,0
1990/1991	59,0	68,4	134,4	405,0	265,2	389,6	56,5	70,6	0,0	0,0	0,0	67,4
1991/1992	74,6	210,0	165,1	428,9	133,0	62,8	27,9	53,9	29,5	8,4	22,4	73,2
1992/1993	140,9	299,5	276,0	168,6	40,2	23,9	89,4	7,5	9,8	4,1	7,6	18,4
1993/1994	48,8	42,2	257,1	422,0	43,1	245,2	120,4	35,8	12,6	13,0	0,0	0,0
1994/1995	97,0	126,7	235,2	66,4	138,0	90,8	34,7	9,3	3,2	16,5	1,9	51,5
1995/1996	136,4	151,6	372,7	58,6	37,6	57,2	54,6	35,0	1,5	0,0	5,4	45,9
1996/1997	89,4	315,0	302,9	384,2	60,8	158,0	98,8	17,1	11,0	0,0	6,2	97,4
1997/1998	68,8	188,1	217,0	193,5	250,9	84,8	35,4	68,2	1,4	0,0	43,2	4,2
1998/1999	121,0	195,1	221,4	133,1	70,0	243,9	43,2	24,8	0,1	0,9	1,0	18,0
1999/2000	37,2	291,7	197,2	156,9	165,3	319,8	51,7	8,1	0,0	0,1	36,0	48,9
2000/2001	77,2	240,2	282,1	182,8	25,0	55,1	13,1	18,8	5,5	2,8	7,9	35,8
2001/2002	82,7	262,8	351,5	332,0	202,9	32,4	28,3	13,6	0,0	3,2	1,5	107,2
2002/2003	42,0	346,3	239,2	405,6	30,2	130,4	60,5	5,3	0,0	0,0	15,0	35,0
2003/2004	72,0	141,7	332,5	415,9	299,1	317,2	208,5	64,6	31,2	22,9	0,0	0,0
2004/2005	114,1	143,9	570,7	250,9	199,3	269,0	8,2	60,6	38,6	11,5	3,6	113,8
2005/2006	15,8	181,1	214,0	32,6	87,5	229,2	55,8	8,9	1,7	1,1	4,3	48,6
2006/2007	187,8	345,3	376,3	234,9	181,8	87,0	43,3	8,7	4,8	5,2	0,1	7,0
2007/2008	90,2	154,9	244,3	195,4	159,5	150,2	114,1	2,5	2,3	0,0	22,9	88,6
2008/2009	141,6	197,4	483,8	358,5	241,0	162,4	76,9	28,3	43,4	1,4	5,1	115,0
2009/2010	136,1	53,0	226,3	15,0	11,5	171,0	156,0	56,6	0,1	3,4	1,0	21,1
2010/2011	123,2	213,6	408,0	205,9	40,8	164,1	82,7	6,6	17,3	5,1	0,0	14,7
2011/2012	116,9	288,1	373,7	258,8	12,6	48,7	10,8	97,7	3,2	11,1	17,2	10,9
2012/2013	30,3	328,0	41,8	257,0	82,8	154,6	136,5	46,7	22,0	1,1	3,8	42,9
2013/2014	91,6	127,0	353,7	15,5	35,8	111,5	57,1	9,7	2,5	25,9	5,2	0,0

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
2014/2015	59,8	199,4	124,8	13,4	126,5	99,5	79,5	82,4	5,0	3,2	0,0	27,1
2015/2016	34,7	198,7	238,7	392,4	19,9	86,4	39,0	7,0	50,6	0,5	0,0	105,8
2016/2017	67,4	242,6	391,1	75,1	80,7	120,7	68,4	41,3	3,3	0,3	1,5	0,0
2017/2018	44,1	156,1	202,5	115,2	232,8	101,8	50,6	27,2	5,9	1,3	74,4	37,4
2018/2019	94,0	156,2	267,2	10,1	248,3	110,4	60,1	13,0	18,6	0,0		
Mediana	89,40	188,10	271,60	200,65	85,15	147,75	56,80	27,75	5,20	3,00	5,10	36,00
Percentil 90°	138,20	305,70	427,95	408,69	243,19	252,34	115,99	71,74	33,42	18,42	43,32	106,36
Percentil 10°	36,20	96,16	171,40	27,47	19,51	43,81	10,02	6,88	0,00	0,00	0,00	2,52

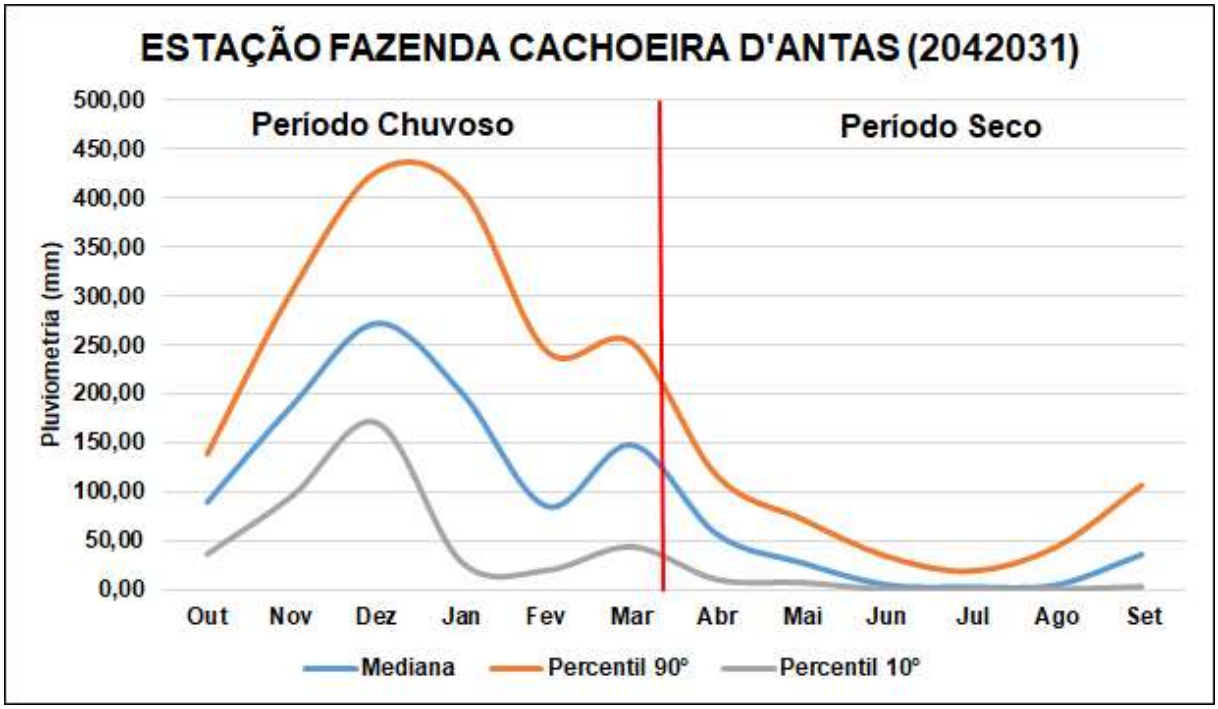


Figura 5.2: Precipitação mediana, percentil 90° e percentil 10° mensal – Estação 2042031.

A precipitação anual é apresentada pela Figura 5.3, também diferenciando a contribuição do período chuvoso (outubro a março) e do período seco (abril a setembro), e comparando o total anual com a mediana plurianual da série.

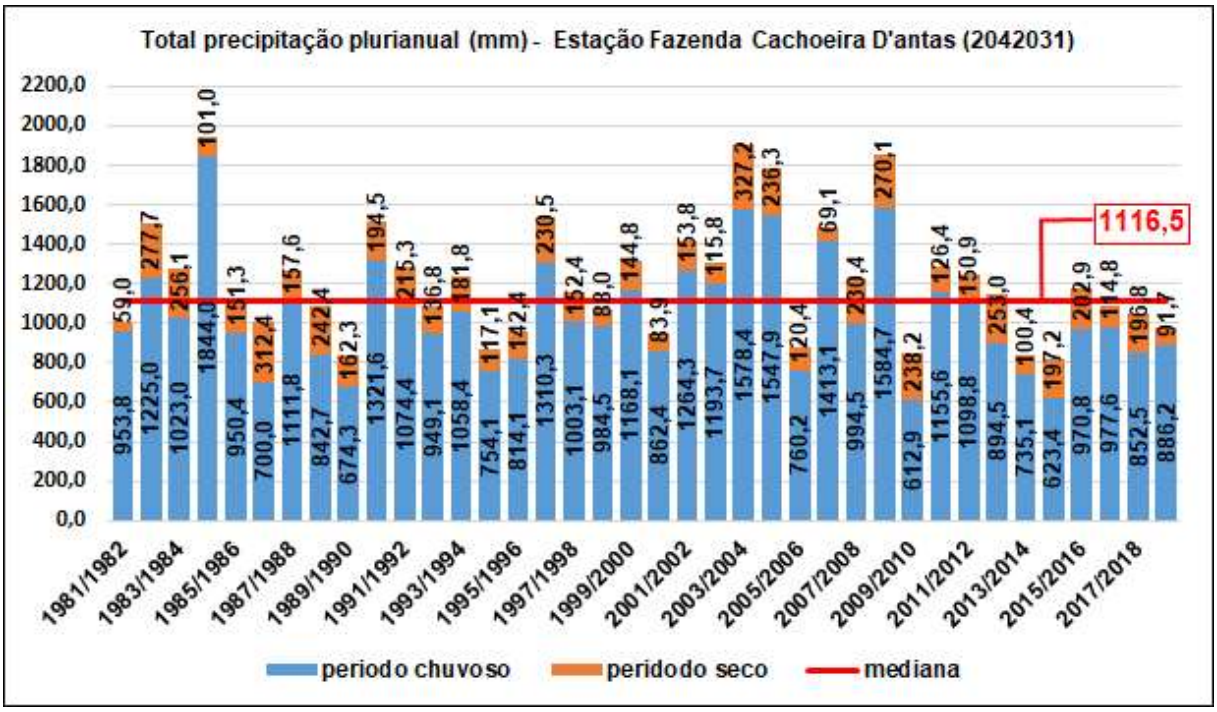


Figura 5.3: Pluviometria total anual.

A mediana plurianual da precipitação da série apresentada, considerando o ano hidrológico, é de 1116,5 mm/ano. A mediana para o período chuvoso é de 989,5 mm/ano que corresponde a aproximadamente 86,4% de toda precipitação anual, e a mediana do período seco é de 155,7 mm/ano que corresponde a 13,6% da precipitação anual.

Analisando os anos hidrológicos completos, nota-se que o ano hidrológico de 1984/1985, apresentou o máximo de precipitação acumulada, totalizando 1945,0 mm, e o ano mais seco, com base nos registros, foi o de 2014/2015, com total acumulado de 820,6 mm.

5.2 VEGETAÇÃO

De acordo com as informações do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010), a da área de estudo se encontra inteiramente sobre o bioma de mata atlântica.

Segundo (IBIO & CBH - PIRANGA/MG, 2016), a área que abrange o município de Sem Peixe é formada pela Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Semidecidual Montana que constitui um ecossistema pertencente ao bioma da Mata Atlântica. Entretanto devido a grande intervenção antropica pela qual a região passou 69% da área original foi degradada pela ação antrópica.

5.3 PEDOLOGIA

No município de Sem Peixe a maior parte dos solos são do tipo Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, Latossolo Amarelo distrófico e Cambissolo flúvico Tb eutrófico. (UNIVERSIADE FEDERAL DE VIÇOSA, *et al*., 2010)

Sendo que na área de estudo só aperece duas litologias: Latossolo Amarelo distrófico e Cambissolo flúvico Tb eutrófico.

Sendo caracterizado de acordo com os critérios adotados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA e baseados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBICS, 2018);

- Latossolo Amarelo distrófico, são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A. Amarelado na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, com saturação por bases menor que 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).
- Cambissolo flúvico Tb eutrófico, são solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte A chernozêmico. Solos com caráter flúvico dentro de 150 cm a partir da sua superfície, com argila de atividade baixa e saturação por bases maior ou igual a 50% (ambas na maior parte dos primeiros 100 cm).

5.4 REDE HIDROGRÁFICA

A área de estudo está localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (RHAS), definida pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2010) como de alto contingente populacional e importância econômica ligada à sua indústria. O município de Sem Peixe situa-se na porção sudoeste da RHAS, sendo que a principal bacia hidrográfica que compõem a região é a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD).

A área de estudo está inserida dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, mas também abrange uma pequena porção da Sub-bacia hidrográfica do Piranga, a Bacia

Incremental Piranga (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010), ou seja, faz parte de uma porção da Bacia do Piranga, mas as drenagens da região desaguam no Rio Doce. Os principais rios da Bacia Incremental que drenam para o Rio Doce são: Rio do Peixe, Rio Sem Peixe, Ribeirões Mombaça, do Turvo e do Belém pela margem esquerda, pela margem direita destaca-se o Rio Sacramento.

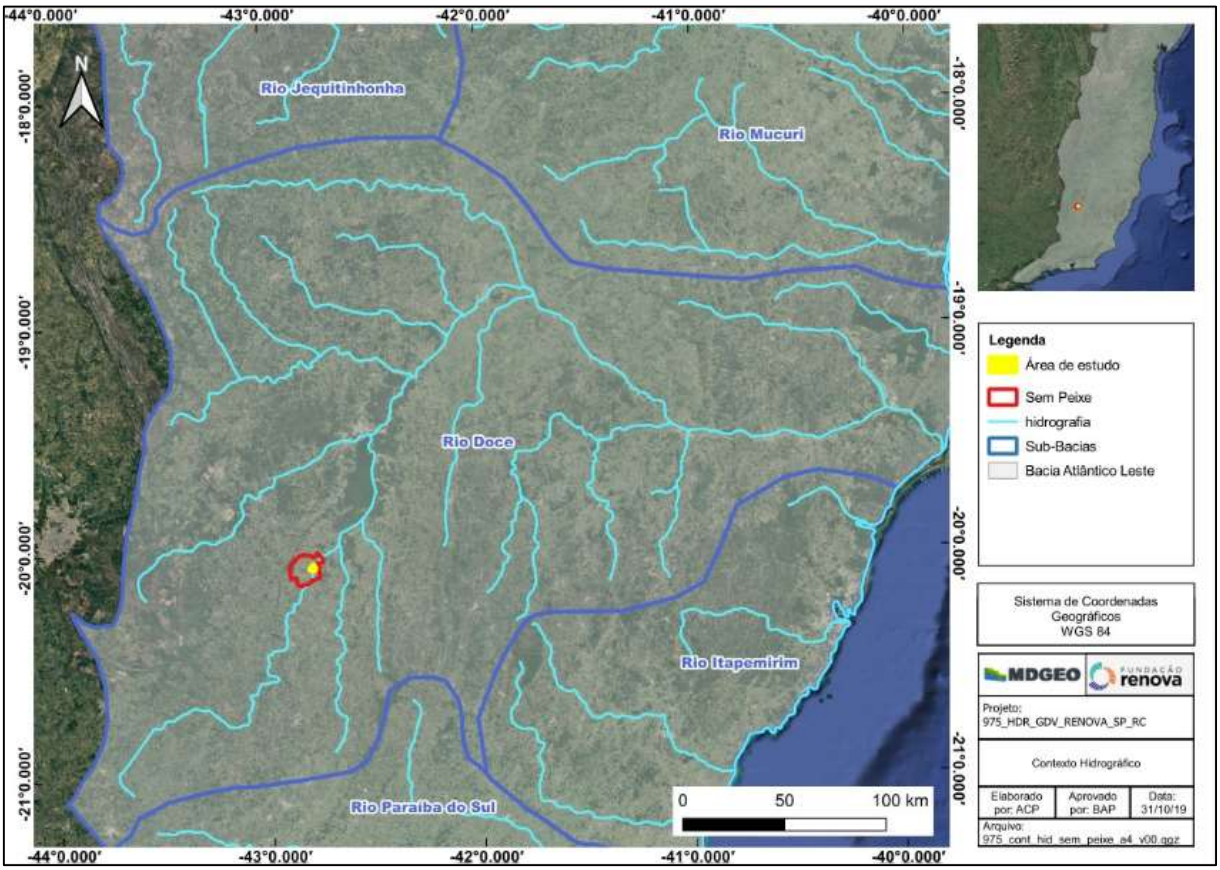


Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste.

5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Segundo o (IBGE, 2006) no município de Sem Peixe encontra duas Unidades Geomorfológica: Depressão Rio Doce e Planalto Centro Sul Mineiro e Campos das Vertentes. Ambas as unidades se localizam nos Cinturões Móveis Neoproterozóicos.

6 GEOLOGIA

6.1 GEOLOGIA REGIONAL

O capítulo de Geologia Regional foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Ponte Nova (SF.23-X-B-II) confeccionada pela (CPRM, 1991). A área de estudo está localizada no domínio as Província Geotectônica Mantiqueira, a leste da Província Geotectônica São Francisco.

O contato entre as duas províncias é tectônico em quase toda sua extensão. A região mostra uma evolução tectônica, com registros de ciclos tectonotermais desde o Arqueano até o Proterozóico Superior – Eopaleozóico; feições mais recentes estão marcadas por falhas de gravidade e intrusões ácidas a básicas não-deformadas.

Os ciclos de aplainamento Gonduana, Pós-Gonduana, Sul-Americano, Velhas e Paraguaçu aturam em toda a região. A geologia começando pelo mais antigo é descrito nos subitens a seguir.

6.1.1 Complexo Juiz de Fora

Os litotipos integrantes do complexo aparecem distribuídos ao longo da extremidade sudoeste da folha, como uma faixa bem marcada, orientada segundo NNE-SSW e determinada pela implantação de zonas de cisalhamento dúctil de alto ângulo imposta sobre eles, de idade datada do Arqueano. Foi separado em cindo unidades dentro da folha geológica da área: Unidade A, Unidade B, Unidade C, Unidade D e Unidade E. Todas as Unidades apresentam deformações D1, D2 e D3 e de fácies metamorfismo granulito.

6.1.1.1 Unidade A

Classificado como enderbitos, charnoquitos, ortoanfibolitos e biotita-anfibolognaisses, intimamente associados ao grafita-silimanta-granada gnaisse da Unidade B e aos biotita-anfibolognaisses bandados da Uniadade D.

Caracterizou por um complexo de rochas intimamente associadas, variando de metagrabos a termos chanoquíticos e enderbíticos, com um arranjo estrutural em que predominam tipos bandados, onde ocorre uma composição básica a intermediária, como ortoanfibolitos e enderbitos. Em geral possui uma cor verde a acaramelada, com

granulação fina a média, exceto nos charnoquitos esbranquiçados que são de granulação grossa até pegmatóide que se comportam como um neossoma.

O conjunto encontra-se cisalhado em diversos graus, variando em estrutura de proto a ultramilonitos, bem foliados e bandados.

6.1.1.2 Unidade B

Catalogado como (silimanita-grafita)-granada-biotita-gnaisses migmatíticos. Aparecem orientados segundo NNE-SSW, obedecendo ao arranjo linear imposto pela implantação de uma sucessão de zonas de cisalhamento de alto ângulo sobre as litologias do complexo.

Quando aparece próximo ao contato com os ortgnaisses do complexo Mantiqueira, a litologia aparece densamente afetada pelas zonas de cisalhamento, com caráter essencialmente milonítico, diferenciando um pouco sua litologia dos tipos que ocorrem em outras áreas.

6.1.1.3 Unidade C

Identificado como biotita-gnaisses miloníticos a blastomiloníticos. Aparecendo como duas faixas paralelas, a primeira e mais grossa estende-se de sudoeste para nordeste próximos aos flancos orientais das serras Velhas e dos Vieiras, a segunda e menor faixa aprece no extremo sul em relação a primeira.

Rochas leuco a mesocráticas, em geral esbranquiçadas, muitas vezes apresentando altas concentrações de quartzo. Anfibolitos aparecem esparsamente na forma de bandas, lentes ou corpos boudinados, cinza-escuros, finos e bem foliados.

Uma migmatização incipiente, pré a sintectônica em relação a transposição de baixo ângulo, responsável pelo bandamento/foliação gnáissica regional é observada localmente, sendo uma estrutura estromática.

6.1.1.4 Unidade D

Denominado de biotita-anfibolognaisses bandados a laminados, ocorre na faixa central do complexo Juiz de Fora. Predomino como biotita-hornblenda-gnaisse laminado a bandado, de granulação fina a média, com laminação fina de caráter milonítico, impressa em um bandamento mais espesso (centimétrico a métrico) de bandas máficas e félsicas.

6.1.1.5 Unidade E

Classificado como ortognaisses tonalito-trondhjemíticos, aprece em contato a leste com a Unidade Be a oeste com os ortognaisses do complexo Mantiqueira. Mantem em ambos os contatos uma relação de concordância estrutural, imposta pelo cisalhamento de baixo ângulo, de caráter regional.

São gnaisses leucocráticos, em geral conza-claros, estruturalmente muito homogêneos, miloníticos, de granulação fina a média, frequentemente apresenta magnetita associada aos máficos, biotita e em menor proporção anfibólio.

6.1.2 Complexo Mantiqueira

Na folha geológica de Ponte Nova, denomina-se complexo Mantiqueira as rochas de natureza comprovadamente ortoderivada, constituídas de ortognaisses granulito-tonalíticos com intercalação de anfibolito, além de pequenos corpos de rochas granulíticas, descobertas e definidas neste projeto. Separada em duas unidades, o Otognaisses granito-tonalíticos e o Granulito córrego Pedra Dourada, datada do proterozóico inferior.

6.1.2.1 Granulito córrego Pedra Dourada

Este corpo possui grande variações de rochas, variando de branco ou verde-escura. As rochas esverdeadas possuem granulação variando de fina a grossa, dependendo da intensidade do cisalhamento são laminadas ou até bandadas. A litologia apresenta deformações D1, D2 e D3 e fácies de metamorfismo granulito.

Constituem de feldspato esverdeado a cor de mel. Com blastos de piroxênio verde-escuros a cor bronze (bronzita). As porções brancas apresentam um bandamento, mais feldspáticas, contendo feldspato branco e faixas de cor róseo-escura, com granada em blastos alongados segundo a foliação milonítica. É comum a presença de quartzo azulado discoide.

No interior dessas faixas mais feldspática, ocorrem lentes de rochas gabróides a piroxênio dioríticas verde-escuras.

6.1.2.2 Otognaisses granito-tonalíticos

Corresponde a unidade de maior distribuição na folha. Aparecendo em toda a porção central da folha, limitando-se a sudeste com os metamorfitos de alto grau do

complexo Juiz de Fora. Esta litologia apresenta deformações D1, D2 e D3 e fácies de metamorfismo anfibolito.

Em sudoeste e na área central encontra-se limitada pelos paragnaisses da suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo, já porção setentrional, está ilhada e envolvida pela mesma suíte metamórfica. Na parte ocidental limita-se com a sequência metavulcanossedimentar do grupo Dom Silvério em linha quase N-S.

Na litologia estão incluídos (anfibólio)-biotita-granito gnáissicos, anfibolobiotita tonalito-gnáissicos miloníticos, leucocráticos, de granulação fina a média e estrutura laminada dominante, com alternância de níveis máficos e félsicos de espessura centimétrica. Ocorre também um bandamento mais espesso e ressaltado pelo maior enriquecimento de minerais máficos (biotita, anfibólio) ou félsicos (quartzo e feldspato). Essas rochas sofreram um forte cisalhamento, resultando em uma laminação/bandamentos.

6.1.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo

Esta denominação é utilizada para agrupar um conjunto de rochas dominantemente sedimentar, representado por (anfibólio)-biotita-gnaisse, anfibolitos, rochas calcissilicáticas, muscovita-quartzitos e muscovita-quartzoxistos, contendo injeções graníticas sintectônicas. Característica da fácies metamórfica anfibolito, datada do proterozóico inferior.

Separado em dois domínios, o meridional que aparece no extremo-sul da folha e um domínio bastante irregular na sua forma, deixando ilhadas porções do complexo Mantiqueira, principalmente ao longo do Rio Doce.

As rochas encontram-se em contato tectônico com os metavulcanossedimentares do grupo Dom Silvério e com os ortognaisses granito-tonalíticos do complexo Mantiqueira. As relações com os ortognaisses foram totalmente obliteradas pelas sucessivas fases deformacionais que atuaram na região.

Representado por um conjunto de gnaisses bandados a laminados, com frequentes intercalações de anfibólio e rocha calcissilicáticas. A foliação gnáissica é resultante de transposição por cisalhamento dúctil e é concordante com o bandamento. Esses gnaisses mostram-se geralmente milonitizados, próximos a zonas de contato tectônico com as unidades litológicas limítrofes, onde exibem laminação

milimétrica e até adquirem aspecto xistoso, com granulação bem mais fina, estiramento dos félsicos, com frequente discoides de quartzo, blastos de feldspato e/ou agregados quartzofeldspáticos, além do eventual aparecimento de granada e muscovita/sericita.

Injeções graníticas sintectônicas são frequentes nos gnaisses bandados dessa suíte, indo desde veio centimétricos concordantes a subconcordantes com a foliação/bandamento. Veios pegmatíticos de natureza pós-tectônica são observados, recortando os gnaisses bandados da unidade, compostos de feldspato, biotita, muscovita e turmalina.

6.1.4 Grupo Dom Silvério

Na folha Ponte Nova o grupo é definido como uma sequência de metamorfitos de médio a baixo grau, possuindo uma variedade gama de litotipos datados do proterozóico inferior, sendo dividida em três unidades: Unidade 1, Unidade 2 e Unidade 3.

É distribuído na porção oeste da folha de estudo, seguindo uma faixa estruturada de direção aproximadamente N-S, com inflexão NNE na porção setentrional da folha. Com fases de deformação D2 e D3 e fácies metamórfica xisto-verde a anfibolito.

O contato a oeste com os ortognaisses do complexo Mantiqueira ocorre através de uma zona de cisalhamento de alto ângulo, enquanto que a leste, fazem contato através do cisalhamento de médio a alto ângulo. Já o contato com os metamorfitos paraderivados da Suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo, são balizados por zonas de cisalhamento de baixo ângulo.

6.1.4.1 Unidade 1

Composto por biotita-anfibolitos, granada-biotita-muscovita-xistos, tremolittos e rochas calcissilicáticas.

Os anfibolitos são escuros, bem foliados, de granulação fina, muito raramente, são mais grossos. Compostos por anfibólio, biotita, feldspato e quartzo.

A rocha granada-biotita-xistos de granulação fina. Coloração cinza-clara é composto por mucovita, biotita, granada, quartzo e feldspato. As rochas calcissilicáticas estão restritas a pequenos corpos ovalados, centimétricos,

distribuídos em bandas anfibolíticas que não ultrapassam um metro de espessura, de coloração esverdeada e granulação fina, sendo composto por anfibólio, carbonato, mica, pouco quartzo e algum feldspato.

6.1.4.2 Unidade 2

Denominado pelas rochas, muscovita-biotita-xistos com ou sem granada, cianita, grafita, silimanita, muscovita-quartzitos e muscovita-quartzixistos, magnetita-quartzitos, rochas calcissilicáticas, gonditos, mármores, biotita-anfibolitos, formação ferrífera e biotit-gnaisses laminados.

Os xistos possuem granulação fina a média, coloração esbranquiçada dominante e cinza-prateada para o tipo grafitoso. A xistosidade é bem marcada com frequentes segregação de quartzo.

A associação de formações ferríferas com xistos granatíferos e xistos magnetíticos das amostras estudadas podem caracterizar uma sequência com afinidade vulcanogênica.

As rochas calcissilicáticas apresentam diferenças de acordo com a região em que aflora. No limite leste da unidade apresenta uma cor verde-clara e intercaladas com biotita-anfibólio, acompanhado sempre de quartzito. Já na região próxima ao rio Piranga apresenta uma coloração cinza-escura a preta, associadas, com xistos grafitosos e intercaladas com a granada-muscovita-biotita-xisto.

Os biotita-anfibólios constituem corpos lenticulares, de granulação fina, bem foliados e coloração cinza-escuro a cinza-esverdeado. Composto por anfibólio, biotita, feldspato, pouco quartzo e localmente carbonato.

6.1.4.3 Unidade 3

Identificado como muscovita-quartzito e muscovita quartzoxistos. A morfologia dessas rochas são morros pontiagudos, fortemente alinhados. Com vales profundos e encaixados. Geralmente as rochas se apresentam milonitizadas, de colocação esbranquiçada, granulação média e composta por quartzo, muscovita e feldspato caulinizado. Como minerais acessórios aprece a magnética e trumalinas. Nas zonas mais cisalhadas, são frequentes finos veios de quartzo cisalhado disposto concordantemente.

6.1.5 Rochas Metaígneas

Rochas de natureza ígnea, variando de termos básicos-ultrabásicos até ácidos, são relativamente frequentes na área da folha, predominando, em extensão, corpos ortoanfibolitos, originalmente gabros, se posicionando sintectonicamente em relação a foliação de transposição regional, de baixo ângulo, que afetou os gnaisses encaixantes.

Diferenciando em Ortoanfibolitos Santo Antônio do Grama, Granitóide Córrego do Cerca, Granitóide Morro Grande e Metaígneas de Rio Doce.

6.1.5.1 Ortoanfibolitos Santo Antônio do Grama

Aparece de forma alongada NNE-SSW a leste de Santo Antônio do Grama, dois corpos menores aparecem a sul de São Pedro dos Ferros. Estão em contato complexo Mantiqueira e com o Granitóide Córrego do Cerca, sendo em ambos estruturalmente concordantes, o contato com o complexo Mantiqueira em geral são aproximados, mas em dois corpos ao norte aparecem balizados por zonas de cisalhamento.

São classificados como ortoderivados, de cor cinza-escura, granulação média a eventualmente gorssa, bem foliados, quase sempre mostrando uma laminação fina, descontínua e irregular de níveis félsicos segregados.

Possuem textura granoblástica com junções tríplices imperfeitos e deformação intracristalina. Constituída por hornblenda verde, andesina e diopsídio, tendo como acessórios titanita, opacos, apatita e quartzo. Sendo o metamorfismo de fácies anfibolito

6.1.5.2 Granitóide Córrego do Cerca

Situa-se a oeste da serra dos Vieiras, possuindo uma forma alongada na direção N-S. Em contanto com o complexo Mantiqueira tanto ao norte quando ao sul, a oeste com o ortoanfibolito Santo Antônio do Grama e a leste com a Unidade E do complexo Juiz de Fora.

Aparece de coloração branca, granulação fina, homogêneo, bem foliado, constituído por quartzo, feldspato branco e biotita. A origem da foliação é em devido a ocorrência do cisalhamento dúctil, possui caráter sintectônico e normalmente se encontra semimeteorizado.

6.1.5.3 Granitóide Morro Grande

O corpo granítico possui cor esbranquiçada a rósea, granulação fina, tendo bordas cisalhadas, englobando porções calcissilicásticas do grupo Dom Silvério.

Constituído principalmente por quartzo, feldspato róseo e branco, minerais esverdeados (piroxênio, anfibólio e talvez epidoto), muscovita e magnetita. Possui pegmatitos com feldspato cor de cremee buchos de muscovita, além de quartzo, que se injetam nos xistos do Grupo Dom Silvério.

6.1.5.4 Metaígneas de Rio Doce

A relação dos corpos de natureza básica com os ortognaisses regionais do complexo Mantiqueira é me gera concordante, devido ao cisalhamento de baixo ângulo que obliterou as relações originais, dando foliações, originando corpos alongados, lentes estriccionadas e boudins. Os corpos de natureza granítica podem ser concordantes ou não, sendo afetados mais intensamente pelo cisalhamento.

Entre as metabásicas e rochas granitoides o contato é brusco, existem tanto metabásicas cortando rochas graníticas pegmatóides como rochas graníticas cortando ou migmatizando rochas metabásicas.

As rochas de natureza básica são representadas por corpos de anfibolito de anulação fina a média, com alguns tipos preservando a textura porfirítica original. São verde-escuros a pretos, as vezes foliados (L-S), lenticularizados pelo cisalhamento, boudinados ou mesmo migmatizados pelos granitos mais jovens.

Ocorrem piroxênio-anfibólios ou, ainda, anfibólios diabasóides, que se encaixam como sills em ortognaisses cisalhado em alto ângulo.

As rochas ortoderivadas ácidas são metagranitos pegmatóides esbranquiçados, com fenocristais de feldspato, além de quartzo. A deformação é variável, ocorrendo grandes porções não foliada. São discordantes dos anfibolitos, anfibolognaisses e ortognaisses regionais, tendo xenólitos destes.

6.1.6 Rochas Básicas não-deformadas: Gabros, Diabásios e Basalto

Ocorrem em pequenos corpos não mapeáveis na escala em que foi realizado o trabalho da Folha Ponte Nova. Aparecem em forma de diques ou sills, detectados

principalmente no ortognaisse do complexo Mantiqueira, ao longo dos rios Piranga e Doce. Datados do mesozoico.

Os gabros possuem granulação média, mais raramente grossa de cor verde-escuro. Os diabásios e basaltos são mais comuns, possuem cor verde-escura, geralmente bastante fraturados, são corpos mais expressivos e alguns deles se alinham segundo os faturamentos que controlam o curso do rio Piranga.

6.1.7 Depósitos Aluvionares

Possui grande expressão ao longo do rio Doce, possuindo espessuras métrica até 20 metros. Assentam-se invariavelmente, sobre os ortognaisses do complexo Mantiqueira, constituídos por cascalhos grosseiros, areias e níveis argilosos que, no conjunto, mostram estratificações.

Depósitos menos expressivos também foram observados no ribeirão dos Oratórios.

6.1.8 Coberturas detrito-lateríticas

Depósitos situados entre 420 m e 630 m de altitude. Ocupam pequenas áreas aplainadas, ocorrem de forma mais desenvolvida ao norte de Rio Doce, leste de São Sebastião do Soberbo, norte de Zito Soares e nas proximidades de Águas Férreas, concentrando-se quase que exclusivamente sobre a suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo.

Constituem superfícies mais ou menos planas com solo vermelho intenso, pouco espesso.

6.2 GEOLOGIA LOCAL

O presente capítulo foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Ponte Nova (SF.23-X-B-II) confeccionada pela (CPRM, 1991).

A área de estudo e seu entorno estão localizados inteiramente no Complexo Mantiqueira, Depósitos Aluvionares, suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo e Grupo dom Silvério (Unidade 1 e Unidade 2).

6.2.1 Complexo Mantiqueira

Na área de estudo só aparece o Otognaisses granito-tonalíticos, datada do proterozóico inferior.

6.2.1.1 Otognaisses granito-tonalíticos

Na litologia estão incluídos (anfibólio)-biotita-granito gnáissicos, anfibolobiotita tonalito-gnáissicos miloníticos, leucocráticos, de granulação fina a média e estrutura laminada dominante, com alternância de níveis máficos e félsicos de espessura centimétrica. Ocorre também um bandamento mais espesso e ressaltado pelo maior enriquecimento de minerais máficos (biotita, anfibólio) ou félsicos (quartzo e feldspato). Essas rochas sofreram um forte cisalhamento, resultando em uma laminação/bandamentos.

O bandamento gnáissico pela homogeneização imposta as estruturas anteriores, gerando uma estrutura de alternância regular, porém descontínua, de níveis félsicos, predominantemente quartzofeldspático, com outros máficos, biotíticos e/ou anfibólios.

Mesoscopicamente, os principais constituintes dos ortognaisses são quartzo, feldspato (em geral branco), biotita e anfibólio. Ocorrem secundariamente, granada e magnetita, sendo variável o conteúdo de biotita e anfibólio.

Microscopicamente, observa-se uma série diversificada de gnaisse quartzofeldspáticos de composição granítica a tonalítica. Deformação variável desde fracamente cisalhados, protomiloníticos até milonitos e blastomilonitos.

6.2.2 Depósitos Aluvionares

Na área de estudo aprece os depósitos aluvioanres que possuem grande expressão ao longo do rio Doce, possuindo espessuras métrica até 20 metros. Assentam-se invariavelmente, sobre os ortognaisses do complexo Mantiqueira, constituídos por cascalhos grosseiros, areias e níveis argilosos que, no conjunto, mostram estratificações.

6.2.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo

No entrono da área de estudo a suíte é representado por (anfibólio)-biotita-gnaisse, anfibolitos, rochas calcissilicáticas, muscovita-quartzitos e muscovita-

quartzoxistos, contendo injeções graníticas sintectônicas. Característica da fácies metamórfica anfibolito, datada do proterozóico inferior.

Representado por um conjunto de gnaisses bandados a laminados, com frequentes intercalações de anfibólio e rocha calcissilicáticas. A foliação gnáissica é resultante de transposição por cisalhamento dúctil e é concordante com o bandamento. Esses gnaisses mostram-se geralmente milonitizados, próximos a zonas de contato tectônico com as unidades litológicas limítrofes, onde exibem laminação milimétrica e até adquirem aspecto xistoso, com granulação bem mais fina, estiramento dos félsicos, com frequente discoides de quartzo, blastos de feldspato e/ou agregados quartzofeldspáticos, além do eventual aparecimento de granada e muscovita/sericita.

Injeções graníticas sintectônicas são frequentes nos gnaisses bandados dessa suíte, indo desde veio centimétricos concordantes a subconcordantes com a foliação/bandamento. Veios pegmatíticos de natureza pós-tectônica são observados, recortando os gnaisses bandados da unidade, compostos de feldspato, biotita, muscovita e turmalina.

Os gnaisses, microscopicamente, possuem textura granoblástica, bastante orientada, sendo constituído por quartzo xenomórfico recristalizado, alongado. O plagioclásio de composição oligoclásio a andesina estando levemente sericitizado ou argilizado. A biotita forma aglomerados orientados de anfibólio (actinolita e hornblenda). Como acessórios, ocorrem zircão, apatita, granada, clorita, epidoto e carbonato.

As rochas calcissilicáticas constituem bandas e níveis descontínuos com espessura desde poucos centímetros até 1 metro. Mesoscopicamente, soa rochas cinza-esverdeada, em geral foliadas, de granulação fina a média, compostas por anfibólio, piroxênio, epidoto, titanita, quartzo, pirita e pirrotita magnética. Já microscopicamente, possui textura granoblástica, sendo constituída por plagioclásio, anfibólio, biotita, flogopita, carbonato, epidoto e quartzo.

6.2.4 Grupo dom Silvério

No entorno da área de estudo as unidades que aparecem são as: Unidade 1 e Unidade 2.

6.2.4.1 Unidade 1

Composto por biotita-anfibolitos, granada-biotita-muscovita-xistos, tremolittos e rochas calcissilicáticas.

Os anfibolitos são escuros, bem foliados, de granulação fina, muito raramente, são mais grossos. Compostos por anfibólio, biotita, feldspato e quartzo.

Ao microscópio os anfibolitos, apresentam um comportamento diverso, que tem relação com a gênese. Possui textura granonematoblástica, granulação fina a média, composto por hornblenda, andesina, biotita, clorita, quartzo e granada, como acessórios a titanita, opacos, apatita e zircão.

A rocha granada-biotita-xistos de granulação fina. Coloração cinza-clara é composto por mucovita, biotita, granada, quartzo e feldspato. As rochas calcissilicáticas estão restritas a pequenos corpos ovalados, centimétricos, distribuídos em bandas anfibolíticas que não ultrapassam um metro de espessura, de coloração esverdeada e granulação fina, sendo composto por anfibólio, carbonato, mica, pouco quartzo e algum feldspato.

A noroeste de Sem Peixe, nos domínios da Unidade 1, foram observadas intercalações métricas de talcotremolita-xisto no anfibolito. Petrograficamente, e um anfibolita-xisto com talco, clorita e carbonato, caracterizando condições mínimas de metamorfismo de médio grau.

6.2.4.2 Unidade 2

Denominado pelas rochas, muscovita-biotita-xistos com ou sem granada, cianita, grafita, silimanita, muscovita-quartzitos e muscovita-quartzixistos, magnetita-quartzitos, rochas calcissilicáticas, gonditos, mármores, biotita-anfibolitos, formação ferrífera e biotit-gnaisses laminados.

Os xistos possuem granulação fina a média, coloração esbranquiçada dominante e cinza-prateada para o tipo grafitoso. A xistosidade é bem marcada com frequentes segregação de quartzo. Ao microscópio, são, basicamente. Quartzoxistos contendo quantidade variáveis de biotita, muscovita, ocorrendo ou não granada e cianita.

A associação de formações ferríferas com xistos granatíferos e xistos magnetíticos das amostras estudadas podem caracterizar uma sequência com afinidade vulcanogênica.

As rochas calcissilicáticas apresentam diferenças de acordo com a região em que aflora. No limite leste da unidade apresenta uma cor verde-clara e intercaladas com biotita-anfibólio, acompanhado sempre de quartzito. Já na região próxima ao rio Piranga apresenta uma coloração cinza-escura a preta, associadas, com xistos grafitosos e intercaladas com a granada-muscovita-biotita-xisto. No microscópio, apresentam variedades quase monominerálicas, com textura granoblástica poligonal, constituindo-se principalmente por quartzo, diopsídio, tremolita, carbonato, epidoto e opacos.

Os biotita-anfibólios constituem corpos lenticulares, de granulação fina, bem foliados e coloração cinza-escuro a cinza-esverdeado. Composto por anfibólio, biotita, feldspato, pouco quartzo e localmente carbonato.

7 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS

Nos dias 26, 27 e 30 de setembro, a equipe da MDGEO realizou a etapa de cadastramento de pontos de ocorrências de água subterrânea (poços e cisternas) e superficiais (nascentes) no distrito de Córrego Fundo e Camões, do município de Sem Peixe. A Tabela 7.1, Tabela 7.2 e Tabela 7.3 apresentam informações coletadas nos pontos, enquanto que a mostra a localização dos mesmos.

Tabela 7.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados.

ID	Data	Proprietário	Localização
PC_SP_01	26/09/2019	Neide Afonso	Sítio Córrego Fundo / Camões, ao lado do campo de Futebol
PC_SP_01B	26/09/2019	Neide Afonso	Sítio Córrego Fundo, ao lado do campo de Futebol
PC_SP_02	26/09/2019	Maria Emilia	Sítio Córrego Fundo / Camões
PC_SP_03	26/09/2019	Marlena Aparecida	Sítio Córrego Fundo / Camões
PC_SP_03B	26/09/2019	Marlena Aparecida	Sítio Córrego Fundo / Camões
PC_SP_04	26/09/2019	Conceição	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_05	26/09/2019	Luciano Pereira	Sítio Camões
PC_SP_06	26/09/2019	Escola	Sítio Camões
PC_SP_07	26/09/2019	Marli	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_08	27/09/2019	Clayton	Sítio Córrego Fundo / Camões
PC_SP_08B	27/09/2019	Clayton	Sítio Córrego Fundo / Camões
PC_SP_08C	27/09/2019	Clayton	Sítio Córrego Fundo / Camões
PC_SP_09	27/09/2019	Maria de Loudres	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_10	27/09/2019	Viviane Aparecida	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_11	27/09/2019	Eliziana Aparecida	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_12	27/09/2019	Calisto Angelo	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_12B	27/09/2019	Calisto Angelo	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_13	27/09/2019	Maria Francisca	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_14	27/09/2019	Geraldo Antônio	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_15	27/09/2019	Jandira Araujo	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_16	27/09/2019	Maria	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_17	27/09/2019	Vanderlei de Araujo	Sítio Córrego Fundo
PC_SP_18	30/09/2019	Antônio Felipe	Sítio Camões
PC_SP_19	30/09/2019	Cotta	Sítio Camões
PC_SP_20	30/09/2019	-	Sítio Córrego Fundo
NAS_01	30/09/2019	Angela Canzart	Sítio Córrego Fundo
NAS_02	30/09/2019	Maura	Sítio Córrego Fundo
NAS_02B	30/09/2019	Maura	Sítio Córrego Fundo
NAS_03	30/09/2019	Wellington / Cristiane	Sítio Córrego Fundo

Tabela 7.2: Dados dos pontos cadastrados (Datum WGS84).

ID	Coordenadas				Cota (m)	NA (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota do NA (m)	Tipo de Poço
	X	Y	Lat.	Long.						
PC_SP_01	730775	7777516	-42,7931	-20,0856	305	5,65	18,00	0,10	299,45	Poço Tubular
PC_SP_01B	730794	7777553	-42,7929	-20,0853	305	4,15	6,00	0,20	301,05	Cisterna
PC_SP_02	730626	7777905	-42,7945	-20,0821	304	4,57	5,50	0,20	299,63	Cisterna
PC_SP_03	730642	7777954	-42,7944	-20,0817	304	0,51	1,72	0,48	-	Cisterna
PC_SP_03B	730701	7778040	-42,7938	-20,0809	304	1,37	2,35	0,45	-	Cisterna
PC_SP_04	730504	7778411	-42,7958	-20,0776	302	0,27	2,50	0,27	-	Cisterna
PC_SP_05	731297	7778487	-42,7882	-20,0768	296	2,10	3,10	0,50	294,40	Cisterna
PC_SP_06	729483	7778040	-42,8055	-20,0811	313	6,59	60,00	0,88	307,29	Poço Tubular
PC_SP_07	731900	7779197	-42,7825	-20,0703	281	2,34	5,00	0,99	279,65	Cisterna
PC_SP_08	730896	7778296	-42,792	-20,0786	300	0,38	1,12	0,25	299,87	Cisterna
PC_SP_08B	730892	7778309	-42,7921	-20,0785	299	-	1,12	-	-	Cisterna
PC_SP_08C	730905	7778309	-42,7919	-20,0785	300	0,57	1,70	0,32	299,75	Cisterna
PC_SP_09	730756	7778197	-42,7933	-20,0795	302	0,39	3,00	0,10	301,71	Cisterna
PC_SP_10	730353	7778272	-42,7972	-20,0789	305	6,95	12,00	0,32	298,37	Poço Tubular
PC_SP_11	730721	7778343	-42,7937	-20,0782	299	4,67	12,00	0,30	294,63	Poço Tubular
PC_SP_12	730930	7778308	-42,7917	-20,0785	301	0,57	1,20	0,29	300,72	Cisterna
PC_SP_12B	730960	7778313	-42,7914	-20,0784	300	1,82	2,96	0,00	298,18	Cisterna
PC_SP_13	730099	7779360	-42,7998	-20,0691	302	3,76	13,00	0,00	298,24	Poço Tubular
PC_SP_14	731532	7780342	-42,7862	-20,0600	279	2,59	3,90	0,09	276,50	Cisterna
PC_SP_15	730744	7777591	-42,7934	-20,08500	305	5,80	6,64	0,43	299,63	Cisterna
PC_SP_16	730761	7777486	-42,7932	-20,0859	305	4,35	5,78	0,45	301,10	Cisterna
PC_SP_17	730694	7777700	-42,7939	-20,084	305	3,20	4,17	0,13	301,93	Cisterna
PC_SP_18	729667	7778614	-42,8038	-20,0758	307	3,93	5,37	0,33	303,40	Cisterna
PC_SP_19	732194	7778005	-42,7796	-20,0810	312	18,37	72,00	0,41	294,04	Poço Tubular
PC_SP_20	732160	7779115	-42,78	-20,0710	283	14,62	22,00	0,23	-	Poço Tubular
NAS_01	731765	7778864	-42,7838	-20,0733	292	-	-	-	292,00	Nascente
NAS_02	731770	7779058	-42,7838	-20,0716	285	-	-	-	285,00	Nascente
NAS_02B	731722	7779044	-42,7842	-20,0717	288	-	-	-	288,00	Nascente
NAS_03	731133	7779185	-42,7899	-20,0705	296	-	-	-	296,00	Nascente

Tabela 7.3: Parâmetros físico-químicos medidos *in situ*.

ID	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	Bombeamento	Método de Coleta
PC_SP_01	157,00	6,33	5,40	23,10	21,20	Sim	Bomba
PC_SP_01B	-	-	-	-	-	Não	-
PC_SP_02	104,40	5,68	80,60	23,50	20,40	Sim	Bomba
PC_SP_03	85,40	6,20	45,40	20,90	20,30	Sim	Bomba
PC_SP_03B	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_SP_04	63,90	5,88	47,10	22,40	19,80	Sim	Bomba
PC_SP_05	27,20	5,89	51,40	21,10	19,90	Sim	Bomba
PC_SP_06	133,70	7,08	22,00	21,80	20,10	Sim	Bomba
PC_SP_07	132,00	6,54	18,50	19,80	19,30	Sim	Bomba

ID	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	Bombeamento	Método de Coleta
PC_SP_08	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_SP_08B	50,70	6,27	16,70	22,80	28,30	Sim	Bomba
PC_SP_08C	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_SP_09	25,60	5,42	47,90	21,90	24,30	Sim	Bomba
PC_SP_10	29,10	5,52	21,50	25,70	28,40	Sim	Bomba
PC_SP_11	100,70	6,02	16,10	26,70	28,40	Sim	Bomba
PC_SP_12	236,00	6,83	18,40	24,30	28,40	Sim	Bomba
PC_SP_12B	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_SP_13	123,40	6,23	17,00	25,80	28,40	Sim	Bomba
PC_SP_14	30,20	5,53	19,90	26,60	28,00	Sim	Bomba
PC_SP_15	79,40	6,32	18,60	28,30	30,00	Sim	Bomba
PC_SP_16	60,30	6,24	19,00	26,60	34,00	Sim	Bomba
PC_SP_17	72,10	5,96	16,00	25,90	34,00	Sim	Bomba
PC_SP_18	94,80	5,9	54,30	23,30	23,00	Sim	Bomba
PC_SP_19	-	-	-	-	-	Não	-
PC_SP_20	96,40	6,69	16,90	27,20	34,00	Sim	Bomba
NAS_01	24,90	5,72	18,60	25,30	25,60	Sim	Bayler
NAS_02	100,40	6,37	16,80	26,40	28,80	Sim	Bayler
NAS_02B	-	-	-	-	-	Sim	-
NAS_03	-	-	-	-	-	Sim	-

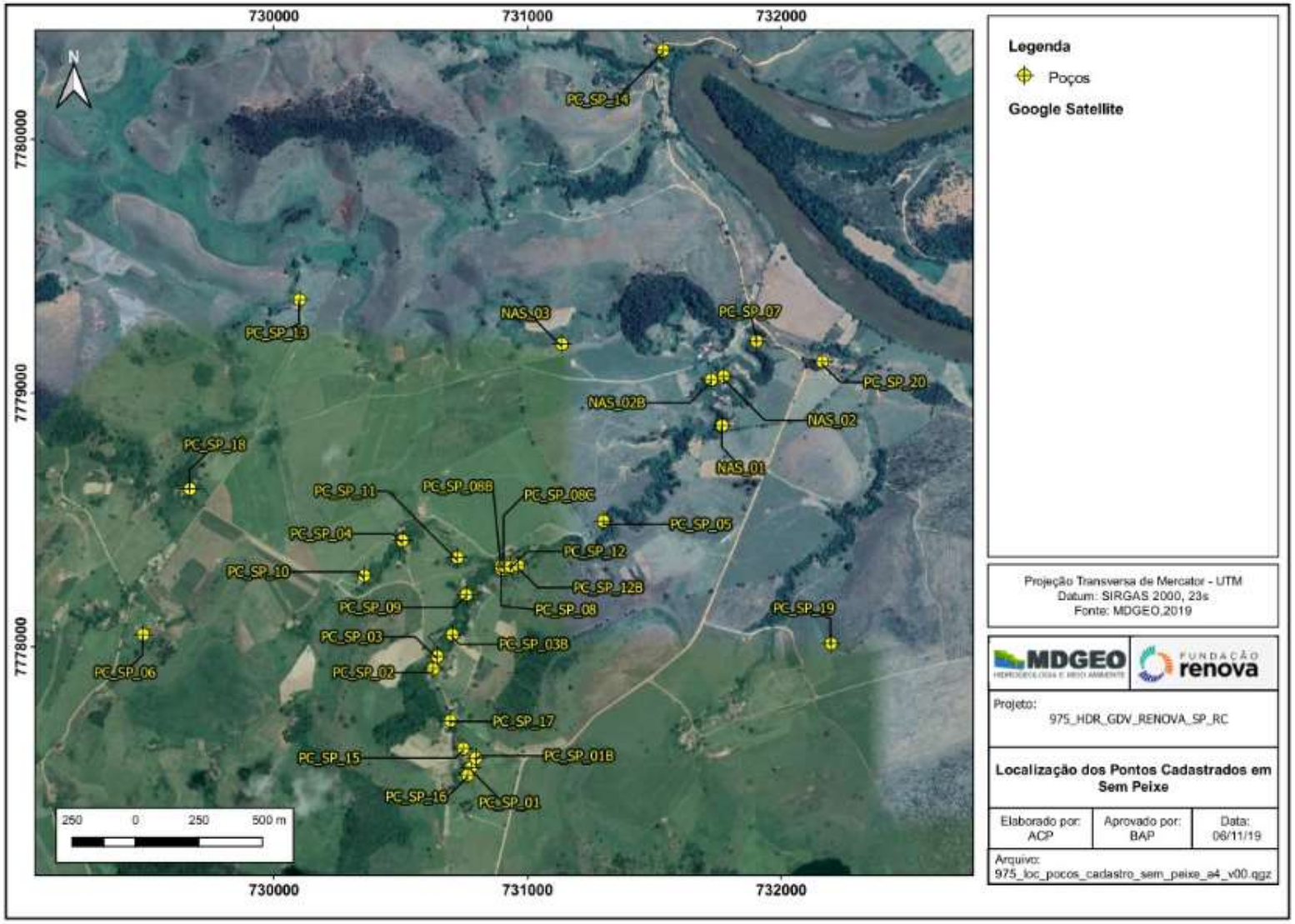


Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados.

impermeável, mas semipermeável (vide definições adiante). Ou seja, um material que permita a circulação vertical da água, muito lenta, que alimente um aquífero a partir de outro situado acima ou abaixo.

8.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para o entendimento da dinâmica hidrogeológica local é necessário realizar a compartimentação dos sistemas hidrogeológicos de fluxo. A princípio, de acordo com os pontos inventariados é possível delimitar um único sistema hidrogeológico, o Sistema Aquífero Cristalino.

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) é composto por dois subsistemas aquíferos. O primeiro é caracterizado por apresentar porosidade primária, ou seja, originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidado, originados do intemperismo das rochas gnáissicas do Complexo Mantiqueira (manto de intemperismo) e dos sedimentos depositados pelo Rio Doce nas épocas de cheia, esse sistema pode chegar até 20 metros de espessura e funciona como um reservatório e filtro para o aquífero fraturado subjacente.

O segundo e principal subsistema é o aquífero fraturado, caracterizado por apresentar porosidade secundária, ou seja, originada posteriormente à formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas das rochas gnáissicas sãs do Complexo Mantiqueira. Esse aquífero se estende desde cerca de 10 metros de profundidade até elevadas profundidades. Classifica-se ainda como um aquífero bastante heterogêneo não mantendo uma homogeneidade de propriedade, indicando a ocorrência de água subterrânea apenas onde as descontinuidades se fazem persistentes,

Em relação a classificação, o SAC e se enquadra como um sistema aquíferos livre, uma vez que o mesmo está submetido apenas a pressão atmosférica.

8.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Com base nas cotas do nível d’água dos pontos d’água subterrâneos cadastrados na área foi possível elaborar um mapa potenciométrico preliminar. Com os dados sobre o nível d’água conseguiu interpretar linhas equipotenciais com valores que variam de 303 a 276 (que representam posições de igual cota do nível d’água).

8 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

8.1 CONCEITOS

A seguir será apresentada uma descrição conceitual sobre tipos de aquíferos e como as rochas descritas para a região de estudo se comportam quanto ao seu potencial para o armazenamento e a circulação da água subterrânea.

Aquífero

Um aquífero é toda formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a explotação desta em quantidades economicamente viáveis. Esse conceito está relacionado à demanda de água local, sendo que um aquífero considerado pobre em uma região pode ser considerado como um aquífero de boa qualidade em outra.

A água contida em uma formação geológica qualquer pode ocupar tanto os vazios intergranulares quanto espaços vazios relacionados com falhas, fraturas e estruturas de dissolução/carstificação.

A seguir são apresentadas as classificações de aquíferos em relação ao tipo de porosidade e em relação ao confinamento:

<u>Classificação em relação à porosidade:</u> entende-se por porosidade granular ou primária os vazios formados entre os grãos da rocha, e por porosidade secundária ou fissural, aquela formada por descontinuidades da rocha, que possibilitam o armazenamento e a circulação de água subterrânea. Assim sendo, empregam-se as denominações de aquíferos com granular poroso (ou primária) e porosidade fissural (ou secundária). Existem também os aquíferos cársticos, normalmente caracterizados por redes de condutos subterrâneos formados pela dissolução de rochas, principalmente carbonáticas, e que também apresentam porosidade secundária.

<u>Classificação em relação ao confinamento:</u> aquíferos livres são aqueles no qual há uma superfície livre de água (em contato direto com o ar), ou seja, sob pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a água contida em seu interior está submetida a certa pressão, superior a atmosférica, e ocupa a totalidade dos poros e vazios da formação, saturando-a totalmente. Uma variação dos aquíferos confinados são os aquíferos denominados semiconfinados, no qual a camada superior ou inferior que os confine não seja totalmente

Para calcular a cota do nível d'água, primeiramente soma-se a altura do tubo de boca (medido com trena) à cota do local obtida por meio do GPS, então subtrai-se do resultado da soma o valor do nível d'água (medido com o medidor de nível portátil) conforme equação a seguir.

$$cna = cp + atb - na$$

Cna = cota do nível d'água (m)

Cp = cota topográfica do ponto (m)

Atb = altura do tubo de boca (m)

Na = profundidade do nível d'água (m)

A Figura 8.1 apresenta o mapa potenciométrico calculado para a região a partir de níveis d'água estáticos. Analisando a mesma, a linha equipotencial de maior cota é a de 303 metros e a menor de 276 metros, com as maiores cotas nas porções mais a sudoeste e noroeste da área, que vão diminuindo à medida que se aproxima da calha do Rio Doce que está na cota de 272 m, indicando que o fluxo da água subterrânea natural vai do aquífero para o Rio Doce (Figura 8.1).

A partir do mapa potenciométrico é possível observar que o fluxo de água localmente vai em direção aos vales, onde estão as menores cotas das equipotenciais locais. Analisando o fluxo regional, o fluxo é em direção a Rio Doce que está na menor cota, tendo um fluxo em direção nordeste.

A cota do nível d'água leva em consideração o nível estático, logo foi desconsiderado o nível d'água dos pontos PC-SP-03, PC-SP-03B e PC-SP-04, pois são nascentes que foram envoltas por manilhas, e o PC-SP-20, que no momento da visita o poço estava em funcionamento, ou seja, o nível anotado foi o dinâmico.

Entende-se ainda que esse tipo de aquífero, como mencionado no item anterior, são bastante descontínuos e não se observam evidencias de que os poços mantenham conexão hidráulica com o Rio Doce. Todavia, estudos complementares como a caracterização hidroquímicas das águas do aquífero e rio permitiriam confirmar tal afirmação.

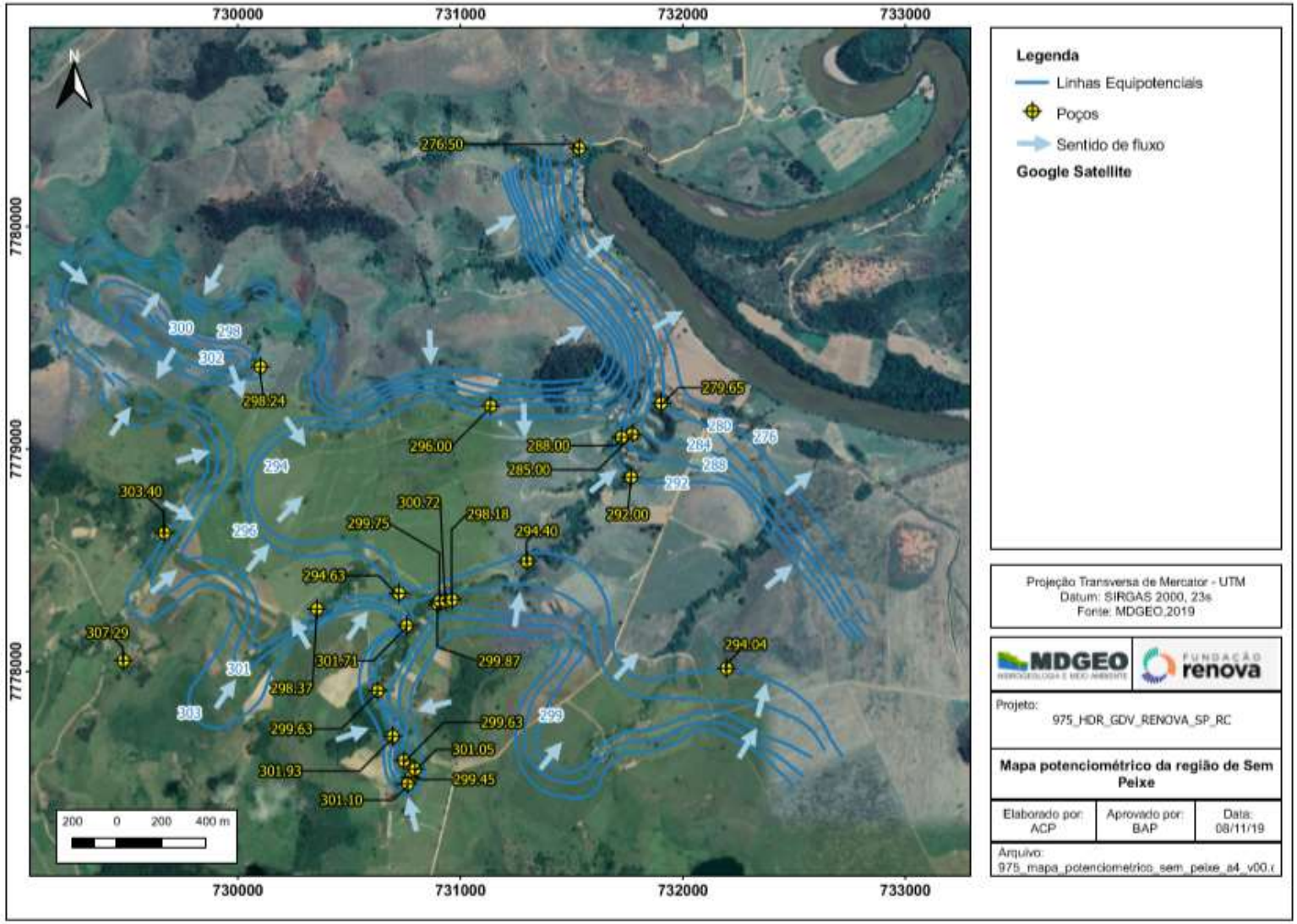


Figura 8.1: Mapa potenciométrico, com cota do <u>nível estático</u> dos poços, da região de Sem Peixe.

9 CONCLUSÕES

Com o cadastro dos pontos d'água subterrâneos (poços e cisternas) e pontoes de água superficial na área do distrito Córrego Fundo e Camões, foram encontrados 25 são poços subterrâneos e em 4 a pontos superficiais. Dos 25 poços 18 são cisternas e 7 são poços.

Em termos hidrogeológicos o único sistema aquífero existente é o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) que se divide em dois subsistemas aquíferos, o mais superficial caracterizado por apresentar porosidade primaria originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidados, originados do intemperismo das rochas gnáissicas (manto de intemperismo). E o mais profundo, espesso mais e importante caracterizado por apresentar porosidade secundária, originada posteriormente a formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas das rochas gnáissicas do Complexo Mantiqueira.

Com os dados das cotas do nível d'água dos pontos subterrâneos foi possível estabelecer que as linhas equipotenciais têm menores valores mais próximos a calha do Rio Doce, indicando fluxo para nordeste. Os resultados obtidos permitem determinar que na área de estudo o Rio Doce se comporta como um rio efluente, ou seja, o fluxo de água do rio é mantido devido a água cedida pelo aquífero. Logo pode-se concluir que a água que os poços captam não está vindo do Rio Doce e sim do aquífero que existe na região.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(INEP)., I. I. (10 de 06 de 2019). *Índice de Desenvolvimento da Educação Básica - IDEB - 2014*. Fonte: <http://ideb.inep.gov.br/>

ABAS. (2010). *Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste*. Fonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx

Ab'Saber, A. N. (1972). Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro: Considerações finais, conclusão. *Geomorfologia*, 28:01-38.

CBHRP. (2013). *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga*. Fonte: http://www.cbhpiranga.org.br/a-bacia

CPRM. (1991). *Itanhomi Ponte Nova SF.23-X-B-II Estado de Mnas Gerais Escala 1:100000.* Brasília.

CUSTODIO, E., & LLAMAS, M. R. (1976). *HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA* (2 ed.). BARCELONA, ESPANHA: OMEGA.

FEITOSA, F. (Ed.). (2008). *HIDROGEOLOGIA: CONCEITOS E APLICAÇÕES* (3a ed.). RIO DE JANEIRO, BRASIL: CPRM: LABHID.

FUGRO; SAMARCO. (2018). *MAPEAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE - BACIAS B1 E B2 DA FAZENDA FLORESTA.* 73p: FRN-01-GFS-GRE-01.

FUNDAÇÃO RENOVA. (17 de maio de 2017). Fonte: Site da Fundação Renova: http://www.fundacaorenova.org/a-fundacao/

IBGE. (2006). MAPA DE UNIDADES DE RELEVO DO BRASIL. *MAPA DE UNIDADES DE RELEVO DO BRASIL - ESCALA 1: 5 000 000*. RIO DE JANEIRO: 2. ed.

IBIO, & CBH - PIRANGA/MG. (2016). PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO -- SEM-PEIXE/MG. SEM PEIXE, Minas Gerais, Brasil.

IGAM, & PIRH BACIA DO RIO DOCE. (Maio de 2010). PLANO DE AÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PIRANGA PARH PIRANGA. Minas Gerais, Brasil.

IICA, I. I. (Ed.). (2009). *MANUAL DE APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIO TÉCNICOS, PRODUTOS E CONSULTORIA* (1a ed.).

INPE, I. N. (2015). *Índice de Desenvolvimento de Eduação Básica.* Brasília: IDBE.

MDGEO. (2017). *Relatório dos estudos hidrogeológicos na região da Fazenda Floresta. "Compilação de dados". Rio Doce - MG.* Belo Horizonte.

MDGEO; SAMARCO. (2018b). *PRAD GEOTECNICO - MODELO HIDROGEOLOGICO.*

Pereira, B., Cordeiro, V., & Filippo, M. d. (2012). *Modelo Relatório MDGEO.* MDGEO, Belo Horizonte.

SBICS. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* Brasília: Embrapa.

UNIVERSIADE FEDERAL DE VIÇOSA, FUNDAÇÃO DENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, & FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. (2010). Mapa de solos do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais: Fundação Esadual do Meio Ambiente.

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via do Profissional

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005634858
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE SEM PEIXE E RIO CASCA.
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima
Belo Horizonte, 01 de novembro de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **31/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005436926**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via da Obra/Serviço

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005634858
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE SEM PEIXE E RIO CASCA.
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima
Belo Horizonte, 01 de novembro de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **31/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005436926**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via do Contratante

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005634858
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE SEM PEIXE E RIO CASCA.
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima
Belo Horizonte, 01 de novembro de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **31/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005436926**

ANEXO II – MODELO DO TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO DA FUNDAÇÃO RENOVA

ANEXO III – FICHAS DE CAMPO

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

RELATÓRIO C

FUNDAÇÃO renova

reparar, restaurar, reconstruir

RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE RIO CASCA

NOVEMBRO DE 2019

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Título do Projeto:	RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DE RIO CASCA
Contrato:	4800015316
Vigência Contrato:	26/03/2018
Centro de Custo:	975
Local:	Rio Casca/MG

DADOS DA CONTRATANTE

Contratante:	FUNDAÇÃO RENOVA
CNPJ:	25.135.507/0001-8
Endereço:	Avenida Getúlio Vargas, 671, Sala 400, 4º Andar, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.112-021
Gestor do Contrato:	Euzimar Augusto da Rocha Rosado
Contato:	31-3557-6084
Fiscal projeto:	Maurício Soares
Contato fiscal:	31-9 9868-8990

RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

Razão Social:	MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.
CNPJ:	38.625.927/0001-90
Responsável Técnico:	Antônio Carlos Bertachini
Contato:	Rua Gararu, 389, Sagrada Família 31.035-470 – Belo Horizonte – MG Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602 Fax: (+55) 31-3481-8911 mdgeo@mdgeo.com.br
Anotação de Resp. Técnica – ART:	5001235 – Breno Pereira – Resp. Téc. – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D 5665363 – Breno Pereira – Resp. Téc – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Antônio Carlos Bertachini (ABT) – Geólogo, Msc. CREA SP 70902/D	Consultor em Hidrogeologia	Consultor em Hidrogeologia Responsabilidade técnica
Breno Alexandre Pereira (BAP) – Eng. Geo. CREA MG 81028/D	Hidrogeólogo sênior	Responsabilidade técnica Gerente do Projeto
Arthur Carvalho Pimentel (ACP) Geólogo	Analista de Hidrogeologia	Aquisição de dados em campo Confecção de relatório técnico Compilação de dados
Pedro Dias	Auxiliar de Campo	Aquisição de dados em campo

REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROVAÇÃO	FINALIDADE
V00	04/11/19	ACP/BAP		Elaboração de relatório

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6

2 OBJETIVO 8

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO 9

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO 10

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS 10
4.2 TRABALHO DE CAMPO 10
4.2.1 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea 10
4.2.1.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo 11
4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO 12

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA 13

5.1 CLIMA 13
5.2 VEGETAÇÃO 16
5.3 PEDOLOGIA 17
5.4 REDE HIDROGRÁFICA 18
5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 19

6 GEOLOGIA 20

6.1 GEOLOGIA REGIONAL 20
6.1.1 Complexo Juiz de Fora 20
6.1.1.1 Unidade A 20
6.1.1.2 Unidade B 21
6.1.1.3 Unidade C 21
6.1.1.4 Unidade D 21
6.1.1.5 Unidade E 22
6.1.2 Complexo Mantiqueira 22
6.1.2.1 Granulito córrego Pedra Dourada 22
6.1.2.2 Otognaisses granito-tonalíticos 22
6.1.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo 23
6.1.4 Grupo Dom Silvério 24
6.1.4.1 Unidade 1 24
6.1.4.2 Unidade 2 25
6.1.4.3 Unidade 3 25
6.1.5 Rochas Metaígneas 26
6.1.5.1 Ortoanfibolitos Santo Antônio do Grama 26
6.1.5.2 Granitóide Córrego do Cerca 26
6.1.5.3 Granitóide Morro Grande 27
6.1.5.4 Metaígneas de Rio Doce 27
6.1.6 Rochas Básicas não-deformadas: Gabros, Diabásios e Basalto 27
6.1.7 Depósitos Aluvionares 28
6.1.8 Coberturas detrito-lateríticas 28
6.2 GEOLOGIA LOCAL 28
6.2.1 Complexo Mantiqueira 29
6.2.1.1 Otognaisses granito-tonalíticos 29
6.2.2 Depósitos Aluvionares 29
6.2.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo 29
6.2.4 Coberturas detrito-lateríticas 31

7 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS 32

8 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL 36

8.1 CONCEITOS 36
8.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 37
8.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA 37

9 CONCLUSÕES 40

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Localização da área de estudo. *9*
Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA (2042031). *13*
Figura 5.2: Precipitação mediana, percentil 90° e percentil 10° mensal – Estação 2042031. ..... *15*
Figura 5.3: Pluviometria total anual. *16*
Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste. *19*
Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados. *35*
Figura 8.1: Mapa potenciométrico, com cota do nível estático dos poços, da região de Rio Casca. .. *39*

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA (2042031). *14*
Tabela 7.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados. *32*
Tabela 7.2: Dados dos pontos cadastrados (Datum WGS84). *32*
Tabela 7.3: Parâmetros físico-químicos medidos in situ. *33*

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
ANEXO II – MODELO DO TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO DA FUNDAÇÃO RENOVA
ANEXO III – FICHAS DE CAMPO

1 INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, em decorrência do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão, nas dependências do Complexo Germano em Mariana - MG, de responsabilidade da SAMARCO MINERAÇÃO, ocorreu o deslizamento de cerca de 40 milhões de m³ de rejeitos do processo de beneficiamento do minério de ferro sobre o Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio do Carmo, o qual dá origem ao Rio Doce a partir do seu encontro com o Rio Piranga.

No dia 02 de março de 2016 foi assinado o Termo de Transação e de Ajuste de Conduta para estabelecer diretrizes a serem tomadas em função do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão. Na Cláusula 171, da Subseção IV.2 (Programa de melhoria dos sistemas de abastecimento de água, englobando as seguintes medidas de cunho reparatório e compensatório) ficou acordado que:

> **CLÁUSULA 171:** Nos municípios que tiveram localidades cuja operação do sistema de abastecimento público ficou inviabilizada temporariamente como decorrência do EVENTO, a FUNDAÇÃO deverá construir sistemas alternativos de captação e adução e melhoria das estações de tratamento de água para todas para as referidas localidades desses municípios que captam diretamente da calha do Rio Doce, utilizando a tecnologia apropriada, visando reduzir em 30% (trinta por cento) a dependência de abastecimento direto naquele rio, em relação aos níveis anteriores ao EVENTO, como medida reparatória.
>
> **PARÁGRAFO PRIMEIRO:** Este programa incluirá os levantamentos de campo, estudos de concepção e projetos básicos, que deverão ser desenvolvidos em 2 (dois) anos, a contar da data da assinatura deste Acordo. A partir destas atividades, as obras necessárias deverão ser concluídas num prazo de 3 (três) anos.

No município de Rio Casca, no distrito Córrego Preto, Esmeralda e Rochedo os moradores reclamam da qualidade da água e alegam que os poços do local estão contaminados e que isto ocorreu após o rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão. Como estabelecido no TTAC a Fundação Renova[1] ficou incumbida de entrar em contato com os moradores e programar um estudo de analise rio aquífero para obter as respostas e descobrir se existe ou não a interferência do rio no aquífero da região.

Para realização de tal estudo a Fundação Renova contratou a MDGEO (PEDIDO Nº 4800015316). Os trabalhos realizados na região de Rio Casca procuraram entender a dinâmica de fluxo da água subterrânea na área próxima aos poços do local e como resultado pretende-se definir como é a relação de interferência Rio-Aquífero na área dos poços.

Os estudos aqui apresentados incluem inicialmente o cadastramento dos poços dos moradores da região (localização, profundidade, nível d'água (N.A) e nível dinâmico (N.D)). Compilação de informações referentes a geologia, hidrogeologia, geomorfologia, além de outras informações fornecidas pela Fundação Renova são apresentados neste relatório.

[1] A Fundação Renova foi a entidade criada a fim de gerenciar os recursos destinados a mitigar os impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Sua missão é implementar e gerir os programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem, previstos no Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado pelo SAMARCO com o Governo Federal, os estados de Minas Gerais e Espirito Santo e diversos outros órgão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017).

2 OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo realizar a caracterização da dinâmica do fluxo da água subterrânea na região próxima aos poços do distrito Córrego Preto, Rochedo e Esmeralda, entender como se dá a dinâmica de recarga e descarga entre o aquífero e o Rio Doce é a principal preocupação do presente trabalho.

No final do estudo a informação sobre a interferência ou não do rio aquífero será passado para os moradores.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO

Os distritos Córrego Fundo e Camões localizam-se no município de Rio Casca, que se encontra na porção leste do estado de Minas Gerais, a aproximadamente 198 km de Belo Horizonte.

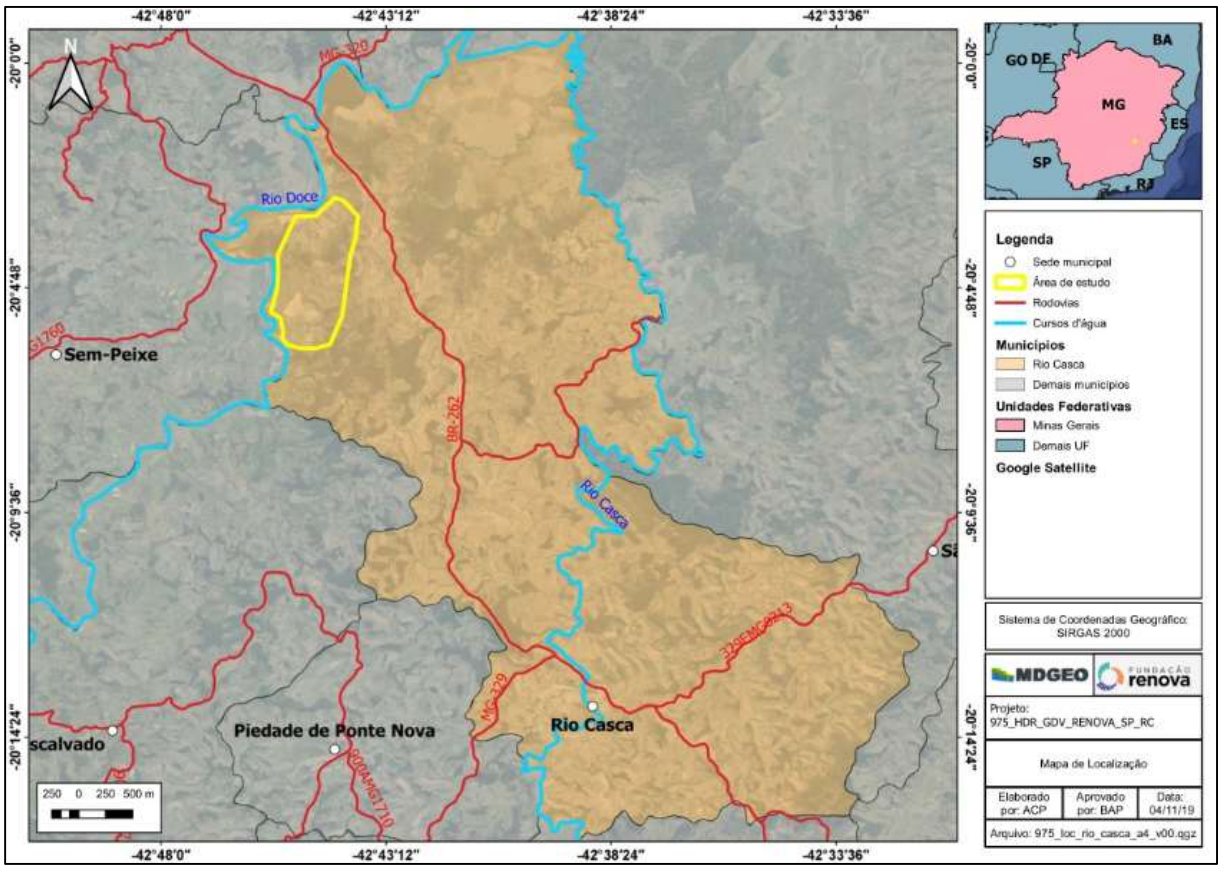


Figura 3.1: Localização da área de estudo.

O acesso mais rápido partindo de Belo Horizonte é realizado pela BR-381, passando por Roças Novas até João Monlevade, pegando a BR-262 passando por São Domingos do Prata, Vargem Linda, Jurumirim e chegando em Rio Casca.

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO

A seguir são descritas as atividades realizadas no projeto.

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS

Inicialmente foi realizada a compilação de dados da área de estudo. Nesta etapa reuniram-se todas as informações existentes relacionadas à cartografia, geologia, hidrografia e hidrogeologia da região. Bem como informações existentes sobre o poço a ser outorgado.

4.2 TRABALHO DE CAMPO

De posse das informações da etapa anterior, a equipe da MDGEO composta pelos profissionais Arthur Carvalho Pimentel (Analista de Hidrogeologia) e Pedro Dias (Auxiliar de Campo) foram para Rio Casca realizar a coleta de informações no campo.

4.2.1 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea

Nos dias 02, 03 e 04 de outubro a equipe realizou cadastramento dos pontos de captação de água nas propriedades localizadas dentro da área de estudo, no total foram cadastrados 22 pontos. Desses 22 são poços subterrâneos, 19 são cisternas e 3 são poços.

O cadastro desses pontos se deu a partir de idas as residências, as quais tinham informação sobre a existência de poços ou cisternas. Em todas as propriedades visitadas primeiramente chamava-se a pessoa que estava na propriedade (proprietário, inquilino, caseiro, funcionário, etc), apresentava-se como funcionários da MDGEO que estavam fazendo um estudo na região a mando da Fundação Renova, o qual contemplava o cadastro e a medição do N.A. do poço da propriedade, então pedia-se a autorização para a realização de tais trabalhos. A atividade só era iniciada após o proprietário assinar o Termo de Autorização de Intervenção, autorizando a realização (como modelo apresentado no Anexo II).

Durante a apresentação, eram feitas as seguintes perguntas a pessoa que nos atendeu:

- Nome, localização e, posteriormente à autorização,

- Número de usuários do poço,
- Tipo e quantidade de criação (galinhas, bovinos, suínos, etc), se fosse o caso,
- Quantidade de poços existentes na propriedade,
- Aspectos construtivos como profundidade do poço, diâmetro do poço, material atravessado durante a perfuração do poço, tipo de tubo,
- Aspectos sobre a qualidade da água, como cor, odor, etc.

Após a liberação para realização da atividade e questionário respondido pelo proprietário, pedia-se para ir até o(s) poço(s) ou pontos d'água, nos quais eram feitas as medidas diretas de:

- Coordenadas com GPS de campo,
- Profundidade do nível d'água,
- Profundidade do poço.

Por fim, pedia-se para ligar a bomba, com o intuito de medir a vazão de bombeamento do poço (inferida) e a obtenção de amostra d'água para a realização da medição dos parâmetros *in situ*:

- pH,
- Eh (mV),
- Condutividade elétrica (µS/cm) e,
- Temperaturas da água e do ar (°C).

Também foram devidamente fotografados, complementando assim as informações pedidas nas fichas de cadastramento da MDGEO e consequentemente a base de dados. As fichas de cadastramento são apresentadas no Anexo III.

4.2.1.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo

A ida a campo foi feita com uma camionete L200, placa QNC-6524 da marca Mitsubishi mobilizada pela Fundação Renova.

Todos os pontos foram locados com GPS da marca GARMIM MAP modelo 62s, utilizando o datum WGS84 como convenção.

As medições dos parâmetros foram realizadas através de dois multiparâmetros: um da marca Akso (combo pH, CE e temperatura) e outro da marca Hach (combo EH e temperatura).

O nível d'água era obtido por meio de um medidor de nível portátil de 100 m da marca Hidrosuprimentos. A coleta para medir os parâmetros *in situ* era feita com bayler ou pela bomba do poço e a medida dos parâmetros era feita na canequinha de alumínio, para evitar interferências externas.

4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

A última etapa do estudo consistiu na elaboração do presente relatório através da consolidação e interpretação dos dados coletados em campo e discussões sobre os resultados obtidos.

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as características dos componentes fisiográficos existentes na região de Rio Casca, tais como vegetação, clima, rede hidrográfica/drenagens e aspectos geomorfológicos.

5.1 CLIMA

Os dados climatológicos aqui descritos foram extraídos na estação mais próxima de Rio Casca, estação de monitoramento pluviométrico da Agencia Nacional de Águas (ANA) no município de São José do Goiabal (Estação Fazenda Cachoeira D'Antas – 2042031). A Figura 5.1 mostra a localização da estação em relação a área de estudo.

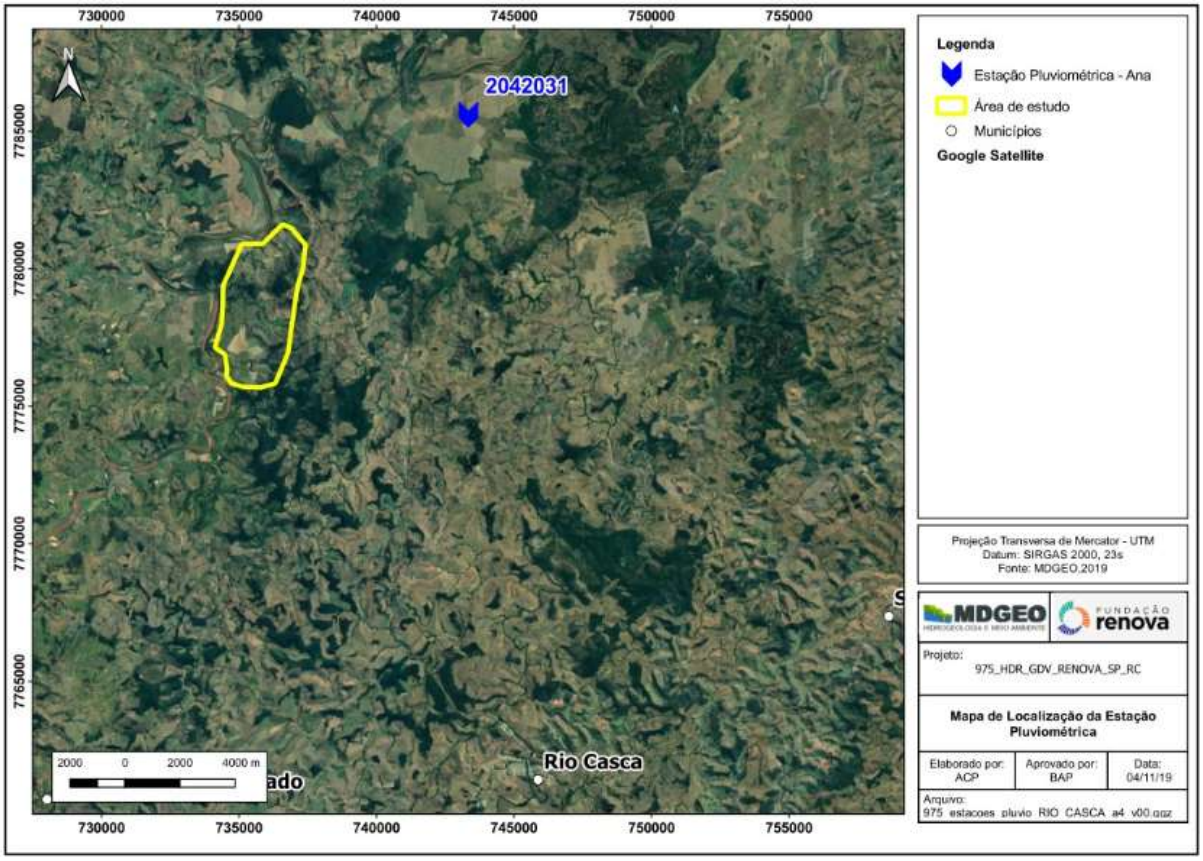


Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA (2042031).

Esta estação da ANA (Fazenda Cachoeira D'Antas – 2042031) tem dados de monitoramento pluviométrico desde de dezembro de 1981 até o julho de 2019. A Tabela 5.1 apresenta os dados da série histórica da precipitação mensal registrada neste período.

Nesta tabela podem ser consultados todos os dados existentes da estação de São José do Goiabal (Fazenda Cachoeira D'Antas – 2042031), além das precipitações medianas, percentil 90° e percentil 10° de toda a série histórica, as quais podem ser visualizadas graficamente na Figura 5.2, sendo que os dados foram organizados conforme o ano hidrológico local, considerando o período chuvoso de outubro a março e o período seco de abril a setembro.

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA (2042031).

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1981/1982			531,8	249,1	3,3	169,6	5,3	9,5	1,5	7,2	11,2	24,3
1982/1983	89,9	157,8	283,7	340,7	203,3	149,6	102,8	60,0	27,4	0,4	0,0	87,1
1983/1984	230,3	195,2	278,4	139,5	33,7	145,9	59,7	0,0	0,0	4,1	76,5	115,8
1984/1985	122,4	199,8	474,5	742,2	74,1	231,0	5,5	45,5	0,0	0,0	34,0	16,0
1985/1986	102,5	182,6	264,7	230,6	153,6	16,4	23,4	19,6	12,7	26,4	43,5	25,7
1986/1987	21,8	88,6	174,1	153,3	25,8	236,4	105,5	95,0	19,4	8,4	0,0	84,1
1987/1988	39,9	170,6	324,5	241,5	184,0	151,3	57,7	74,4	14,4	0,0	0,0	11,1
1988/1989	84,5	101,2	178,3	110,4	184,6	183,7	67,4	32,5	53,7	39,7	9,4	39,7
1989/1990	103,0	146,9	301,1	73,7	18,6	31,0	7,1	40,1	5,4	10,1	63,6	36,0
1990/1991	59,0	68,4	134,4	405,0	265,2	389,6	56,5	70,6	0,0	0,0	0,0	67,4
1991/1992	74,6	210,0	165,1	428,9	133,0	62,8	27,9	53,9	29,5	8,4	22,4	73,2
1992/1993	140,9	299,5	276,0	168,6	40,2	23,9	89,4	7,5	9,8	4,1	7,6	18,4
1993/1994	48,8	42,2	257,1	422,0	43,1	245,2	120,4	35,8	12,6	13,0	0,0	0,0
1994/1995	97,0	126,7	235,2	66,4	138,0	90,8	34,7	9,3	3,2	16,5	1,9	51,5
1995/1996	136,4	151,6	372,7	58,6	37,6	57,2	54,6	35,0	1,5	0,0	5,4	45,9
1996/1997	89,4	315,0	302,9	384,2	60,8	158,0	98,8	17,1	11,0	0,0	6,2	97,4
1997/1998	68,8	188,1	217,0	193,5	250,9	84,8	35,4	68,2	1,4	0,0	43,2	4,2
1998/1999	121,0	195,1	221,4	133,1	70,0	243,9	43,2	24,8	0,1	0,9	1,0	18,0
1999/2000	37,2	291,7	197,2	156,9	165,3	319,8	51,7	8,1	0,0	0,1	36,0	48,9
2000/2001	77,2	240,2	282,1	182,8	25,0	55,1	13,1	18,8	5,5	2,8	7,9	35,8
2001/2002	82,7	262,8	351,5	332,0	202,9	32,4	28,3	13,6	0,0	3,2	1,5	107,2
2002/2003	42,0	346,3	239,2	405,6	30,2	130,4	60,5	5,3	0,0	0,0	15,0	35,0
2003/2004	72,0	141,7	332,5	415,9	299,1	317,2	208,5	64,6	31,2	22,9	0,0	0,0
2004/2005	114,1	143,9	570,7	250,9	199,3	269,0	8,2	60,6	38,6	11,5	3,6	113,8
2005/2006	15,8	181,1	214,0	32,6	87,5	229,2	55,8	8,9	1,7	1,1	4,3	48,6
2006/2007	187,8	345,3	376,3	234,9	181,8	87,0	43,3	8,7	4,8	5,2	0,1	7,0
2007/2008	90,2	154,9	244,3	195,4	159,5	150,2	114,1	2,5	2,3	0,0	22,9	88,6
2008/2009	141,6	197,4	483,8	358,5	241,0	162,4	76,9	28,3	43,4	1,4	5,1	115,0
2009/2010	136,1	53,0	226,3	15,0	11,5	171,0	156,0	56,6	0,1	3,4	1,0	21,1
2010/2011	123,2	213,6	408,0	205,9	40,8	164,1	82,7	6,6	17,3	5,1	0,0	14,7
2011/2012	116,9	288,1	373,7	258,8	12,6	48,7	10,8	97,7	3,2	11,1	17,2	10,9
2012/2013	30,3	328,0	41,8	257,0	82,8	154,6	136,5	46,7	22,0	1,1	3,8	42,9
2013/2014	91,6	127,0	353,7	15,5	35,8	111,5	57,1	9,7	2,5	25,9	5,2	0,0

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
2014/2015	59,8	199,4	124,8	13,4	126,5	99,5	79,5	82,4	5,0	3,2	0,0	27,1
2015/2016	34,7	198,7	238,7	392,4	19,9	86,4	39,0	7,0	50,6	0,5	0,0	105,8
2016/2017	67,4	242,6	391,1	75,1	80,7	120,7	68,4	41,3	3,3	0,3	1,5	0,0
2017/2018	44,1	156,1	202,5	115,2	232,8	101,8	50,6	27,2	5,9	1,3	74,4	37,4
2018/2019	94,0	156,2	267,2	10,1	248,3	110,4	60,1	13,0	18,6	0,0		
Mediana	89,40	188,10	271,60	200,65	85,15	147,75	56,80	27,75	5,20	3,00	5,10	36,00
Percentil 90°	138,20	305,70	427,95	408,69	243,19	252,34	115,99	71,74	33,42	18,42	43,32	106,36
Percentil 10°	36,20	96,16	171,40	27,47	19,51	43,81	10,02	6,88	0,00	0,00	0,00	2,52

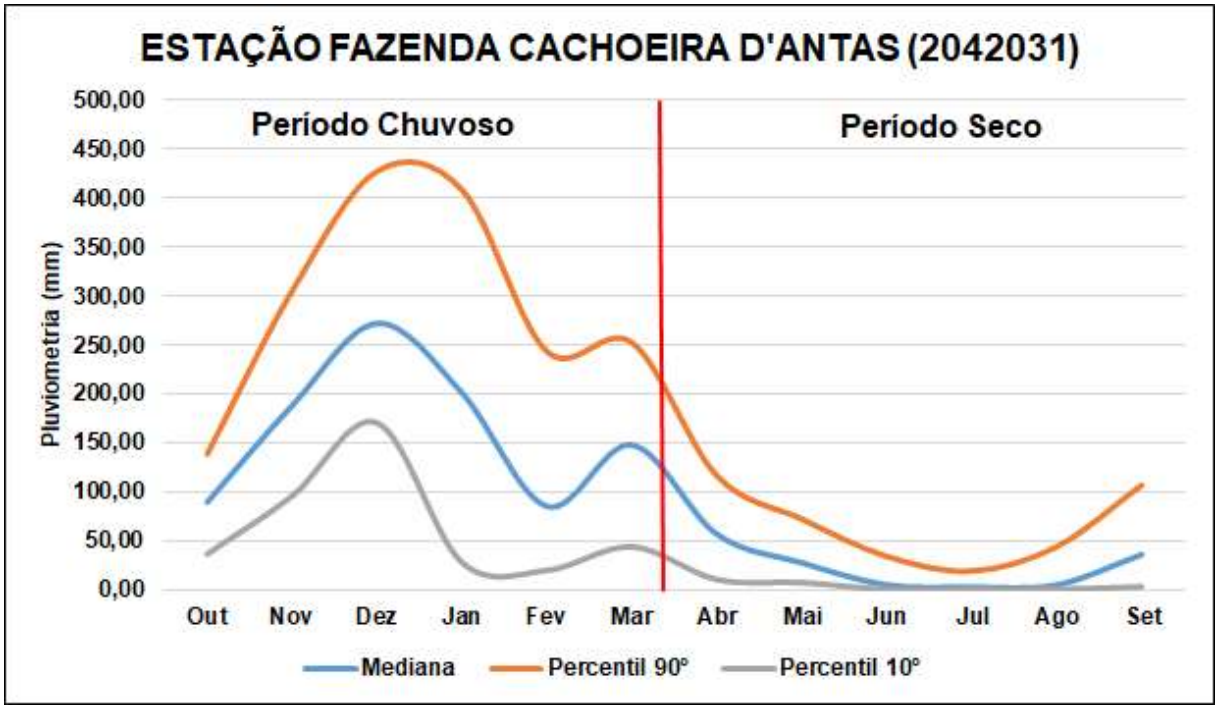


Figura 5.2: Precipitação mediana, percentil 90° e percentil 10° mensal – Estação 2042031.

A precipitação anual é apresentada pela Figura 5.3, também diferenciando a contribuição do período chuvoso (outubro a março) e do período seco (abril a setembro), e comparando o total anual com a mediana plurianual da série.

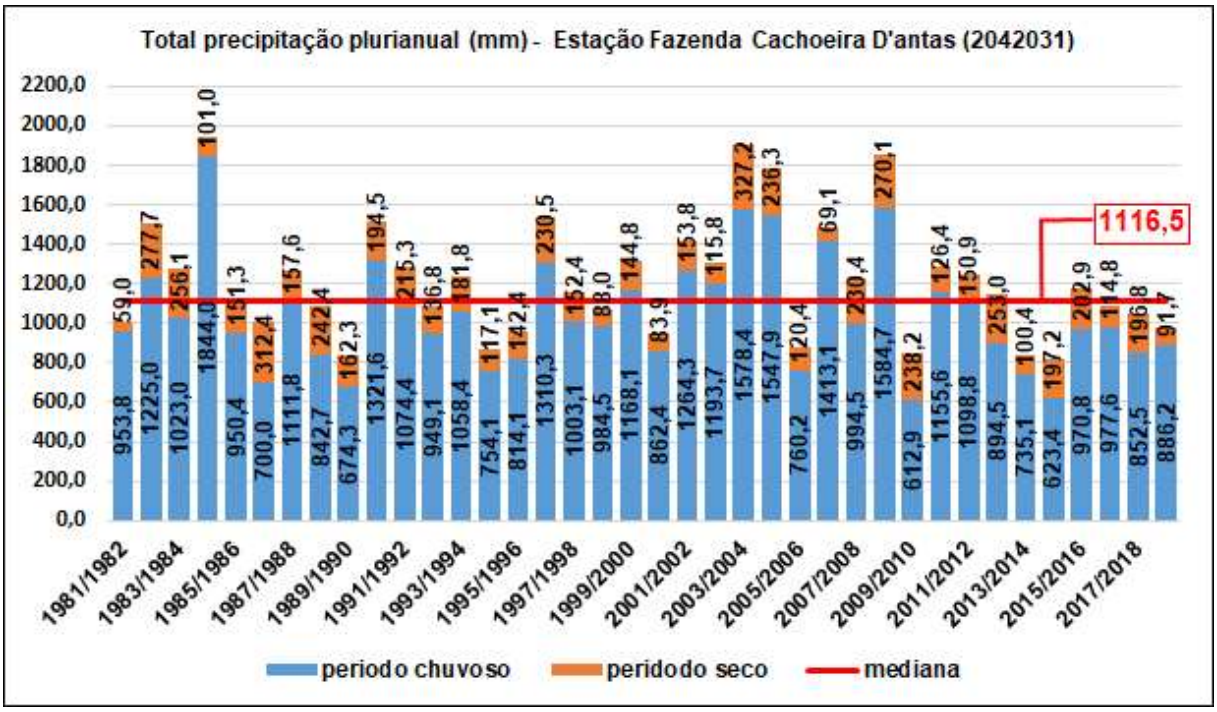


Figura 5.3: Pluviometria total anual.

A mediana plurianual da precipitação da série apresentada, considerando o ano hidrológico, é de 1116,5 mm/ano. A mediana para o período chuvoso é de 989,5 mm/ano que corresponde a aproximadamente 86,4% de toda precipitação anual, e a mediana do período seco é de 155,7 mm/ano que corresponde a 13,6% da precipitação anual.

Analisando os anos hidrológicos completos, nota-se que o ano hidrológico de 1984/1985, apresentou o máximo de precipitação acumulada, totalizando 1945,0 mm, e o ano mais seco, com base nos registros, foi o de 2014/2015, com total acumulado de 820,6 mm.

5.2 VEGETAÇÃO

De acordo com as informações do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010), a da área de estudo se encontra inteiramente sobre o bioma de mata atlântica.

Segundo (IBIO & CBH - PIRANGA/MG, 2016), a área que abrange o município de Rio Casca é formada pela Floresta Estacional Semidecidual Sub Montana e Floresta Estacional Semidecidual Montana que constitui um ecossistema pertencente ao bioma da Mata Atlântica.

5.3 PEDOLOGIA

No município de Rio Casca a maior parte dos solos são do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, Cambissolo flúvico Tb eutrófico, Latossolo Amarelo distrófico, Argissolo Vermelho eutrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (UNIVERSIADE FEDERAL DE VIÇOSA, *et al*., 2010).

Sendo que na área de estudo aperece três tipos: Latossolo Amarelo distrófico, Cambissolo flúvico Tb eutrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico.

Sendo caracterizado de acordo com os critérios adotados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA e baseados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBICS, 2018);

- Latossolo Amarelo distrófico, são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A. Amarelado na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, com saturação por bases menor que 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).
- Cambissolo flúvico Tb eutrófico, são solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte A chernozêmico. Solos com caráter flúvico dentro de 150 cm a partir da sua superfície, com argila de atividade baixa e saturação por bases maior ou igual a 50% (ambas na maior parte dos primeiros 100 cm).
- Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de baixa atividade ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alumínico na maior parte do horizonte B. apresenta cores vermelho-amareladas e/ou amarelo avermelhadas, com saturação por bases maior ou igual a 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

5.4 REDE HIDROGRÁFICA

A área de estudo está localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (RHAS), definida pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2010) como de alto contingente populacional e importância econômica ligada à sua indústria. O município de Sem Peixe situa-se na porção sudoeste da RHAS, sendo que a principal bacia hidrográfica que compõem a região é a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD).

A área de estudo está inserida dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, mas também abrange uma pequena porção da Sub-bacia hidrográfica do Piranga. A sub-bacia se divide em cinco bacias menores, sendo o município localizado na Bacia do Rio Casca e na Bacia Incremental, já a área de estudo está localizado somente na Bacia Incremental (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010), ou seja, faz parte de uma porção da Bacia do Piranga, mas as drenagens da região desaguam no Rio Doce. Os principais rios da Bacia Incremental que drenam para o Rio Doce são: Rio do Peixe, Rio Sem Peixe, Ribeirões Mombaça, do Turvo e do Belém pela margem esquerda, pela margem direita destaca-se o Rio Sacramento.

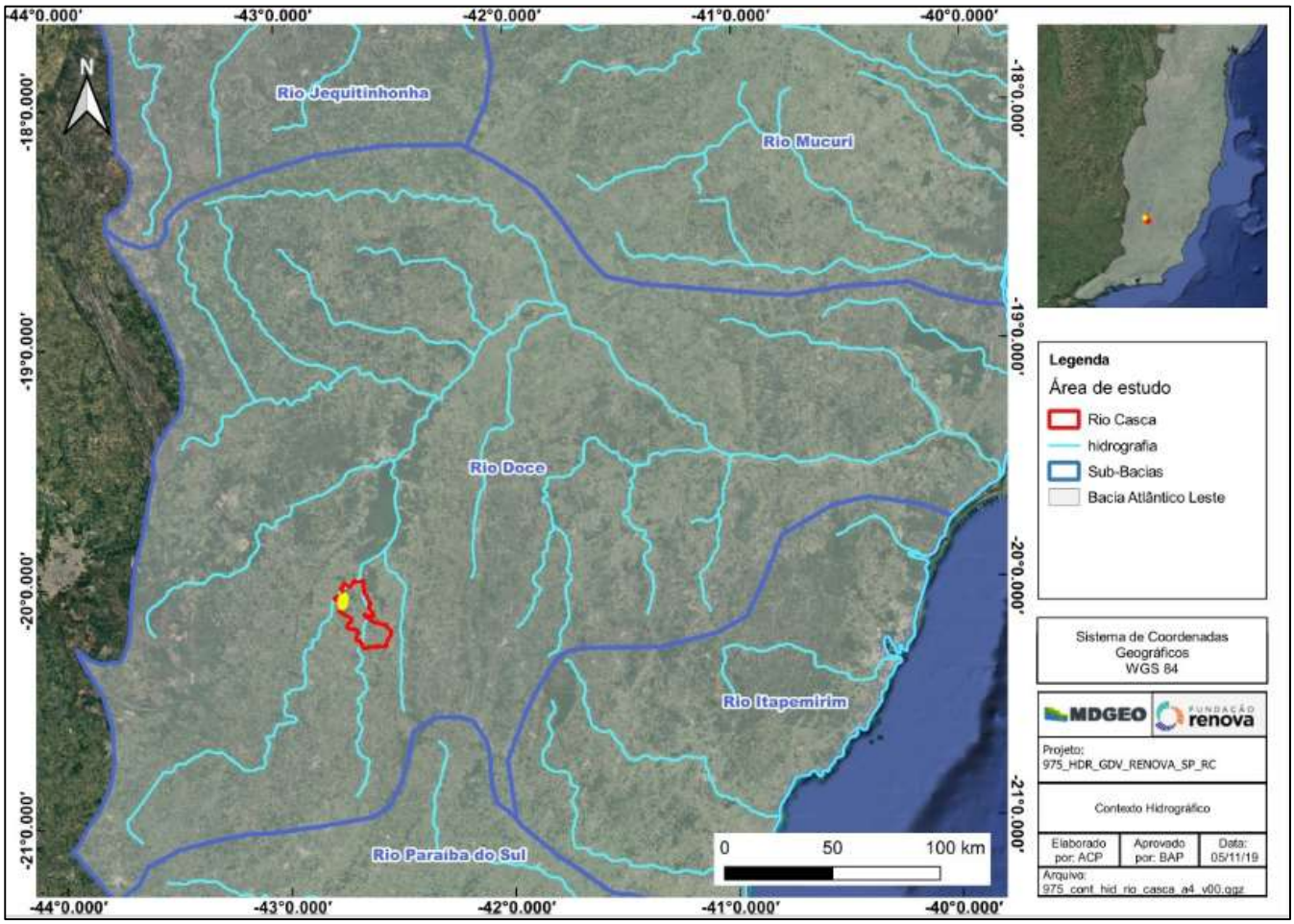


Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste.

5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Segundo o (IBGE, 2006) no município de Rio Casca encontra quatro Unidades Geomorfológica: Planícies Fluviais, Depressão Rio Doce, Planalto Centro Sul Mineiro e Campos das Vertentes e Serras da Mantqueira/Itatiaia/Caparaó.

Somente a unidade planícies fluviais é do Depósitos Sedimentares Terciários e/ou Quaternários, todas as outras três unidades são do Cinturões Móveis Neoproterozóicos.

6 GEOLOGIA

6.1 GEOLOGIA REGIONAL

O capítulo de Geologia Regional foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Ponte Nova (SF.23-X-B-II) confeccionada pela (CPRM, 1991). A área de estudo está localizada no domínio as Província Geotectônica Mantiqueira, a leste da Província Geotectônica São Francisco.

O contato entre as duas províncias é tectônico em quase toda sua extensão. A região mostra uma evolução tectônica, com registros de ciclos tectonotermais desde o Arqueano até o Proterozóico Superior – Eopaleozóico; feições mais recentes estão marcadas por falhas de gravidade e intrusões ácidas a básicas não-deformadas.

Os ciclos de aplainamento Gonduana, Pós-Gonduana, Sul-Americano, Velhas e Paraguaçu aturam em toda a região. A geologia começando pelo mais antigo é descrito nos subitens a seguir.

6.1.1 Complexo Juiz de Fora

Os litotipos integrantes do complexo aparecem distribuídos ao longo da extremidade sudoeste da folha, como uma faixa bem marcada, orientada segundo NNE-SSW e determinada pela implantação de zonas de cisalhamento dúctil de alto ângulo imposta sobre eles, de idade datada do Arqueano. Foi separado em cindo unidades dentro da folha geológica da área: Unidade A, Unidade B, Unidade C, Unidade D e Unidade E. Todas as Unidades apresentam deformações D1, D2 e D3 e de fácies metamorfismo granulito.

6.1.1.1 Unidade A

Classificado como enderbitos, charnoquitos, ortoanfibolitos e biotita-anfibolognaisses, intimamente associados ao grafita-silimanta-granada gnaisse da Unidade B e aos biotita-anfibolognaisses bandados da Uniadade D.

Caracterizou por um complexo de rochas intimamente associadas, variando de metagrabos a termos chanoquíticos e enderbíticos, com um arranjo estrutural em que predominam tipos bandados, onde ocorre uma composição básica a intermediária, como ortoanfibolitos e enderbitos. Em geral possui uma cor verde a acaramelada, com

granulação fina a média, exceto nos charnoquitos esbranquiçados que são de granulação grossa até pegmatóide que se comportam como um neossoma.

O conjunto encontra-se cisalhado em diversos graus, variando em estrutura de proto a ultramilonitos, bem foliados e bandados.

6.1.1.2 Unidade B

Catalogado como (silimanita-grafita)-granada-biotita-gnaisses migmatíticos. Aparecem orientados segundo NNE-SSW, obedecendo ao arranjo linear imposto pela implantação de uma sucessão de zonas de cisalhamento de alto ângulo sobre as litologias do complexo.

Quando aparece próximo ao contato com os ortgnaisses do complexo Mantiqueira, a litologia aparece densamente afetada pelas zonas de cisalhamento, com caráter essencialmente milonítico, diferenciando um pouco sua litologia dos tipos que ocorrem em outras áreas.

6.1.1.3 Unidade C

Identificado como biotita-gnaisses miloníticos a blastomiloníticos. Aparecendo como duas faixas paralelas, a primeira e mais grossa estende-se de sudoeste para nordeste próximos aos flancos orientais das serras Velhas e dos Vieiras, a segunda e menor faixa aprece no extremo sul em relação a primeira.

Rochas leuco a mesocráticas, em geral esbranquiçadas, muitas vezes apresentando altas concentrações de quartzo. Anfibolitos aparecem esparsamente na forma de bandas, lentes ou corpos boudinados, cinza-escuros, finos e bem foliados.

Uma migmatização incipiente, pré a sintectônica em relação a transposição de baixo ângulo, responsável pelo bandamento/foliação gnáissica regional é observada localmente, sendo uma estrutura estromática.

6.1.1.4 Unidade D

Denominado de biotita-anfibolognaisses bandados a laminados, ocorre na faixa central do complexo Juiz de Fora. Predomino como biotita-hornblenda-gnaisse laminado a bandado, de granulação fina a média, com laminação fina de caráter milonítico, impressa em um bandamento mais espesso (centimétrico a métrico) de bandas máficas e félsicas.

6.1.1.5 Unidade E

Classificado como ortognaisses tonalito-trondhjemíticos, aprece em contato a leste com a Unidade Be a oeste com os ortognaisses do complexo Mantiqueira. Mantem em ambos os contatos uma relação de concordância estrutural, imposta pelo cisalhamento de baixo ângulo, de caráter regional.

São gnaisses leucocráticos, em geral conza-claros, estruturalmente muito homogêneos, miloníticos, de granulação fina a média, frequentemente apresenta magnetita associada aos máficos, biotita e em menor proporção anfibólio.

6.1.2 Complexo Mantiqueira

Na folha geológica de Ponte Nova, denomina-se complexo Mantiqueira as rochas de natureza comprovadamente ortoderivada, constituídas de ortognaisses granulito-tonalíticos com intercalação de anfibolito, além de pequenos corpos de rochas granulíticas, descobertas e definidas neste projeto. Separada em duas unidades, o Otognaisses granito-tonalíticos e o Granulito córrego Pedra Dourada, datada do proterozóico inferior.

6.1.2.1 Granulito córrego Pedra Dourada

Este corpo possui grande variações de rochas, variando de branco ou verde-escura. As rochas esverdeadas possuem granulação variando de fina a grossa, dependendo da intensidade do cisalhamento são laminadas ou até bandadas. A litologia apresenta deformações D1, D2 e D3 e fácies de metamorfismo granulito.

Constituem de feldspato esverdeado a cor de mel. Com blastos de piroxênio verde-escuros a cor bronze (bronzita). As porções brancas apresentam um bandamento, mais feldspáticas, contendo feldspato branco e faixas de cor róseo-escura, com granada em blastos alongados segundo a foliação milonítica. É comum a presença de quartzo azulado discoide.

No interior dessas faixas mais feldspática, ocorrem lentes de rochas gabróides a piroxênio dioríticas verde-escuras.

6.1.2.2 Otognaisses granito-tonalíticos

Corresponde a unidade de maior distribuição na folha. Aparecendo em toda a porção central da folha, limitando-se a sudeste com os metamorfitos de alto grau do

complexo Juiz de Fora. Esta litologia apresenta deformações D1, D2 e D3 e fácies de metamorfismo anfibolito.

Em sudoeste e na área central encontra-se limitada pelos paragnaisses da suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo, já porção setentrional, está ilhada e envolvida pela mesma suíte metamórfica. Na parte ocidental limita-se com a sequência metavulcanossedimentar do grupo Dom Silvério em linha quase N-S.

Na litologia estão incluídos (anfibólio)-biotita-granito gnáissicos, anfibolobiotita tonalito-gnáissicos miloníticos, leucocráticos, de granulação fina a média e estrutura laminada dominante, com alternância de níveis máficos e félsicos de espessura centimétrica. Ocorre também um bandamento mais espesso e ressaltado pelo maior enriquecimento de minerais máficos (biotita, anfibólio) ou félsicos (quartzo e feldspato). Essas rochas sofreram um forte cisalhamento, resultando em uma laminação/bandamentos.

6.1.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo

Esta denominação é utilizada para agrupar um conjunto de rochas dominantemente sedimentar, representado por (anfibólio)-biotita-gnaisse, anfibolitos, rochas calcissilicáticas, muscovita-quartzitos e muscovita-quartzoxistos, contendo injeções graníticas sintectônicas. Característica da fácies metamórfica anfibolito, datada do proterozóico inferior.

Separado em dois domínios, o meridional que aparece no extremo-sul da folha e um domínio bastante irregular na sua forma, deixando ilhadas porções do complexo Mantiqueira, principalmente ao longo do Rio Doce.

As rochas encontram-se em contato tectônico com os metavulcanossedimentares do grupo Dom Silvério e com os ortognaisses granito-tonalíticos do complexo Mantiqueira. As relações com os ortognaisses foram totalmente obliteradas pelas sucessivas fases deformacionais que atuaram na região.

Representado por um conjunto de gnaisses bandados a laminados, com frequentes intercalações de anfibólio e rocha calcissilicáticas. A foliação gnáissica é resultante de transposição por cisalhamento dúctil e é concordante com o bandamento. Esses gnaisses mostram-se geralmente milonitizados, próximos a zonas de contato tectônico com as unidades litológicas limítrofes, onde exibem laminação

milimétrica e até adquirem aspecto xistoso, com granulação bem mais fina, estiramento dos félsicos, com frequente discoides de quartzo, blastos de feldspato e/ou agregados quartzofeldspáticos, além do eventual aparecimento de granada e muscovita/sericita.

Injeções graníticas sintectônicas são frequentes nos gnaisses bandados dessa suíte, indo desde veio centimétricos concordantes a subconcordantes com a foliação/bandamento. Veios pegmatíticos de natureza pós-tectônica são observados, recortando os gnaisses bandados da unidade, compostos de feldspato, biotita, muscovita e turmalina.

6.1.4 Grupo Dom Silvério

Na folha Ponte Nova o grupo é definido como uma sequência de metamorfitos de médio a baixo grau, possuindo uma variedade gama de litotipos datados do proterozóico inferior, sendo dividida em três unidades: Unidade 1, Unidade 2 e Unidade 3.

É distribuído na porção oeste da folha de estudo, seguindo uma faixa estruturada de direção aproximadamente N-S, com inflexão NNE na porção setentrional da folha. Com fases de deformação D2 e D3 e fácies metamórfica xisto-verde a anfibolito.

O contato a oeste com os ortognaisses do complexo Mantiqueira ocorre através de uma zona de cisalhamento de alto ângulo, enquanto que a leste, fazem contato através do cisalhamento de médio a alto ângulo. Já o contato com os metamorfitos paraderivados da Suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo, são balizados por zonas de cisalhamento de baixo ângulo.

6.1.4.1 Unidade 1

Composto por biotita-anfibolitos, granada-biotita-muscovita-xistos, tremolittos e rochas calcissilicáticas.

Os anfibolitos são escuros, bem foliados, de granulação fina, muito raramente, são mais grossos. Compostos por anfibólio, biotita, feldspato e quartzo.

A rocha granada-biotita-xistos de granulação fina. Coloração cinza-clara é composto por mucovita, biotita, granada, quartzo e feldspato. As rochas calcissilicáticas estão restritas a pequenos corpos ovalados, centimétricos,

distribuídos em bandas anfibolíticas que não ultrapassam um metro de espessura, de coloração esverdeada e granulação fina, sendo composto por anfibólio, carbonato, mica, pouco quartzo e algum feldspato.

6.1.4.2 Unidade 2

Denominado pelas rochas, muscovita-biotita-xistos com ou sem granada, cianita, grafita, silimanita, muscovita-quartzitos e muscovita-quartzixistos, magnetita-quartzitos, rochas calcissilicáticas, gonditos, mármores, biotita-anfibolitos, formação ferrífera e biotit-gnaisses laminados.

Os xistos possuem granulação fina a média, coloração esbranquiçada dominante e cinza-prateada para o tipo grafitoso. A xistosidade é bem marcada com frequentes segregação de quartzo.

A associação de formações ferríferas com xistos granatíferos e xistos magnetíticos das amostras estudadas podem caracterizar uma sequência com afinidade vulcanogênica.

As rochas calcissilicáticas apresentam diferenças de acordo com a região em que aflora. No limite leste da unidade apresenta uma cor verde-clara e intercaladas com biotita-anfibólio, acompanhado sempre de quartzito. Já na região próxima ao rio Piranga apresenta uma coloração cinza-escura a preta, associadas, com xistos grafitosos e intercaladas com a granada-muscovita-biotita-xisto.

Os biotita-anfibólios constituem corpos lenticulares, de granulação fina, bem foliados e coloração cinza-escuro a cinza-esverdeado. Composto por anfibólio, biotita, feldspato, pouco quartzo e localmente carbonato.

6.1.4.3 Unidade 3

Identificado como muscovita-quartzito e muscovita quartzoxistos. A morfologia dessas rochas são morros pontiagudos, fortemente alinhados. Com vales profundos e encaixados. Geralmente as rochas se apresentam milonitizadas, de colocação esbranquiçada, granulação média e composta por quartzo, muscovita e feldspato caulinizado. Como minerais acessórios aprece a magnética e trumalinas. Nas zonas mais cisalhadas, são frequentes finos veios de quartzo cisalhado disposto concordantemente.

6.1.5 Rochas Metaígneas

Rochas de natureza ígnea, variando de termos básicos-ultrabásicos até ácidos, são relativamente frequentes na área da folha, predominando, em extensão, corpos ortoanfibolitos, originalmente gabros, se posicionando sintectonicamente em relação a foliação de transposição regional, de baixo ângulo, que afetou os gnaisses encaixantes.

Diferenciando em Ortoanfibolitos Santo Antônio do Grama, Granitóide Córrego do Cerca, Granitóide Morro Grande e Metaígneas de Rio Doce.

6.1.5.1 Ortoanfibolitos Santo Antônio do Grama

Aparece de forma alongada NNE-SSW a leste de Santo Antônio do Grama, dois corpos menores aparecem a sul de São Pedro dos Ferros. Estão em contato complexo Mantiqueira e com o Granitóide Córrego do Cerca, sendo em ambos estruturalmente concordantes, o contato com o complexo Mantiqueira em geral são aproximados, mas em dois corpos ao norte aparecem balizados por zonas de cisalhamento.

São classificados como ortoderivados, de cor cinza-escura, granulação média a eventualmente gorssa, bem foliados, quase sempre mostrando uma laminação fina, descontínua e irregular de níveis félsicos segregados.

Possuem textura granoblástica com junções tríplices imperfeitos e deformação intracristalina. Constituída por hornblenda verde, andesina e diopsídio, tendo como acessórios titanita, opacos, apatita e quartzo. Sendo o metamorfismo de fácies anfibolito

6.1.5.2 Granitóide Córrego do Cerca

Situa-se a oeste da serra dos Vieiras, possuindo uma forma alongada na direção N-S. Em contanto com o complexo Mantiqueira tanto ao norte quando ao sul, a oeste com o ortoanfibolito Santo Antônio do Grama e a leste com a Unidade E do complexo Juiz de Fora.

Aparece de coloração branca, granulação fina, homogêneo, bem foliado, constituído por quartzo, feldspato branco e biotita. A origem da foliação é em devido a ocorrência do cisalhamento dúctil, possui caráter sintectônico e normalmente se encontra semimeteorizado.

6.1.5.3 Granitóide Morro Grande

O corpo granítico possui cor esbranquiçada a rósea, granulação fina, tendo bordas cisalhadas, englobando porções calcissilicásticas do grupo Dom Silvério.

Constituído principalmente por quartzo, feldspato róseo e branco, minerais esverdeados (piroxênio, anfibólio e talvez epidoto), muscovita e magnetita. Possui pegmatitos com feldspato cor de cremee buchos de muscovita, além de quartzo, que se injetam nos xistos do Grupo Dom Silvério.

6.1.5.4 Metaígneas de Rio Doce

A relação dos corpos de natureza básica com os ortognaisses regionais do complexo Mantiqueira é me gera concordante, devido ao cisalhamento de baixo ângulo que obliterou as relações originais, dando foliações, originando corpos alongados, lentes estriccionadas e boudins. Os corpos de natureza granítica podem ser concordantes ou não, sendo afetados mais intensamente pelo cisalhamento.

Entre as metabásicas e rochas granitoides o contato é brusco, existem tanto metabásicas cortando rochas graníticas pegmatóides como rochas graníticas cortando ou migmatizando rochas metabásicas.

As rochas de natureza básica são representadas por corpos de anfibolito de anulação fina a média, com alguns tipos preservando a textura porfirítica original. São verde-escuros a pretos, as vezes foliados (L-S), lenticularizados pelo cisalhamento, boudinados ou mesmo migmatizados pelos granitos mais jovens.

Ocorrem piroxênio-anfibólios ou, ainda, anfibólios diabasóides, que se encaixam como sills em ortognaisses cisalhado em alto ângulo.

As rochas ortoderivadas ácidas são metagranitos pegmatóides esbranquiçados, com fenocristais de feldspato, além de quartzo. A deformação é variável, ocorrendo grandes porções não foliada. São discordantes dos anfibolitos, anfibolognaisses e ortognaisses regionais, tendo xenólitos destes.

6.1.6 Rochas Básicas não-deformadas: Gabros, Diabásios e Basalto

Ocorrem em pequenos corpos não mapeáveis na escala em que foi realizado o trabalho da Folha Ponte Nova. Aparecem em forma de diques ou sills, detectados

principalmente no ortognaisse do complexo Mantiqueira, ao longo dos rios Piranga e Doce. Datados do mesozoico.

Os gabros possuem granulação média, mais raramente grossa de cor verde-escuro. Os diabásios e basaltos são mais comuns, possuem cor verde-escura, geralmente bastante fraturados, são corpos mais expressivos e alguns deles se alinham segundo os faturamentos que controlam o curso do rio Piranga.

6.1.7 Depósitos Aluvionares

Possui grande expressão ao longo do rio Doce, possuindo espessuras métrica até 20 metros. Assentam-se invariavelmente, sobre os ortognaisses do complexo Mantiqueira, constituídos por cascalhos grosseiros, areias e níveis argilosos que, no conjunto, mostram estratificações.

Depósitos menos expressivos também foram observados no ribeirão dos Oratórios.

6.1.8 Coberturas detrito-lateríticas

Depósitos situados entre 420 m e 630 m de altitude. Ocupam pequenas áreas aplainadas, ocorrem de forma mais desenvolvida ao norte de Rio Doce, leste de São Sebastião do Soberbo, norte de Zito Soares e nas proximidades de Águas Férreas, concentrando-se quase que exclusivamente sobre a suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo.

Constituem superfícies mais ou menos planas com solo vermelho intenso, pouco espesso.

6.2 GEOLOGIA LOCAL

O presente capítulo foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Ponte Nova (SF.23-X-B-II) confeccionada pela (CPRM, 1991).

A área de estudo e seu entorno estão localizados inteiramente no Complexo Mantiqueira, Depósitos Aluvionares, suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo e Coberturas detrito-lateríticas.

6.2.1 Complexo Mantiqueira

Na área de estudo só aparece o Otognaisses granito-tonalíticos, datada do proterozóico inferior.

6.2.1.1 Otognaisses granito-tonalíticos

Na litologia estão incluídos (anfibólio)-biotita-granito gnáissicos, anfibolobiotita tonalito-gnáissicos miloníticos, leucocráticos, de granulação fina a média e estrutura laminada dominante, com alternância de níveis máficos e félsicos de espessura centimétrica. Ocorre também um bandamento mais espesso e ressaltado pelo maior enriquecimento de minerais máficos (biotita, anfibólio) ou félsicos (quartzo e feldspato). Essas rochas sofreram um forte cisalhamento, resultando em uma laminação/bandamentos.

O bandamento gnáissico pela homogeneização imposta as estruturas anteriores, gerando uma estrutura de alternância regular, porém descontínua, de níveis félsicos, predominantemente quartzofeldspático, com outros máficos, biotíticos e/ou anfibólios.

Mesoscopicamente, os principais constituintes dos ortognaisses são quartzo, feldspato (em geral branco), biotita e anfibólio. Ocorrem secundariamente, granada e magnetita, sendo variável o conteúdo de biotita e anfibólio.

Microscopicamente, observa-se uma série diversificada de gnaisse quartzofeldspáticos de composição granítica a tonalítica. Deformação variável desde fracamente cisalhados, protomiloníticos até milonitos e blastomilonitos.

6.2.2 Depósitos Aluvionares

Na área de estudo aprece os depósitos aluvioanres que possuem grande expressão ao longo do rio Doce, possuindo espessuras métrica até 20 metros. Assentam-se invariavelmente, sobre os ortognaisses do complexo Mantiqueira, constituídos por cascalhos grosseiros, areias e níveis argilosos que, no conjunto, mostram estratificações.

6.2.3 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo

Na área de estudo a suíte é representado por (anfibólio)-biotita-gnaisse, anfibolitos, rochas calcissilicáticas, muscovita-quartzitos e muscovita-quartzoxistos,

contendo injeções graníticas sintectônicas. Característica da fácies metamórfica anfibolito, datada do proterozóico inferior.

Representado por um conjunto de gnaisses bandados a laminados, com frequentes intercalações de anfibólio e rocha calcissilicáticas. A foliação gnáissica é resultante de transposição por cisalhamento dúctil e é concordante com o bandamento. Esses gnaisses mostram-se geralmente milonitizados, próximos a zonas de contato tectônico com as unidades litológicas limítrofes, onde exibem laminação milimétrica e até adquirem aspecto xistoso, com granulação bem mais fina, estiramento dos félsicos, com frequente discoides de quartzo, blastos de feldspato e/ou agregados quartzofeldspáticos, além do eventual aparecimento de granada e muscovita/sericita.

Injeções graníticas sintectônicas são frequentes nos gnaisses bandados dessa suíte, indo desde veio centimétricos concordantes a subconcordantes com a foliação/bandamento. Veios pegmatíticos de natureza pós-tectônica são observados, recortando os gnaisses bandados da unidade, compostos de feldspato, biotita, muscovita e turmalina.

Os gnaisses, microscopicamente, possuem textura granoblástica, bastante orientada, sendo constituído por quartzo xenomórfico recristalizado, alongado. O plagioclásio de composição oligoclásio a andesina estando levemente sericitizado ou argilizado. A biotita forma aglomerados orientados de anfibólio (actinolita e hornblenda). Como acessórios, ocorrem zircão, apatita, granada, clorita, epidoto e carbonato.

As rochas calcissilicáticas constituem bandas e níveis descontínuos com espessura desde poucos centímetros até 1 metro. Mesoscopicamente, soa rochas cinza-esverdeada, em geral foliadas, de granulação fina a média, compostas por anfibólio, piroxênio, epidoto, titanita, quartzo, pirita e pirrotita magnética. Já microscopicamente, possui textura granoblástica, sendo constituída por plagioclásio, anfibólio, biotita, flogopita, carbonato, epidoto e quartzo.

6.2.4 Coberturas detrito-lateríticas

No entorno da área de estudo em alguns pontos específicos aparece a cobertura detrito-lateríticas. Depósitos situados entre 420 m e 630 m de altitude. Ocupam pequenas áreas aplainadas.

Concentrando-se quase que exclusivamente sobre a suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo. Constituem superfícies mais ou menos planas com solo vermelho intenso, pouco espesso.

7 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS

Nos dias 02, 03 e 04 de outubro, a equipe da MDGEO realizou a etapa de cadastramento de pontos de ocorrências de água subterrânea (poços e cisternas) no distrito Córrego Preto, Esmeralda e Rochedo, do município de Rio Casca. A Tabela 7.1, Tabela 7.2 e Tabela 7.3 apresentam informações coletadas nos pontos, enquanto que a mostra a localização dos mesmos.

Tabela 7.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados.

ID	Data	Proprietário	Localização
PC_RC_01	02/10/2019	Ermelindo	Fazenda Esmeralda / Leonel
PC_RC_02	02/10/2019	João Marim	Fazenda Esmeralda / Córrego Preto
PC_RC_03	02/10/2019	João Bosco	Fazenda Esmeralda / Córrego Preto
PC_RC_04	02/10/2019	Claudio Ferreira	Fazenda Esmeralda / Córrego Preto
PC_RC_05	02/10/2019	Clayton Rocha Dias	Fazenda Esmeralda / Rochedo
PC_RC_06	02/10/2019	-	Fazenda Esmeralda / Rochedo
PC_RC_07	02/10/2019	Jacira das Dores	Fazenda Esmeralda / Leonel
PC_RC_08	02/10/2019	Deivison Soares	Fazenda Esmeralda / Leonel
PC_RC_09	02/10/2019	Geralda	Fazenda Esmeralda / Leonel
PC_RC_10	02/10/2019	Augostinho Antônio	Fazenda Esmeralda / Córrego Preto
PC_RC_11	02/10/2019	Evaldo de Souza	Fazenda Esmeralda / Córrego Preto
PC_RC_12	02/10/2019	Maria de Jesus Gonçalves	Fazenda Esmeralda / Leonel
PC_RC_13	03/10/2019	Fabio Rogerio	Fazenda Palmares / Córrego Preto
PC_RC_13B	03/10/2019	Fabio Rogerio	Fazenda Palmares / Córrego Preto
PC_RC_14	03/10/2019	Virginia Maria	Fazenda Esmeralda
PC_RC_15	03/10/2019	José Salgueiro	Fazenda Esmeralda / Rochedo
PC_RC_16	03/10/2019	Antônio Delfino	Fazenda Palmares / Córrego Preto
PC_RC_16B	03/10/2019	Antônio Delfino	Fazenda Palmares / Córrego Preto
PC_RC_17	04/10/2019	Maria Aparecida	Fazenda Esmeralda / Rochedo
PC_RC_18	04/10/2019	Sirlene Aparecida	Fazenda Esmeralda / Rochedo
PC_RC_19	04/10/2019	Eduardo Vieira	Fazenda Esmeralda / Rochedo
PC_RC_20	04/10/2019	josé Carlos Meilheres	Fazenda Esmeralda / Rochedo

Tabela 7.2: Dados dos pontos cadastrados (Datum WGS84).

ID	Coordenadas				Cota (m)	NA (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota NA (m)	Tipo de Poço	Diâmetro tubo (mm)
	X	Y	Lat.	Long.							
PC_RC_01	736079	7778076	-42,7425	-20,0799	289	1,04	1,40	0,00	287,96	Cisterna	800
PC_RC_02	735699	7778604	-42,7462	-20,0752	287	2,16	2,78	0,35	285,19	Cisterna	800
PC_RC_03	735883	7778456	-42,7444	-20,0765	288	0,89	2,93	0,00	287,11	Cisterna	1000
PC_RC_04	734921	7778825	-42,7536	-20,0733	289	0,05	-	0,00	288,95	Cisterna	1000

ID	Coordenadas				Cota (m)	NA (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota NA (m)	Tipo de Poço	Diâmetro tubo (mm)
	X	Y	Lat.	Long.							
PC_RC_05	734970	7776704	-42,7529	-20,0925	275	2,90	3,73	0,15	272,25	Cisterna	800
PC_RC_06	735213	7776490	-42,7505	-20,0944	285	-	-	-	-	Poço Tubular	150
PC_RC_07	736098	7778851	-42,7424	-20,0729	288	1,29	2,49	0,03	286,74	Cisterna	800
PC_RC_08	735995	7778835	-42,7434	-20,0731	284	1,34	2,57	0,03	282,69	Cisterna	800
PC_RC_09	736090	7778886	-42,7425	-20,0726	286	2,56	3,76	0,20	283,64	Cisterna	1200
PC_RC_10	736499	7780673	-42,7388	-20,0564	283	1,26	2,60	0,34	282,08	Cisterna	800
PC_RC_11	736515	7780675	-42,7386	-20,0564	283	1,43	2,75	0,00	281,57	Cisterna	1100
PC_RC_12	736238	7777978	-42,7409	-20,0808	285	seco	2,51	0,24	-	Cisterna	-
PC_RC_13	736579	7780868	-42,738	-20,0547	294	8,12	72,00	0,25	286,13	Poço Tubular	150
PC_RC_13B	736667	7780761	-42,7372	-20,0556	289	3,11	8,50	0,35	286,24	Poço Tubular	100
PC_RC_14	735892	7779994	-42,7445	-20,0626	285	1,37	2,75	0,41	284,04	Cisterna	1000
PC_RC_15	735273	7776533	-42,7500	-20,0940	289	1,29	2,06	0,26	287,97	Cisterna	800
PC_RC_16	736668	7780494	-42,7371	-20,0580	285	2,98	3,67	0,41	282,43	Cisterna	1200
PC_RC_16B	736685	7780497	-42,7370	-20,0580	285	seco	2,54	0,00	-	Cisterna	1200
PC_RC_17	735725	7776219	-42,7456	-20,0967	294	0,26	1,22	0,00	293,74	Cisterna	800
PC_RC_18	735732	7776235	-42,7455	-20,0966	295	0,1	1,22	0,00	294,90	Cisterna	800
PC_RC_19	734939	7776776	-42,7532	-20,0918	276	2,44	2,97	0,29	273,85	Cisterna	800
PC_RC_20	735118	7776641	-42,7515	-20,0930	280	2,27	2,51	0,05	277,78	Cisterna	1000

Tabela 7.3: Parâmetros físico-químicos medidos *in situ*.

ID	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	Bombeamento	Método de Coleta
PC_RC_01	26,2	5,43	19,5	21,4	24,6	Não	Bayler
PC_RC_02	86,1	5,75	17,4	25,0	24,2	Sim	Bomba
PC_RC_03	68,6	5,70	14,2	24,3	33,4	Sim	Bomba
PC_RC_04	54,6	5,39	14,5	25,3	40,8	Sim	Bomba
PC_RC_05	91,2	5,75	14,7	26,6	39,8	Sim	Bomba
PC_RC_06	406,0	7,32	13,1	25,9	42,9	Sim	Bomba
PC_RC_07	236,0	6,18	13,2	24,3	32,9	Sim	Bomba
PC_RC_08	399,0	6,82	16,7	23,9	31,3	Sim	Bayler
PC_RC_09	145,8	6,22	15,9	24,8	33,1	Sim	Bayler
PC_RC_10	67,4	5,90	14,8	27,8	36,1	Sim	Bomba
PC_RC_11	47,8	5,70	16,8	27,7	31,2	Sim	Bomba
PC_RC_12	-	-	-	-	-	Não	-
PC_RC_13	122,9	6,67	15,6	26,8	28,7	Não	Bomba
PC_RC_13B	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_RC_14	60,2	5,60	15,3	31,4	30,3	Sim	Bomba
PC_RC_15	145,7	6,24	17,2	23,3	27,8	Sim	Bomba
PC_RC_16	152,9	6,05	14,0	26,7	28,7	Sim	Bomba

ID	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	Bombeamento	Método de Coleta
PC_RC_16B	-	-	-	-	-	Não	-
PC_RC_17	86,3	6,27	17,6	24,8	30,0	Sim	Bomba
PC_RC_18	83,7	6,01	17,1	24,6	30,0	Sim	Bomba
PC_RC_19	61,6	5,78	18,0	25,6	28,1	Sim	Bomba
PC_RC_20	180,4	6,30	17,0	23,8	30,6	Não	Bayler

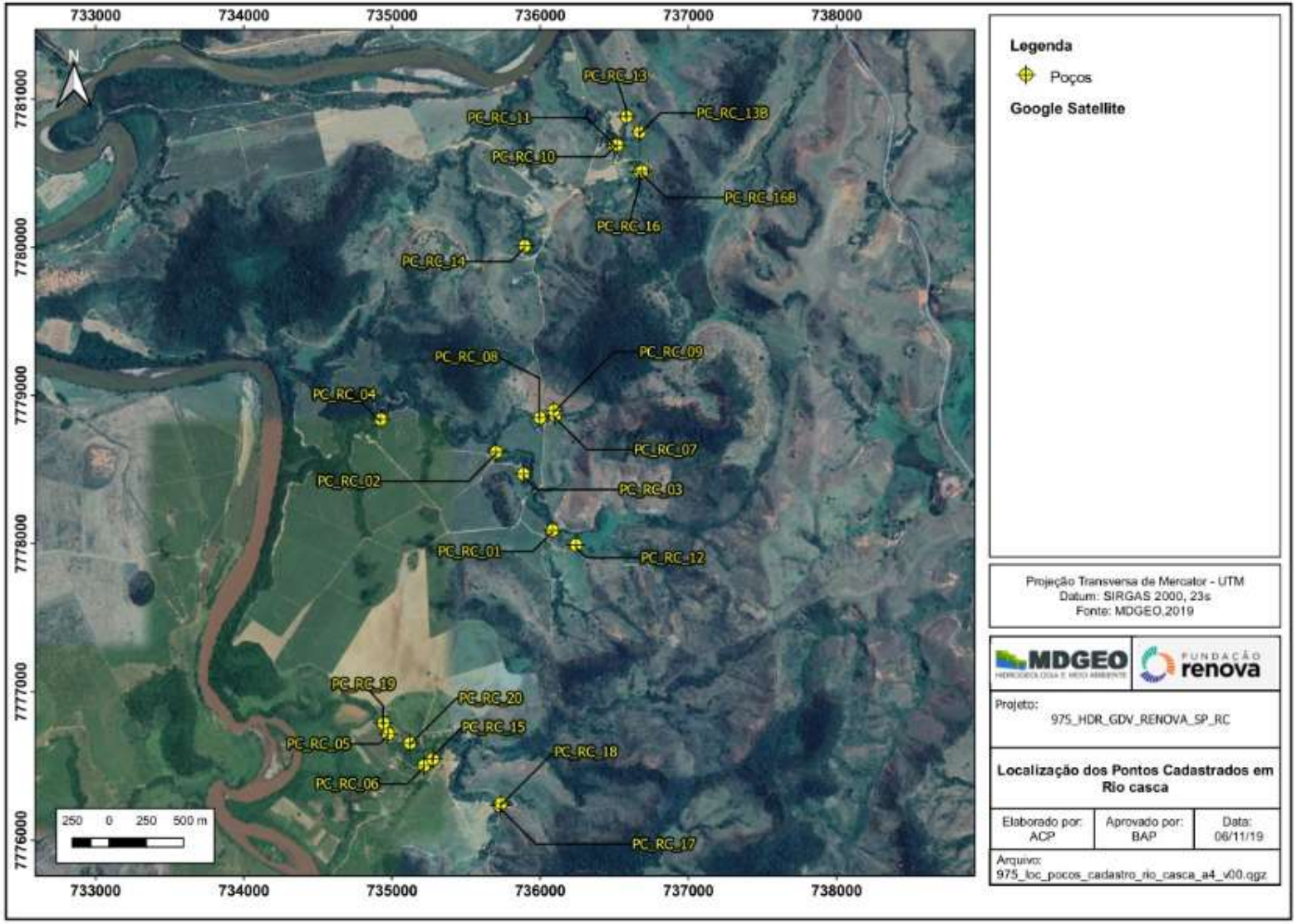


Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados.

8 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

8.1 CONCEITOS

A seguir será apresentada uma descrição conceitual sobre tipos de aquíferos e como as rochas descritas para a região de estudo se comportam quanto ao seu potencial para o armazenamento e a circulação da água subterrânea.

Aquífero

Um aquífero é toda formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a explotação desta em quantidades economicamente viáveis. Esse conceito está relacionado à demanda de água local, sendo que um aquífero considerado pobre em uma região pode ser considerado como um aquífero de boa qualidade em outra.

A água contida em uma formação geológica qualquer pode ocupar tanto os vazios intergranulares quanto espaços vazios relacionados com falhas, fraturas e estruturas de dissolução/carstificação.

A seguir são apresentadas as classificações de aquíferos em relação ao tipo de porosidade e em relação ao confinamento:

Classificação em relação à porosidade: entende-se por porosidade granular ou primária os vazios formados entre os grãos da rocha, e por porosidade secundária ou fissural, aquela formada por descontinuidades da rocha, que possibilitam o armazenamento e a circulação de água subterrânea. Assim sendo, empregam-se as denominações de aquíferos com granular poroso (ou primária) e porosidade fissural (ou secundária). Existem também os aquíferos cársticos, normalmente caracterizados por redes de condutos subterrâneos formados pela dissolução de rochas, principalmente carbonáticas, e que também apresentam porosidade secundária.

Classificação em relação ao confinamento: aquíferos livres são aqueles no qual há uma superfície livre de água (em contato direto com o ar), ou seja, sob pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a água contida em seu interior está submetida a certa pressão, superior a atmosférica, e ocupa a totalidade dos poros e vazios da formação, saturando-a totalmente. Uma variação dos aquíferos confinados são os aquíferos denominados semiconfinados, no qual a camada superior ou inferior que os confine não seja totalmente

impermeável, mas semipermeável (vide definições adiante). Ou seja, um material que permita a circulação vertical da água, muito lenta, que alimente um aquífero a partir de outro situado acima ou abaixo.

8.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para o entendimento da dinâmica hidrogeológica local é necessário realizar a compartimentação dos sistemas hidrogeológicos de fluxo. A princípio, de acordo com os pontos inventariados é possível delimitar um único sistema hidrogeológico, o Sistema Aquífero Cristalino.

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) é composto por dois subsistemas aquíferos. O primeiro é caracterizado por apresentar porosidade primária, ou seja, originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidado, originados do intemperismo das rochas gnáissicas do Complexo Mantiqueira ou das rochas da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo (manto de intemperismo) e dos sedimentos depositados pelo Rio Doce nas épocas de cheia, esse sistema pode chegar até 20 metros de espessura e funciona como um reservatório e filtro para o aquífero fraturado subjacente.

O segundo e principal subsistema é o aquífero fraturado, caracterizado por apresentar porosidade secundária, ou seja, originada posteriormente à formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas das rochas gnáissicas sãs do Complexo Mantiqueira ou da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo. Esse aquífero se estende desde cerca de 10 metros de profundidade até elevadas profundidades. Classifica-se ainda como um aquífero bastante heterogêneo não mantendo uma homogeneidade de propriedade, indicando a ocorrência de água subterrânea apenas onde as descontinuidades se fazem persistentes.

Em relação a classificação, o SAC e se enquadra como um sistema aquíferos livre, uma vez que o mesmo está submetido apenas a pressão atmosférica.

8.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Com base nas cotas do nível d’água dos pontos d’água subterrâneos cadastrados na área foi possível elaborar um mapa potenciométrico preliminar. Com os dados sobre o nível d’água conseguiu interpretar linhas equipotenciais com valores variando de 293 a 274 (que representam posições de igual cota do nível d’água).

Para calcular a cota do nível d'água, primeiramente soma-se a altura do tubo de boca (medido com trena) à cota do local obtida por meio do GPS, então subtrai-se do resultado da soma o valor do nível d'água (medido com o medidor de nível portátil) conforme equação a seguir.

$$cna = cp + atb - na$$

Cna = cota do nível d'água (m)

Cp = cota topográfica do ponto (m)

Atb = altura do tubo de boca (m)

Na = profundidade do nível d'água (m)

A Figura 8.1 apresenta o mapa potenciométrico calculado para a região a partir de níveis d'água estáticos. Analisando a mesma, a linha equipotencial de maior cota é a de 293 metros e a menor de 274 metros. Na área de estudo é possível observar duas caracterizações distintas, separadas por uma região de relevo mais elevada.

Na região ao norte da área, é observado as maiores cotas nas porções mais a sul e sudeste (cota de nível d'água de 286 metros), que vão diminuindo à medida que se aproxima da calha do Rio Doce que está na cota de 272 metros, indicando que o fluxo de água subterrânea natural vai do aquífero para o Rio Doce.

Já na região mais central e sul, as linhas equipotenciais apresentam as cotas mais elevadas a leste (cota do nível d'água de 293 metros) e vão diminuindo à medida que se aproxima da calha do rio que está na cota de 274, indicando um fluxo de água para oeste. Exceto em dois locais específicos que o fluxo se comporta de maneira radial e seguindo o fluxo normal para oeste, indicando que o fluxo de água subterrânea natural vai do aquífero para o Rio Doce.

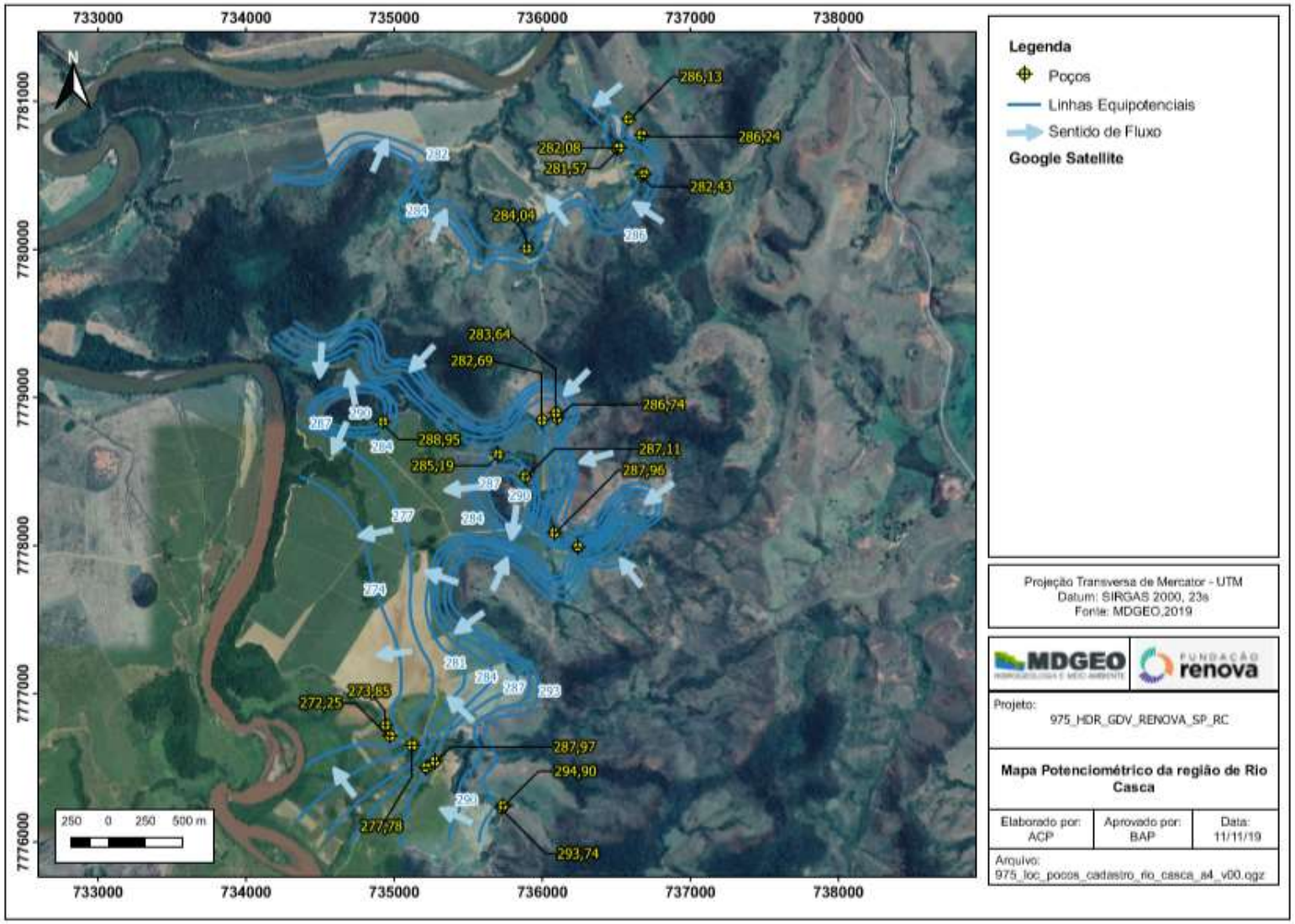


Figura 8.1: Mapa potenciométrico, com cota do <u>nível estático</u> dos poços, da região de Rio Casca.

9 CONCLUSÕES

Com o cadastro dos pontos de captação de água nas propriedades localizadas nos distritos Córrego Preto, Rochedo e Esmeralda, foram cadastrados 22 poços, sendo 19 cisternas e 3 poços.

Em termos hidrogeológicos o único sistema aquífero existente é o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) que se divide em dois subsistemas aquíferos, o mais superficial caracterizado por apresentar porosidade primaria originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidados, originados do intemperismo das rochas gnáissicas do Complexo Mantiqueira ou das rochas da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo (manto de intemperismo). E o mais profundo, espesso mais e importante caracterizado por apresentar porosidade secundária, originada posteriormente a formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas das rochas gnáissicas do Complexo Mantiqueira e das rochas da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo.

Com os dados das cotas do nível d'água dos pontos subterrâneos foi possível estabelecer que as linhas equipotenciais têm menores valores mais próximos a calha do Rio Doce, indicando fluxo em sua direção. Os resultados obtidos permitem determinar que na área de estudo o Rio Doce se comporta como um rio efluente, ou seja, o fluxo de água do rio é mantido devido a água cedida pelo aquífero. Logo pode-se concluir que a água que os poços captam não está vindo do Rio Doce e sim do aquífero que existe na região.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. (2010). *Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste*. Fonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx

Ab'Saber, A. N. (1972). Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro: Considerações finais, conclusão. *Geomorfologia*, 28:01-38.

CBHRP. (2013). *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga*. Fonte: http://www.cbhpiranga.org.br/a-bacia

CPRM. (1991). *Itanhomi Ponte Nova SF.23-X-B-II Estado de Mnas Gerais Escala 1:100000.* Brasília.

CUSTODIO, E., & LLAMAS, M. R. (1976). *HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA* (2 ed.). BARCELONA, ESPANHA: OMEGA.

FEITOSA, F. (Ed.). (2008). *HIDROGEOLOGIA: CONCEITOS E APLICAÇÕES* (3a ed.). RIO DE JANEIRO, BRASIL: CPRM: LABHID.

FUGRO; SAMARCO. (2018). *MAPEAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE - BACIAS B1 E B2 DA FAZENDA FLORESTA.* 73p: FRN-01-GFS-GRE-01.

FUNDAÇÃO RENOVA. (17 de maio de 2017). Fonte: Site da Fundação Renova: http://www.fundacaorenova.org/a-fundacao/

IBGE. (2006). MAPA DE UNIDADES DE RELEVO DO BRASIL. *MAPA DE UNIDADES DE RELEVO DO BRASIL - ESCALA 1: 5 000 000*. RIO DE JANEIRO: 2. ed.

IBIO, & CBH - PIRANGA/MG. (2016). PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO --RIO CASCA/MG. RIO CASCA, Minas Gerais, Brasil.

IGAM, & PIRH BACIA DO RIO DOCE. (Maio de 2010). PLANO DE AÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PIRANGA PARH PIRANGA. Minas Gerais, Brasil.

IICA, I. I. (Ed.). (2009). *MANUAL DE APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIO TÉCNICOS, PRODUTOS E CONSULTORIA* (1a ed.).

INPE, I. N. (2015). *Índice de Desenvolvimento de Eduação Básica.* Brasília: IDBE.

MDGEO. (2017). *Relatório dos estudos hidrogeológicos na região da Fazenda Floresta. "Compilação de dados". Rio Doce - MG.* Belo Horizonte.

MDGEO; SAMARCO. (2018b). *PRAD GEOTECNICO - MODELO HIDROGEOLOGICO.*

Pereira, B., Cordeiro, V., & Filippo, M. d. (2012). *Modelo Relatório MDGEO.* MDGEO, Belo Horizonte.

SBICS. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* Brasília: Embrapa.

UNIVERSIADE FEDERAL DE VIÇOSA, FUNDAÇÃO DENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, & FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. (2010). Mapa de solos do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais: Fundação Esadual do Meio Ambiente.

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via do Profissional

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005634858
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE SEM PEIXE E RIO CASCA.
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima
Belo Horizonte, 01 de novembro de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **31/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005436926**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via da Obra/Serviço

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005634858
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE SEM PEIXE E RIO CASCA.
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima
Belo Horizonte, 01 de novembro de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **31/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005436926**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via do Contratante

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005634858
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE INTERAÇÃO RIO AQUÍFERO NA REGIÃO DOS MUNICÍPIOS DE SEM PEIXE E RIO CASCA.
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima
Belo Horizonte, 01 de novembro de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **31/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005436926**

ANEXO II – MODELO DO TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO DA FUNDAÇÃO RENOVA

ANEXO III – FICHAS DE CAMPO

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

RELATÓRIO D

FUNDAÇÃO renova

reparar, restaurar, reconstruir

RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO 1 DE SÃO TOMÉ (TUMIRITINGA/MG)

INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR PROCESO Nº 2148/2018

AGOSTO DE 2019

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Título do Projeto:	RELATÓRIO DE ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA RIO - AQUIÍFERO NO POÇO 1 – TUMIRITINGA INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR PROCESO Nº 2148/2018
Contrato:	4800015316
Vigência Contrato:	26/03/2018
Centro de Custo:	904/OS-02
Local:	Tumiritinga/MG

DADOS DA CONTRATANTE

Contratante:	FUNDAÇÃO RENOVA
CNPJ:	25.135.507/0001-8
Endereço:	Avenida Getúlio Vargas, 671, Sala 400, 4º Andar, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.112-021
Gestor do Contrato:	Euzimar Augusto da Rocha Rosado
Contato:	31-3557-6084
Fiscal projeto:	Nicoly Silva Rocha
Contato fiscal:	nicoly.rocha@fundacaorenova.org / (27) 99808-1433

RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

Razão Social:	MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.
CNPJ:	38.625.927/0001-90
Responsável Técnico:	Antônio Carlos Bertachini
Contato:	Rua Gararu, 389, Sagrada Família 31.035-470 – Belo Horizonte – MG Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602 Fax: (+55) 31-3481-8911 mdgeo@mdgeo.com.br
Anotação de Resp. Técnica – ART:	5001235 – Breno Pereira – Resp. Téc. – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D 5467657 – Breno Pereira – Resp. Téc – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Antônio Carlos Bertachini (ABT) – Geólogo, Msc. CREA SP 70902/D	Consultor em Hidrogeologia	Consultor em Hidrogeologia Responsabilidade técnica
Breno Alexandre Pereira (BAP) – Eng. Geo. CREA MG 81028/D	Hidrogeólogo sênior	Responsabilidade técnica Gerente do Projeto
Antonio Carlos Pedrosa Júnior (ACP) Eng. Geo.	Analista de Hidrogeologia	Aquisição de dados em campo (1ª etapa) Confecção de relatório técnico
Ramirys Lima dos Santos (RLS) Graduando em Geologia	Auxiliar de Campo	Aquisição de dados em campo (1ª etapa) Apoio no Relatório
Arthur Carvalho Pimentel (ACP)	Analista de Hidrogeologia	Aquisição de dados em campo (2ª etapa) Confecção de relatório técnico
Luciano de Jesus	Auxiliar de Campo	Aquisição de dados em campo (2ª etapa)
Laynara Pires de Sá (LPS) Graduanda em Geologia	Estagiária Hidrogeologia	Compilação de Dados Apoio no Relatório

REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROVAÇÃO	FINALIDADE
V00	29/05/19	APJ/LPS/RLS		No prelo
V01	30/07/19	ACP/BAP		Elaboração de relatório
V02	06/08/19	MDGEO	Interna	Versão preliminar enviar para análise do cliente
R01	20/08/19	MDGEO	RENOVA	Versão final

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6

2 OBJETIVO 8

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO 9

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO 10

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS 10
4.2 TRABALHO DE CAMPO 10
4.2.1 Acompanhamento das Atividades da HIDROPOÇOS Ltda 10
4.2.2 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea 11
4.2.2.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo 12
4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO 13

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA 14

5.1 CLIMA 14
5.2 VEGETAÇÃO 17
5.3 PEDOLOGIA 17
5.4 REDE HIDROGRÁFICA 18
5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 19

6 GEOLOGIA 21

6.1 GEOLOGIA REGIONAL 21
6.1.1 Domínio Mantiqueira 22
6.1.2 Domínio Pocrane 22
6.1.3 Domínio Juiz de Fora 22
6.1.4 Domínio Galiléia/Rio Doce 23
6.1.4.1 Grupo Rio Doce 23
6.1.4.2 Magmatismo sintectônico 24
6.1.4.3 Suíte Intrusiva Galiléia (G1): 24
6.1.4.4 Suíte Intrusiva Urucum 25
6.1.5 Terraços Aluvionares 25
6.2 GEOLOGIA LOCAL 25
6.2.1 Formação Tumiritinga 26
6.2.2 Formação São Tomé 26
6.2.3 Tonalito Galiléia 27
6.2.4 Terraços Aluvionares 27

7 ACOMPANHAMENTO DE ATIVIDADES DA HIDROPOÇOS 28

8 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS 34

8.1 POÇO 1 – SÃO TOMÉ DO RIO DOCE 37
8.2 PONTO 01 (STRD) 38
8.3 PONTO 02 (SRTD) 40
8.4 PONTO 03 (SRTD) 42
8.5 PONTO 04 (STRD) 43

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL 45

9.1 CONCEITOS 45
9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 46
9.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA 46

10 CONCLUSÕES 50

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Localização da área de estudo. 9
Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA em Tumiritinga. 14
Figura 5.2: Precipitação média, máxima e mínima mensal –Estação Tumiritina (1841011). 16
Figura 5.3: Pluviometria total anual. 16
Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste. 19
Figura 6.1: Mapa geotectônico da região leste, mostrando os domínios presentes na área de trabalho. 21
Figura 7.1: Bomba com coloração escura. 29
Figura 7.2: Poço 1 depois de cortar parte do tubo de boca. 29
Figura 7.3: Compressor ligado com toda a potência de modo a fazer a limpeza do poço. 29
Figura 7.4: Água amarelada no começo da limpeza. 29
Figura 7.5: Colocação do medidor de nível para a realização das medidas ao longo do teste. 29
Figura 7.6: Enchimento do tambor de 200 litros, para a realização da medida de vazão do poço. 29
Figura 7.7: Inicio da filmagem do poço. 33
Figura 7.8: Colocação da nova bomba no poço. 33
Figura 7.9: Tubo soldado. 33
Figura 7.10: Estrutura montada, pronto para o retorno do bombeamento. 33
Figura 8.1: Localização dos pontos cadastrados. 36
Figura 8.2: Poço 1 – São Tomé do Rio Doce. 37
Figura 8.3: ETA onde ocorre o tratamento da água bombeada do poço. 37
Figura 8.4: Medição do nível d'água do Poço 1. 38
Figura 8.5: Coleta de água do poço com o Bayler. 38
Figura 8.6: Água sendo colocada na caneca inox. 38
Figura 8.7: Medição dos parâmetros físico-químicos in situ. 38
Figura 8.8: Medição do N.A. no ponto 01. 40
Figura 8.9: Coleta de água com bayler. 40
Figura 8.10: Água sendo colocada na caneca inox. 40
Figura 8.11: Medição dos parâmetros in situ. 40
Figura 8.12: Medição do N.A. do poço. 41
Figura 8.13: Medição do N.A. da cisterna. 41
Figura 8.14: Coleta de água na cisterna. 42
Figura 815: Medição dos parâmetros físico-químicos in situ. 42
Figura 8.16: Cisterna do Ponto 03. 43
Figura 8.17: Medição do N.A. doa cisterna. 43
Figura 8.18: Coleta de água na cisterna. 43
Figura 8.19: Medição dos parâmetros in situ. 43
Figura 8.20: Poço com parte cimentada. 44
Figura 8.21: Coleta de água. 44
Figura 8.22: Medição dos parâmetros. 44
Figura 8.23: Presença de areia na água. 44
Figura 9.1 Mapa potenciométrico da região próxima ao Poço 1 – São Tomé do Rio Doce analisando o nível estático (NA). 48
Figura 9.2: Mapa potenciométrico da região próxima ao Poço 1 – São Tomé do Rio Doce analisando o nível dinâmico (ND). 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA em Tumiritinga (1841011). 15
Tabela 7.1: Dados coletados durante o teste de bombeamento. 30
Tabela 7.2: Variação dos valores do nível d'água com o passar do tempo. 31
Tabela 8.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados. 34
Tabela 8.2: Dados dos pontos cadastrados. 34
Tabela 8.3: Parâmetros medidos in situ dos pontos cadastrados. 34
Tabela 8.4: Dados coletados no cadastro do poço 1. 37
Tabela 8.5: Dados coletados no cadastro do ponto 1. 39

Tabela 8.6: Dados coletados no cadastro do ponto 2 poço tubular..... 40
Tabela 8.7: Dados coletados no cadastro do ponto 2 cisterna..... 41
Tabela 8.8: Dados coletados no cadastro do ponto 3. 42
Tabela 8.9: Dados coletados no cadastro do ponto 4. 43

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
ANEXO II – MODELO DO TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO DA FUNDAÇÃO RENOVA
ANEXO III – FICHAS DE CAMPO
ANEXO IV – DADOS DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO REALIZADOS PELA EMPRESA HIDROPOÇOS NO POÇO 1

1 INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, em decorrência do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão, nas dependências do Complexo Germano em Mariana - MG, de responsabilidade da SAMARCO MINERAÇÃO, ocorreu o deslizamento de cerca de 40 milhões de m³ de rejeitos do processo de beneficiamento do minério de ferro sobre o Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio do Carmo, o qual dá origem ao Rio Doce a partir do seu encontro com o Rio Piranga.

No dia 02 de março de 2016 foi assinado o Termo de Transação e de Ajuste de Conduta para estabelecer diretrizes a serem tomadas em função do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão. Na Cláusula 171, da Subseção IV.2 (Programa de melhoria dos sistemas de abastecimento de água, englobando as seguintes medidas de cunho reparatório e compensatório) ficou acordado que:

> **CLÁUSULA 171:** Nos municípios que tiveram localidades cuja operação do sistema de abastecimento público ficou inviabilizada temporariamente como decorrência do EVENTO, a FUNDAÇÃO deverá construir sistemas alternativos de captação e adução e melhoria das estações de tratamento de água para todas para as referidas localidades desses municípios que captam diretamente da calha do Rio Doce, utilizando a tecnologia apropriada, visando reduzir em 30% (trinta por cento) a dependência de abastecimento direto naquele rio, em relação aos níveis anteriores ao EVENTO, como medida reparatória.
>
> **PARÁGRAFO PRIMEIRO:** Este programa incluirá os levantamentos de campo, estudos de concepção e projetos básicos, que deverão ser desenvolvidos em 2 (dois) anos, a contar da data da assinatura deste Acordo. A partir destas atividades, as obras necessárias deverão ser concluídas num prazo de 3 (três) anos.
>
> **PARÁGRAFO SEGUNDO:** Considera-se que a operação do sistema de abastecimento público ficou inviabilizada temporariamente nas sedes dos seguintes Municípios: (i) Alpercata; (ii) Gov. Valadares; (iii) Tumiritinga; (iv) Galiléia; (v) Resplendor; (vi) Itueta; (vii) Baixo Guandu; (viii) Colatina; e (ix) Linhares.

Como estabelecido no TTAC a Fundação Renova[1] ficou incumbida de construir sistema alternativo de captação, adução e melhoria das estações de tratamento, visando reduzir em 30% (trinta por cento) a dependência de abastecimento direto naquele rio, em relação aos níveis anteriores ao rompimento no município de Tumiritinga.

Para realizar a captação no Poço 1 da comunidade de São Tomé do Rio Doce, distrito de Tumiritinga, a referida instituição precisa primeiramente de conseguir a outorga do mesmo. Durante o processo de requerimento de outorga do poço (Processo n° 2148/2018) foi solicitado pelo órgão responsável um estudo de interferência rio-aquífero como Informação Complementar para a liberação da captação de água no poço.

Para realização de tal estudo a Fundação Renova contratou a MDGEO (PEDIDO Nº 4800015316). Os trabalhos realizados na região de São Tomé do Rio Doce procuraram entender a dinâmica de fluxo da água subterrânea na área próxima ao Poço 1, e como resultado pretende-se definir como é a relação de interferência Rio-Aquífero na área do poço.

Os estudos aqui apresentados incluem inicialmente o cadastramento do Poço 1 (localização, profundidade, nível d'água (N.A) e nível dinâmico (N.D)) além do acompanhamento das atividades realizadas pela empresa HIDROPOÇOS Ltda (limpeza, teste de bombeamento e filmagem) no referido poço.

Foi ainda feito o levantamento de informação sobre os pontos d'água existentes na área (poços e cisternas). Compilação de informações referentes a geologia, hidrogeologia, geomorfologia, além de outras informações fornecidas pela Fundação Renova são apresentados neste relatório.

[1] A Fundação Renova foi a entidade criada a fim de gerenciar os recursos destinados a mitigar os impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Sua missão é implementar e gerir os programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem, previstos no Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado pelo SAMARCO com o Governo Federal, os estados de Minas Gerais e Espirito Santo e diversos outros órgão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017).

2 OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo realizar a caracterização da dinâmica do fluxo da água subterrânea na região próxima ao Poço 1 de São Tomé do Rio Doce a fim de cumprir os requisitos pedidos na Informação Complementar - Processo n° 2148/2018, necessária para a liberação da outorga do referido poço (estudo rio-aquífero).

Entender como se dá a dinâmica de recarga e descarga entre o aquífero e o Rio Doce é a principal preocupação do presente trabalho.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO

O Poço 1 e a área de entorno localizam-se no distrito de São Tomé do Rio Doce, pertencente ao município de Tumiritinga, que se encontra na porção leste do estado de Minas Gerais, a aproximadamente 390 km de Belo Horizonte.

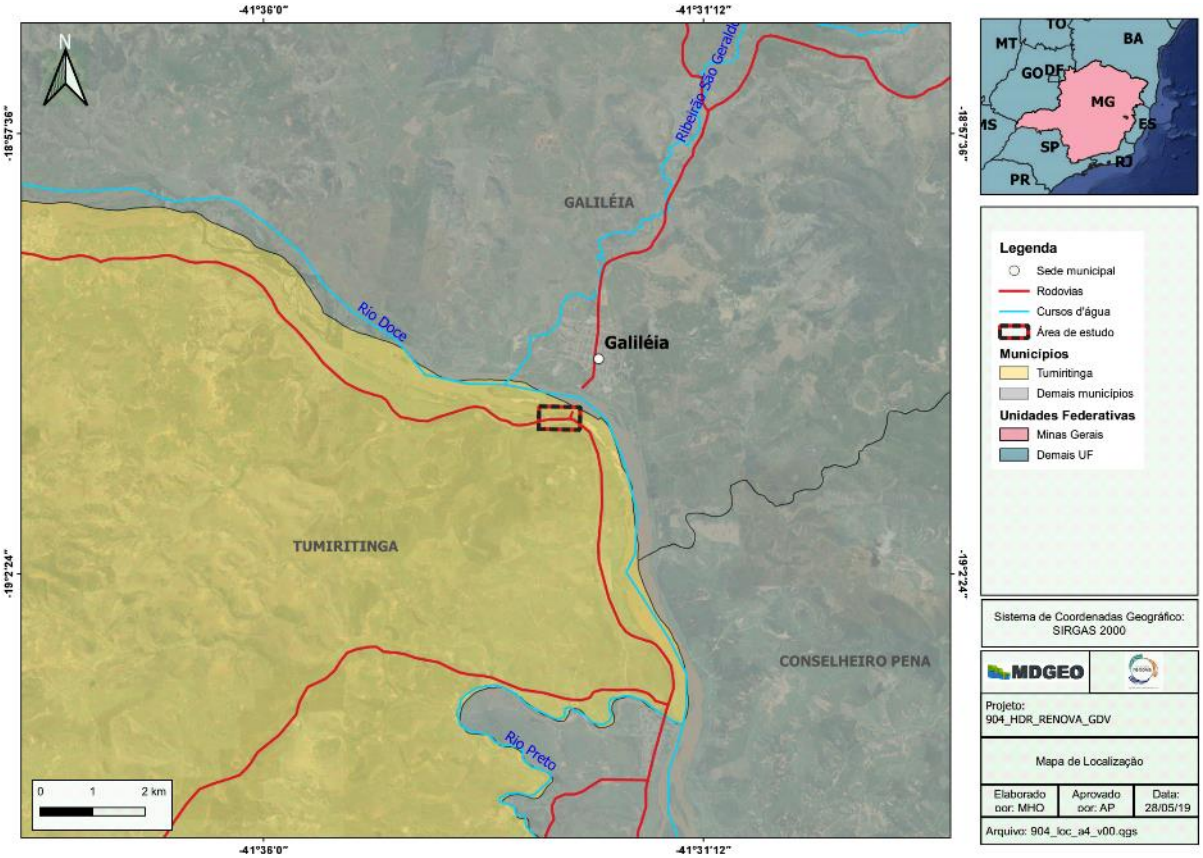


Figura 3.1: Localização da área de estudo.

O acesso mais rápido partindo de Belo Horizonte é realizado pela BR-381, seguindo até o trevo de Governador Valadares, então toma-se a Avenida Euzébio Cabral e posteriormente a Avenida JK até o encontro com a Rodovia Santos Dumont (Rio-Bahia). Seguindo pela Rodovia Santos Dumont e posteriormente pela LMG-766 até a comunidade de São Geraldo de Tumiritinga, de onde pega-se estrada (não identificada) até o município de Tumiritinga. Por sua vez a comunidade de São Tomé do Rio Doce situa-se a 13 km de Tumiritinga e o acesso se dá através de estrada vicinal (paralela a Ferrovia Vitória-Minas).

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO

A seguir são descritas as atividades realizadas no projeto.

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS

Inicialmente foi realizada a compilação de dados da área de estudo. Nesta etapa reuniram-se todas as informações existentes relacionadas à cartografia, geologia, hidrografia e hidrogeologia da região. Bem como informações existentes sobre o poço a ser outorgado.

4.2 TRABALHO DE CAMPO

De posse das informações da etapa anterior, a equipe da MDGEO composta pelos profissionais Antonio Carlos Pedrosa Júnior (Analista de Hidrogeologia) e Ramirys Lima dos Santos (Auxiliar de Campo) foram para a localidade de São Tomé do Rio Doce realizar a coleta de informações no campo.

4.2.1 Acompanhamento das Atividades da HIDROPOÇOS Ltda

Entre os dias 07 e 10 de maio de 2019, a equipe acompanhou as atividades da empresa HIDROPOÇOS Ltda no Poço 1, a seguir será apresentado de forma simplificada os trabalhos que foram acompanhados.

- Dia 07/05/2019 foi realizada o desligamento da bomba (responsável pelo abastecimento da comunidade) por volta de 06:00, posteriormente a equipe da empresa supracitada realizou a retirada da bomba e colocação dos produtos usados para a limpeza do poço.
- Dia 08/05/2019 foi realizada a limpeza do Poço 1.
- Dia 09/05/2019 foi iniciado o Teste de Bombeamento de 24 horas, o teste iniciou-se as 08:00.
- Dia 10/05/2019 foi finalizado o teste de bombeamento de 24 horas, por volta de 11:00 iniciou-se a filmagem do poço em questão e pôr fim a colocação da nova bomba e remontagem da estrutura do poço.

4.2.2

4.2.3 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea

Nos dias 08 e 09 de maio a equipe realizou cadastramento dos pontos de água subterrânea no entorno do Poço 1, no total foram cadastrados 4 pontos. Desses dois são cisternas e dois são poços, portanto, destaca-se que em um dos poços não foi possível medir o nível d'água.

O cadastro desses pontos se deu a partir de idas as residências, as quais tinham informação sobre a existência de poços ou cisternas. Em todas as propriedades visitadas primeiramente chamava-se a pessoa que estava na propriedade (proprietário, inquilino, caseiro, funcionário, etc), apresentava-se como funcionários da MDGEO que estavam fazendo um estudo na região a mando da Fundação Renova, o qual contemplava o cadastro e a medição do N.A. do poço da propriedade, então pedia-se a autorização para a realização de tais trabalhos. A atividade só era iniciada após o proprietário assinar o Termo de Autorização de Intervenção, autorizando a realização. As autorizações são apresentadas no ANEXO II - AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DOS TRABALHOFICHAS DE CAMPO.

Durante a apresentação, eram feitas as seguintes perguntas a pessoa que nos atendeu:

- Nome, telefone de contato e, posteriormente à autorização,
- Número de usuários do poço,
- Tipo e quantidade de criação (galinhas, bovinos, suínos, etc), se fosse o caso,
- Quantidade de poços existentes na propriedade,
- Aspectos construtivos como profundidade do poço, diâmetro do poço, material atravessado durante a perfuração do poço, tipo de tubo,
- Aspectos sobre a qualidade da água, como cor, odor, etc.

Após a liberação para realização da atividade e questionário respondido pelo proprietário, pedia-se para ir até o(s) poço(s) ou pontos d'água, nos quais eram feitas as medidas diretas de:

- Coordenadas com GPS de campo,
- Profundidade do nível d'água,
- Profundidade do poço.

Por fim, pedia-se para ligar a bomba, com o intuito de medir a vazão de bombeamento do poço (inferida) e a obtenção de amostra d'água para a realização da medição dos parâmetros *in situ*:

- pH,
- Eh (mV),
- Condutividade elétrica (µS/cm) e,
- Temperaturas da água e do ar (°C).

Também foram devidamente fotografados, complementando assim as informações pedidas nas fichas de cadastramento da MDGEO e consequentemente a base de dados. As fichas de cadastramento são apresentadas no ANEXO III – FICHAS DE CAMPO.

4.2.3.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo

A ida a campo foi feita com uma camionete Hilux, placa QQE-3257 da marca Toyota mobilizada pela Fundação Renova. Todos os pontos foram locados com GPS da marca GARMIM MAP modelo 76 Csx, utilizando o datum WGS84 como convenção.

As medições dos parâmetros foram realizadas através do medidor multiparâmetro portátil HQ40D da marca HACH e do medidor de pH resistente à água Combo pH/Eh/Temperatura da marca Hanna, que eram calibrados todos os dias antes do início do campo.

O nível d'água era obtido por meio de um medidor de nível portátil de 100 m da marca Hidrosuprimentos. A coleta para medir os parâmetros *in situ* era feita com bayler ou pela bomba do poço e a medida dos parâmetros era feita na canequinha de alumínio, para evitar interferências externas.

Para medir a vazão foi utilizado um balde de 20L de alumínio e com o cronômetro marcava o tempo que o poço levava para encher o balde.

4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

A última etapa do estudo consistiu na elaboração do presente relatório através da consolidação e interpretação dos dados coletados em campo e discussões sobre os resultados obtidos.

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as características dos componentes fisiográficos existentes na região de São Tomé do Rio Doce, tais como vegetação, clima, rede hidrográfica/drenagens e aspectos geomorfológicos.

5.1 CLIMA

Os dados climatológicos aqui descritos foram extraídos na única estação de monitoramento pluviométrico da Agencia Nacional de Águas (ANA) no município de Tumiritinga-MG (1841011). A Figura 5.1 mostra a localização da estação e da área de estudo.

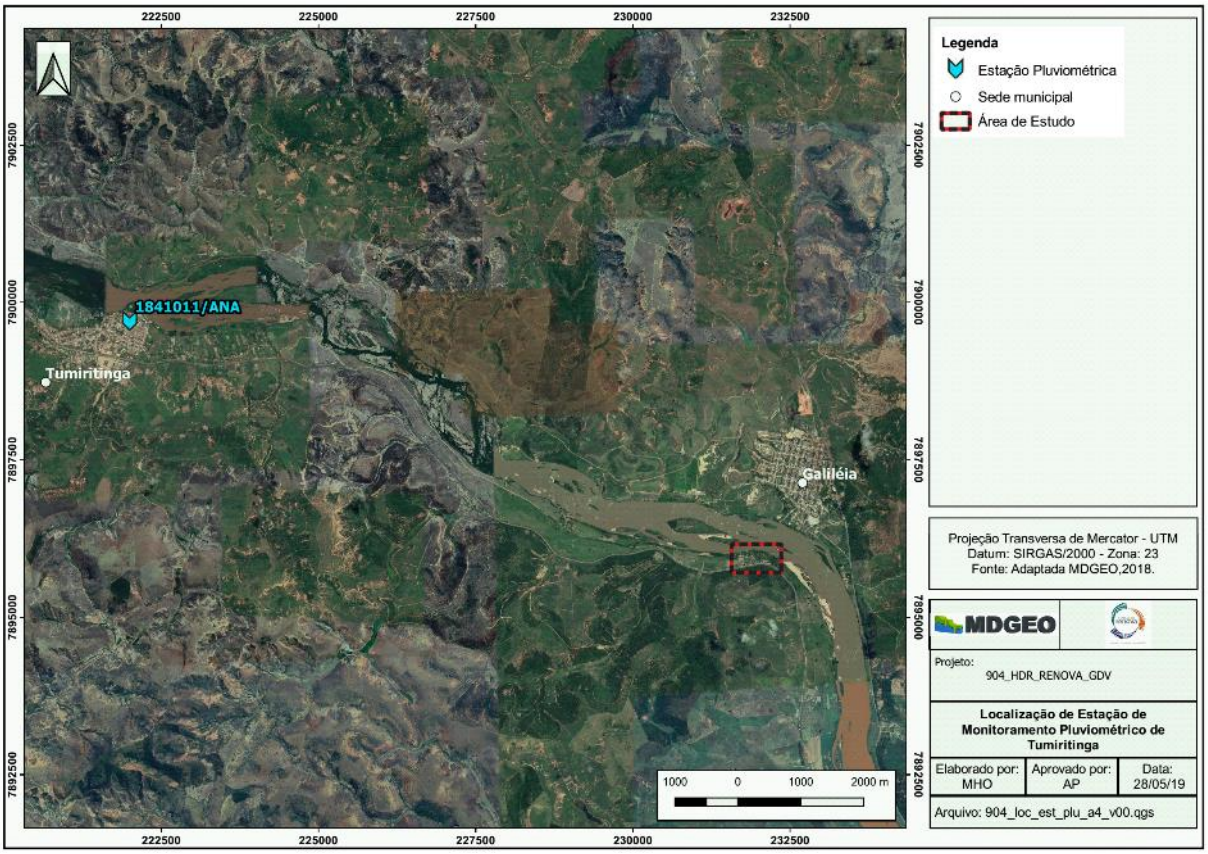


Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA em Tumiritinga.

Esta estação da ANA tem dados de monitoramento pluviométrico desde de fevereiro de 1974 até o fevereiro de 2019. A Tabela 5.1 apresenta os dados da série histórica da precipitação mensal registrada neste período.

Nesta tabela podem ser consultados todos os dados existentes da estação de Tumiritinga, além das precipitações medianas, percentil 90° e percentil 10° de toda a

série histórica, as quais podem ser visualizadas graficamente na Figura 5.2, sendo que os dados foram organizados conforme o ano hidrológico local, considerando o período chuvoso de outubro a março e o período seco de abril a setembro.

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA em Tumiritinga (1841011).

Ano	Out	No	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1973/1974					57,6	138	48,7	45	13,1	2	10,2	7,1
1974/1975	110,3	58,4	190	138	32,9	65,2	72,6	28,3	0,8	7,8	0,4	35,7
1975/1976	201,3	215,3	73,7	11,3	99,1	13,7	5,1	22,1	2,4	2,8	1,8	46,5
1976/1977	83,5	141	247,3	271,5	61,9	50,6	160,8	36,5	4	6,7	0,7	16,1
1977/1978	51,8	219,6	200,3	166,4	95,9	22,2	76,1	66,3	2,7	53,5	11,1	5,9
1978/1979	150,7	145,7	58,8	371,5	196,2	250	53,1	14,2	4,4	3,7	23,2	3,3
1979/1980	76	192,5	172,3	228,2	165	20,9	172,6	46,1	6	1,6	6,9	15,5
1980/1981	3,3	135	209,9	283,6	84,6	198,9	6,5	10,1	14,2	0	8,3	0
1981/1982	256,6	385,4	98,2	307,9	40,2	150,7	74,8	18,9	0,7	7,4	19,9	17,9
1982/1983	39,7	3,1	100,2	264,9	119	125,4	83,5	57,3	0	9,8	0	108,4
1983/1984	145	128,6	241,6	71,2	74,4	133,2	36,5	1,2	1,7	10,6	68,2	61,4
1984/1985	114,8	169	208,2	577,1	72	36,3	6,1	7,1	9,6	2	14,6	24,9
1985/1986	89,3	208,8	151,5	206,6	22,6	18,1	43,4	2,2	2,7	18,9	62,8	2
1986/1987	31	81,9	194,3	121,5	7,5	78,2	45,7	23,1	20,1	1,9	4,6	11
1987/1988	57,8	323,9	149,8	112,3	29,6	138,7	59,1	13,9	3,9	4,5	7,5	0
1988/1989	85,5	156,1	131,1	95,4	58,6	159,3	5,3	4,9	108,4	13	28,3	8
1989/1990	95,7	124,8	203,5	20,4	87,7	4,8	21,8	34,5	16,6	56,8	48,5	21,2
1990/1991	76,8	127,7	126,4	204,2	207,7	243,7	2,9	20,8	30,5	26,7	5	73,2
1991/1992	40,5	153,5	141,7	381,9	147,7	64,5	29,1	30,2	27	7,6	5,5	27
1992/1993	236,5	101,2	230,7	140,5	79,1	3,6	100,4	27,3	6,3	1,3	6,8	42,7
1993/1994	56,4	30,1	222,5	237,4	7,6	99,6	133,1	13,9	7,7	3,1	0,3	0
1994/1995	20,5	257,9	104,9	27,6	19,5	99,4	54,5	26,9	1,5	4,7	0,7	0,7
1995/1996	99	283,1	368,6	60,7	19,1	100,3	37,3	6	7	0	2,8	64,4
1996/1997	90,6	238,4	322,7	243,2	63,1	152,9	30,8	8,9	4,1	0	18,6	56,7
1997/1998	63,4	230,7	246,7	184,6	161,9	87,5	10,3	9,8	6,9	0,2	0	0
1998/1999	96	209,1	145,1	85,4	101,9	134,1	7,8	8,4	0,4	6,6	0,8	2
1999/2000	96,9	274,6	159,1	144,8	30,7	102,9	20,1	21,7	0,4	9,4	25,7	26,6
2000/2001	54,2	162,9	127,4	39,7	2,8	79	59,8	23,5	7,1	0,4	23,4	38,8
2001/2002	70	269,3	190,7	163,1	178,3	53,2	3,9	22,7	3	0,3	13,6	125,8
2002/2003	14,2	98,5	370	182,6	57,1	17,6	33,9	8,5	0	0,6	9,1	59,8
2003/2004	60,1	66,8	148,2	173,9	177,3	137,6	34,3	23,8	54	20,2	0	0
2004/2005	0	140,9	161,1	163,5	211,1	112,2	36,7	61,3	24,4	8,9	5,9	29,8
2005/2006	67,8	332,3	133,2	41	37,5	194,2	147,9	4,8	3,4	6,3	10,1	51,5
2006/2007	104,7	149	353,2	240	180,4	23,3	29,9	6	0	18,3	14	0
2007/2008	0,9	124,1	21,5	181,8	89,4	25,4	61,6	0	0	0	34,9	20,7
2008/2009	1,1	205,6	189	0	43,8	157,4	45,6	0,7	78,8	2,1	18,8	11
2009/2010	219,6	42,4	193,7	35,8	45,3	124,5	18,2	92,5	1,8	3,1	1	0
2010/2011	123,1	269,5	341,7	96,7	0	155,6	79,1	4,1	2,6	6	1,7	1,9
2011/2012	118,5	197,3	260	127,6	7,3	45	63,4	74,8	0	0	40	23,8
2012/2013	5,3	283,8	21,7	401,7	58,3	152,9	13,4	70,6	22,2	1,2	9,9	19,1
2013/2014	113,8	70,6	819	33,3	19,9	50,6	51	24,8	3,2	27,9	5,9	7,7
2014/2015	74,5	102,2	128,6	0	146,5	91,9	69,6	42,5	3,6	1,7	1,9	0
2015/2016	1,6	75	98,6	306,3	29,4	13,5	51,5	8,3	11	0	0,4	37,2
2016/2017	74,9	206,3	85,6	48,7	157,1	118,7	24,8	0	5,1	3,9	0	0,3
2017/2018	66,2	199,3	126,1	105,5	215,3	70,5	45,2	25,4	3	0	8,1	13,1
2018/2019	61,7	107,8	307,8	27,6	93,9							
Mediana	74,9	156,1	172,3	144,8	67,55	99,4	45,2	21,7	4	3,7	7,5	16,1
Percentil 90°	148,42	279,7	334,1	307,26	179,35	158,54	93,64	59,7	25,96	19,68	32,26	60,76
Percentil 10°	4,1	68,32	90,64	27,6	13,35	17,8	6,26	2,96	0,16	0	0,34	0

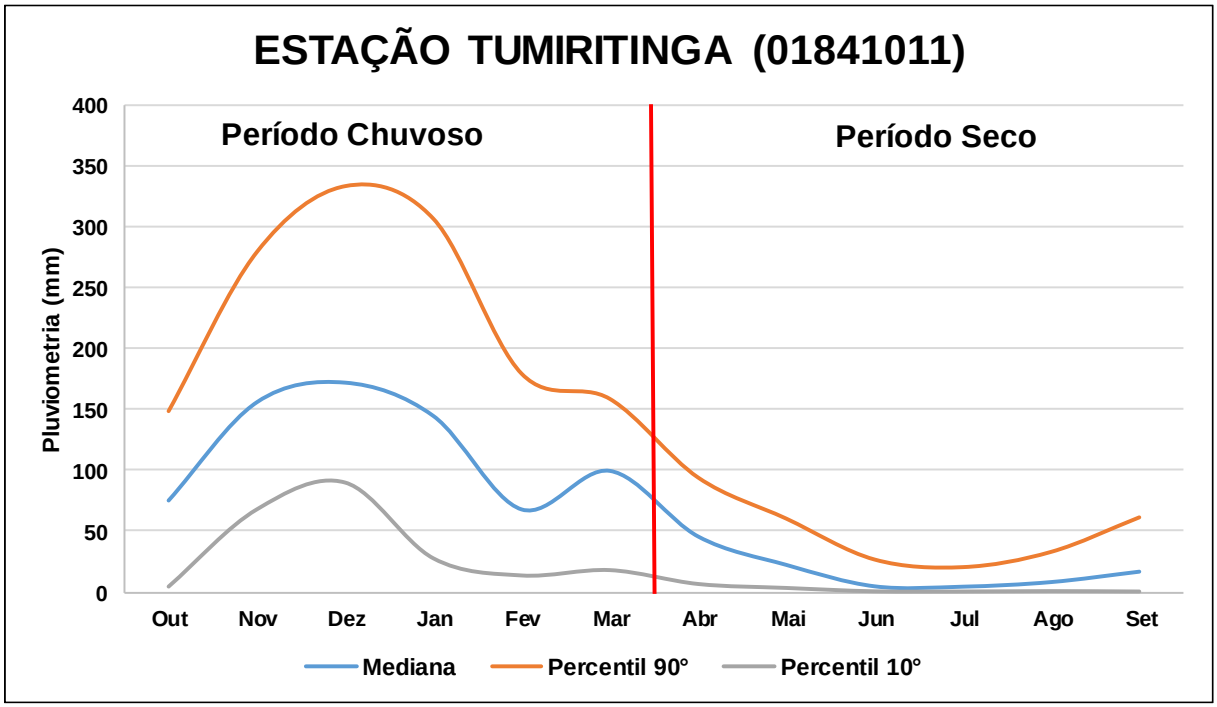


Figura 5.2: Precipitação média, máxima e mínima mensal –Estação Tumiritina (1841011).

A precipitação anual é apresentada pela Figura 5.3, também diferenciando a contribuição do período chuvoso (outubro a março) e do período seco (abril a setembro), e comparando o total anual com a mediana plurianual da série.

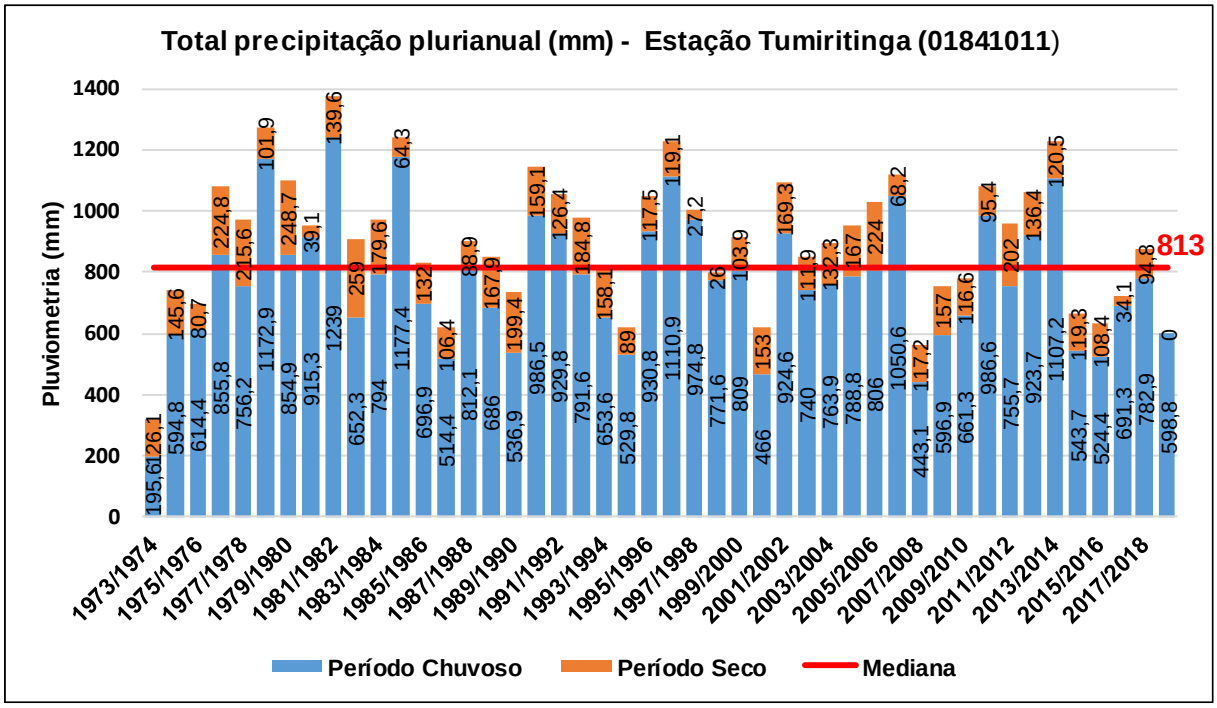


Figura 5.3: Pluviometria total anual.

A mediana plurianual da precipitação da série apresentada, considerando o ano hidrológico, é de 813 mm/ano. A mediana para o período chuvoso é de 777,25 mm/ano

que corresponde a aproximadamente 86% de toda precipitação anual, e a mediana do período seco é de 123,3 mm/ano que corresponde a 14% da precipitação anual.

Analisando os anos hidrológicos completos, nota-se que o ano hidrológico de 1981/1982, apresentou o máximo de precipitação acumulada, totalizando 1378,6 mm, e o ano mais seco, com base nos registros, foi o de 2007/2008, com total acumulado de 560,3 mm.

5.2 VEGETAÇÃO

De acordo com as informações do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010) ,a da área de estudo se encontra inteiramente sobre o bioma de mata atlântica, um todo dominantemente sobre o bioma da Mata Atlântica.

Segundo (VELOSO apud IBIO et al., 2016), a área que abrange o município de Tumiritinga é formada pela Floresta Estacional Semidecidual que constitui um ecossistema pertencente ao bioma da Mata Atlântica. Entretanto devido a grande intervenção antropica pela qual a região de estudo passou, a maioria da cobertura vegetal existente atualmente é composta por pastagem usadas para agropecuaria e apenas uma pequena porção mantem as caracteristicas originais (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010).

5.3 PEDOLOGIA

São encontrados 3 tipos de solo na região, Gleissolos Háplicos, Neossolos Flúvicos e Cambissolos Háplicos Eutrófico, sendo caracterizado com os critérios adotados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA e foram baseados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBICS, 2013).

Os Gleissolos Háplicos apresentam intensa redução de composto de Fe devido ao excesso de umidade permanente ou periódico (decorrência do ambiente redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido). Apresenta um horizonte A moderado e horizonte Cg com textura arenosa e franco arenosa.

O Cambissolo Háplico é constituído por material de horizonte B incipiente, são solos poucos profundos a rasos, com pequena diferenciação de horizontes (sequência de horizonte A, Bi e C), geralmente com cores amarelada. Possui composição

granulométrica variável, desde perfis com textura arenosa até argilosa e siltosa (SBICS, 2013).

O Neossolo Flúvicos compreende solos minerais, poucos evoluídos, profundo, com sequência de horizonte tipo A-C ou horizonte A sobre camadas estratificadas sem relação pedogenética entre si. Desenvolvem-se a partir de sedimentos aluviais quaternários de características químicas e físicas varáveis.

5.4 REDE HIDROGRÁFICA

A área de estudo está localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (RHAS), definida pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2010) como de alto contingente populacional e importância econômica ligada à sua indústria. O município de Tumiritinga situa-se na porção norte da RHAS, sendo que a principal bacia hidrográfica que compõem a região é a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD).

A área de estudo está inserida dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, mas também abrange uma pequena porção bacia incremental da Sub-bacia hidrográfica do Rio Caratinga (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010), ou seja, faz parte de uma porção da bacia do Rio Caratinga, mas as drenagens da região desaguam no Rio Doce. Próximo à área de estudo existe um pequeno curso d’água denominado Córrego Bananal que deságua no Rio Doce.

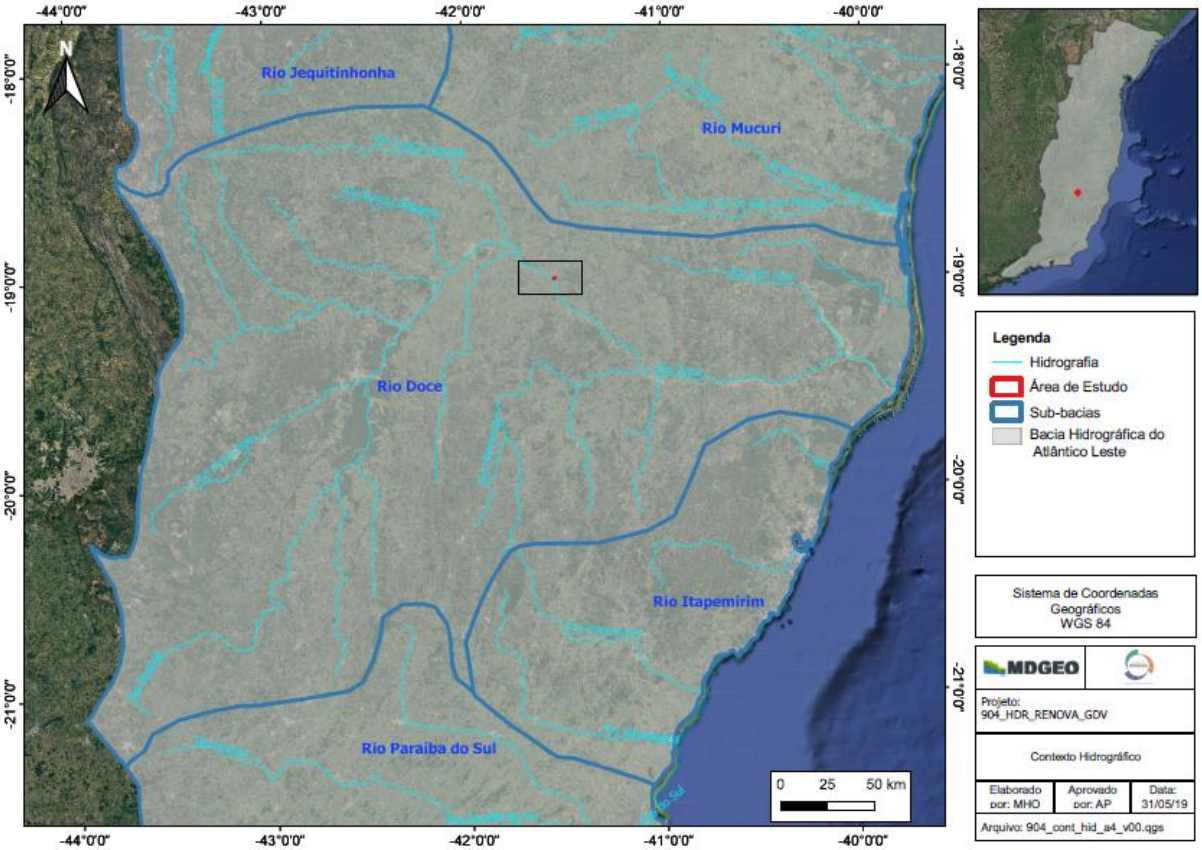


Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste.

O município de Tumiritinga está inserido na Unidade Geomorfológica Depressão Interplanáltica do Rio Doce com áreas de colinas (mar de morros), interflúvios tabulares e colmatados, situada ao longo do vale do Rio Doce, originada da dissecação fluvial de superfícies aplainadas (INPE, 2015).

Os principais cursos d'água na área de estudos são o Rio do Suaçuí Grande e o Rio do Suaçuí Pequeno, ambos afluentes do Rio Doce (Figura 5.4).

5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A área de estudo está inserida na Unidade Geomorfológica Depressão Interplanáltica do Rio Doce com áreas de colinas (mar de morros), interflúvios tabulares e vales colmatados, situada ao longo do vale do Rio Doce, originada da dissecação fluvial de superfícies aplainadas (INPE, 2015). O relevo regional tem altitudes variando entre 92 m e 563 m, sendo que a menor altitude se encontra na calha do Rio Doce.

Outro aspecto geomorfológico na região é a depressão erosiva elaborada sobre o embasamento granito-gnáissico, com nítida orientação estrutural em seu trecho

médio, e evolução condicionada por movimentos epirogenéticos pós-cretáceos. Sua forma de relevo é caracterizada por interflúvio tabulares com vales de fundo chato, planície fluvial que são terraços e áreas sujeitas a inundação.

6 GEOLOGIA

6.1 GEOLOGIA REGIONAL

O capítulo de Geologia Regional foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Itanhomi (SE.24-Y-C-I) confeccionada pela (CPRM, 1991).

A área de estudo está localizada na Região Leste, no domínio Cinturão Araçuaí, na porção Setentrional da Província Estrutural ou Geotectônica Mantiqueira (ALMEIDA, F.F.M, HASUI, Y., 1984a.; ALMEIDA & LITWINSKI, 1984b; PADILHA, VASCONCELLOS, & GOMES, 1991), do Brasiliano, sendo dividida em Domínios Mantiqueira, Pocrane, Juiz de Fora e Galiléia/Rio Doce (Figura 6.1).

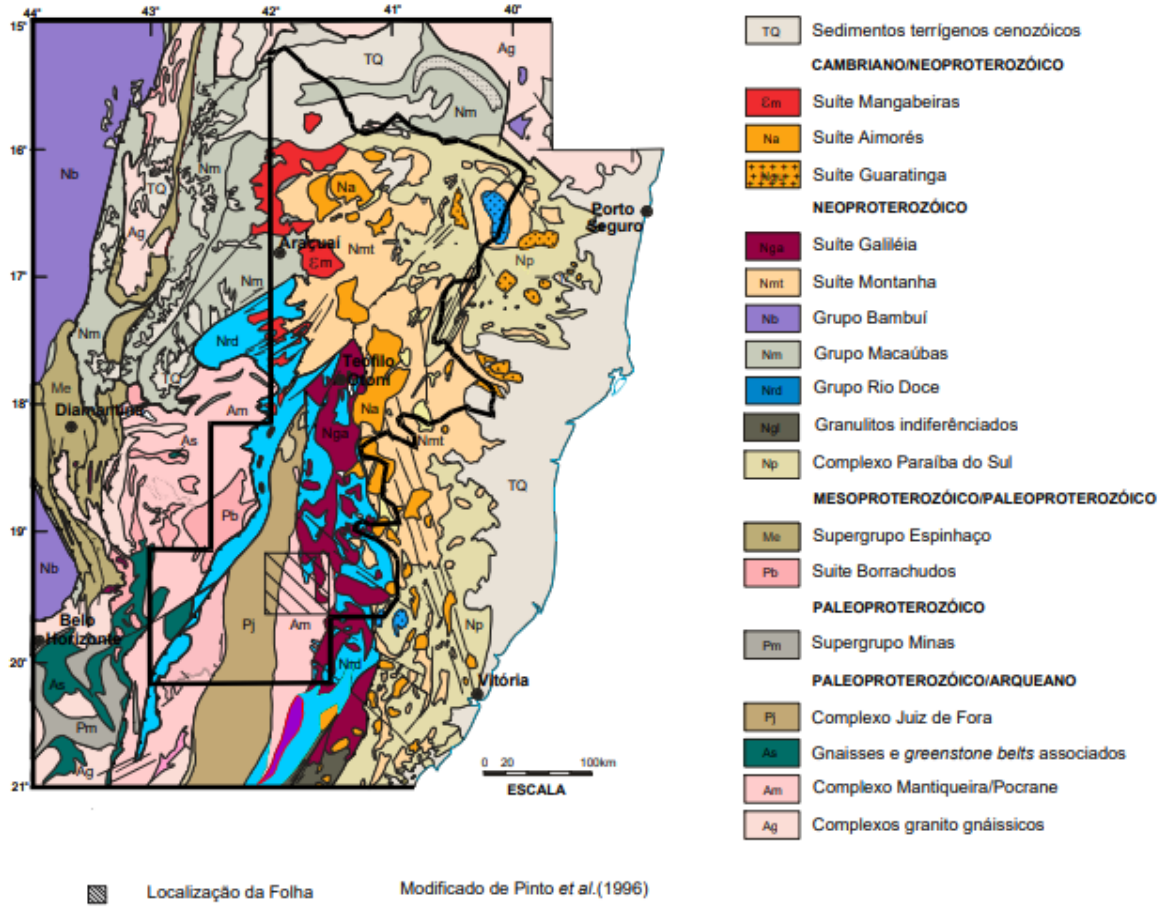


Figura 6.1: Mapa geotectônico da região leste, mostrando os domínios presentes na área de trabalho.

6.1.1 Domínio Mantiqueira

Formado pelo Complexo Mantiqueira de idade Arqueana, composto por gnaisses-migmatíticos de composição granodiorítica, onde ocorrem intercalações de anfibolitos e de rochas ultramáficas paralelos ao bandamento gnáissico. Estas rochas foram metamorfizadas na fácies anfibolito, e se apresentam fortemente tectonizadas.

Aparece somente na porção NW da folha. O contato com o Tonalito Derribadinha, pertencente ao complexo Juiz de Fora são essencialmente tectônicas, por falha de empurrão.

A folha Itanhomi utilizou a denominação do Complexo Mantiqueira usado BRANDALISE (1991), no mapeamento geológico de escala 1:100000 da Folha Ponte Nova para designar os gnaisses de natureza comprovadamente ortoderivada (ortognaisses granítico-tonalítico).

6.1.2 Domínio Pocrane

Formado pelo Complexo Pocrane de idade Arqueana-Paleoproterozóico, que é constituído por rochas granito-gnáissicas com metassedimentos e rochas metamáfico-ultramáficas associada. A Folha Itanhomi levou em consideração a denominação do Complexo Pocrane de SILVA *et al*., (1987). Evidenciando tanto rocha orto como paraderivadas. As rochas desse complexo referem-se ao ciclo Transamazônico retrabalhadas no ciclo Brasiliano.

As rochas gnáissicas são bandadas, composta predominantemente por biotita-hornblenda gnaisse tonalítico a granodiorítico, foliada e bandado, localmente migmatítico, com ou sem granada, com lentes anfibolíticas, rocha calcissilicáticas, xistos aluminosos, quartzitos, paragnaisses e rochas ultramáfica.

O contato com o Tonalito Derribadinha é tectônico por falhar de empurrão, já o contato com as rochas do Grupo Rio Doce, pertencente ao Domínio Galiléia/Rio Doce ocorre através de falhas ou encontra-se mascarado.

6.1.3 Domínio Juiz de Fora

Composto pelo Complexo Juiz de Fora de idade Paleoproterozóico, constituídos por Ortognáissicas com abundantes porções noríticas a enderbíticas, localmente

granulitos. Separado em três unidades de acordo com o litotipo predominantes em cada uma.

Ainda no Domínio Juiz de Fora ocorreu um Magmatismo Sin-tectônico, formando o Tonalito Derribadinha e o Tonalito Bom Jesus do Galho.

O Tonalito Bom Jesus do Galho é um tonalito gnaissificado, constituído por quartzo, feldspato, biotita e muita granda. Silimanita localmente e grafita raramente. O contato com o Tonalito Derribadinha é tectônico por falhar de empurrão.

Já o Tonalito Derribadinha, são granitóides de composição tonalítica contendo algumas partes de composição enderbítica.

6.1.4 Domínio Galiléia/Rio Doce

Formado pelo Grupo Rio Doce, Magmatismo sintectônico, pela Suíte Intrusiva Galiléia e a Suíte Urucum.

6.1.4.1 Grupo Rio Doce

Representa uma sequência supracrustal neoproterozoica, constituído pelos xistos e gnaisses das Formações Tumiritinga e São Tomé, xistos, gnaisses e quartzitos da Formação Palmital do Sul e quartzitos da Formação João Pinto.

Os registros metassedimentares do Grupo Rio Doce ocorrem associados ao domínio plutônico central (VAUCHES, et al., 2007), ou suíte G1 (Pedrosa-Soares *et al*., 2001). Essa unidade representa uma sequência vulcanossedimentar depositada em bacia de ante-arco no contexto da edificação de arco magmático homônimo.

Pedrosa-Soares *et al*., 1994 usaram o termo Grupo Rio Doce, modificado da definição original de BARBOSA *et al*. (1966), para definir uma megassequência dominantemente psamo-pelítica, sem termos conglomeráticos e vulcânicos conhecidos, de idade proterozóica, que se estende por toda área.

Vieira *et al*., 2006 propõe que o empilhamento estratigráfico, da base para o topo, é representado pelas formações Palmital do Sul, Tumiritinga, São Tomé e João Pinto.

- **Formação Palmital do Sul (*Npl*):**

Composto por Biotita-xisto/paragnaisse aluminoso, quartzito, rocha calcissilicática, anfibolito e talco xisto com rochas vulcânicas piroclátiscas. A

topografia, em sua maioria, é pouco acidentada, os afloramentos mais representativos aparecem próximo as drenagens.

- **Formação Tumiritinga (*Nt*):**

Formado por granada-cordierita-silimanita biotita xisto e gnaisse, com lentes de rocha calcissilicática. Veios pegmatíticos discordantes atingem 20m de largura. A morfologia é de morros baixos, ravinados e de cristas agudas, com intensa erosão e assim abundantes voçorocas.

- **Formação São Tomé *(Nst3):***

Foi dividida em três unidades, a unidade que aparece na Folha Itanhomi é a Unidade 3 (Nst3), composta por quartzo-mica xisto cinza a pardo contendo, localmente, muita granada, turmalina e estaurolita. A biotita xisto com finas alternâncias de quartzitos, evidenciam uma sequência turbidítica própria de ambiente marinho mais profundo.

- **Formação João Pinto (*Njp*):**

Formado por quartzito puro (quartzo arenito), sendo os mais impuros os que são micáceos ou arcoseanos, em alguns casos intercalados com rochas calcissilicáticas.

Barbosa *et al*. (1964) definem o contato entre a Formação João Pinto e Palmital do Sul, sendo de natureza transicional.

6.1.4.2 Magmatismo sintectônico

Composto por Tonalitos da Chapada do Bueno, definido por rochas graníticas ganissificadas, associados aos metassedimentos do Grupo Rio Doce, representando um magmatismo sin-deformacional.

6.1.4.3 Suíte Intrusiva Galiléia (G1):

São granitos Sin-Tardetectônicos, formada por granitoides de baixa intensidade de deformação, com texturas ígneas bem preservadas, e mostrando, normalmente, contatos intrusivos com os metassedimentos do Grupo Rio Doce. Rochas Tonalítica/granodiorítica, diorítica a quartzo-diorítica e granítica, ricas em enclaves microgranulares.

A Suíte Intrusiva Galiléia subdivide em três rochas:

- Tonalito Cuiéte Velho: apresenta fácies mais pobre em minerais máficos e desprovida de enclaves quando comparado com o Tonalito Gliléia.
- Tonalito São Vitor: são parecidos com o Tonalido Galiléia, diferenciando somente pelo fato de não apresentarem encraves máficos e abundantes xenólitos de xisto e gnaisses aluminosos da Formação Tumiritinga.
- Tonalito Galiléia: compreende biotita e hornblenda-biotita tonalito a granito, com foliação variando de suave a bem definida, mostrando localmente textura isotrópica ou milonítica.

6.1.4.4 Suíte Intrusiva Urucum

São rochas granitoides do tipo S, suíte essencialmente de origem crustal, tendo sido cristalizados em temperatura relativamente baixa (550 °C). Se separa em:

- Granito Palmital: rocha homogênea composta por quartzo, feldspato, muscovita, alguma biotita e rara granada. Ocorrem raros megacristais de feldspato potássico. Ocorre como um corpo alongado, de pequena extensão em área.
- Granito Urucum: rocha granítica composta de quartzo, feldspato, pouca biotita e muscovita. Rochas variando de composição granítica a granodiorítica e normalmente contém turmalina.
- Granito José Rodrigues: intrudido no tonalito Galiléia, formando um contato brusco. Rocha granítica composta por quartzo, microclima, plagioclásio, biotita, muscovita e pouca granada.

6.1.5 Terraços Aluvionares

Depósitos aparecem na maioria das drenagens, presença de estratificação cruzada de pequeno porte em alguns locais. Depósitos de até 5 m de espessura, areia fina a grossa com palhetas dispersas de muscovita, apresentando finos níveis de seixos arredondados, silte e argila.

6.2 GEOLOGIA LOCAL

O presente capítulo foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Itanhomi (SE.24-Y-C-I) confeccionada pela (CPRM, 1991). A área

de estudo e seu entorno estão localizados inteiramente no Grupo Rio Doce (Formação Tumiritinga e São Tomé), Suíte Intrusiva Galiléia (Tonalito Gliléia) e Terraços Aluvionares.

6.2.1 Formação Tumiritinga

Compõe-se de silimanita-biotita xistos geralmente gnaisses, localmente com granada e muscovita. Observa-se bandamento, com níveis mais quartzosos e níveis mais micáceos, com nítida estrutura turbidítica. São cinza-escuros a prateados, estão intensamente dobrados e contêm abundantes veios de quartzo-feldpspáticos concordantes, boudinados e rompidos.

O dobramento geralmente é marcado por finos veios de quartzo concordantes e lenticulares. Intercalações de biotita-quartzo xisto cinza-claro, de granulação muito fina são comuns.

Geomorfologicamente o relevo é esculpido em rochas xistosas, menos resistentes aos agentes erosivos, configurando formas dissecadas e onduladas, com morros relativamente baixos, arredondados e de encostas suaves, destacando-se alguns mais alçados, constituindo pequenas escarpas nuas.

6.2.2 Formação São Tomé

É composta de biotita-xisto com finas alternâncias de quartzitos evidenciando uma sequência turbidítica própria de ambiente marinho mais profundo.

Portanto, a Formação São Tomé é encaixante dos pegmatitos mais importantes da região, constitui-se de quartzo-mica xisto cinza a pardo com granada e, localmente, estaurolita, geralmente bandado, dobrado e crenulado, com níveis mais quartzosos e níveis micáceos.

Observam-se níveis compostos quase exclusivamente por quartzo, muscovita e biotita, dando à rocha aspecto de quartzito micáceo. Nos planos de foliação, são comuns cristais aciculares milimétricos de turmalina verde. Lentes de rocha calcissilicática cinza-esverdeada posicionam-se concordamente à foliação dos xistos.

Geomorfologicamente apresenta uma topografia bastante rebaixada, com cristas agudas e encostas ravinadas. Devido à grande quantidade de veios pegmatíticos e de quartzo, o solo é pedregoso.

6.2.3 Tonalito Galiléia

A Suíte Intrusiva Galiléia com base em estudos químicos, (NALINE JR, BILAL, & PAQUETTE, 1997) concluíram que os granitoides da Suíte Galiléia têm origem híbrida, isto é, tem contribuição mantélica e crustal. Os granitoides Galiléia são metaluminosos a fracamente peraluminosos, têm composição calcialcalina (NALINE JR, BILAL, & CORREIA-NEVES, Mineralogical, geochemical and isotopic constraints of neoproterozoic granitoids (Urucum and Galileia Suites) eastern Minas Gerais State, Brazil, 1998) e foram cristalizados a pressões relativamente elevadas e a temperaturas da ordem de 600 a 700 ºC.

(PEDROSA-SOARES, NOCE, & PINTO, 1998) interpretaram as rochas da Suíte Galiléia como a raiz do arco magmático pré-colisional desenvolvido durante a fase acrescionária do Orógeno Araçuaí-Oeste Congo.

Portanto, caracterizando um conjunto de corpos graníticos apresentando, normalmente, baixa intensidade de deformação, com texturas ígneas preservadas, e mostrando, normalmente, contatos intrusivos com os metassedimentos do Grupo Rio Doce.

6.2.4 Terraços Aluvionares

Depósitos aparecem na maioria das drenagens, presença de estratificação cruzada de pequeno porte em alguns locais. Depósitos de até 5 m de espessura, areia fina a grossa com palhetas dispersas de muscovita, apresentando finos níveis de seixos arredondados, silte e argila.

7 ACOMPANHAMENTO DE ATIVIDADES DA HIDROPOÇOS

O trabalho de acompanhamento das atividades da empresa HIDROPOÇOS Ltda no Poço 1 na localidade de São Tomé do Rio Doce, foi realizado entre os dias 07 e 10 de maio. A empresa vai realizar a limpeza, teste de bombeamento e filmagem do poço.

Inicialmente a HIDROPOÇOS desligou a bomba, para conseguir retira-la do poço. A Figura 7.1 mostra que a bomba saiu com uma coloração escura, essa cor pode ser devido à alta concentração de ferro. Para que fosse possível realizar as atividades foi necessário a diminuição do tubo de boca, para tal cortaram 0,98 m do mesmo, deixando-o com 0,47 m (Figura 7.2).

Após finalizar a limpeza, será dado início ao teste de bombeamento de 24h (Tabela 7.1).

Figura 7.1: Bomba com coloração escura.

Figura 7.2: Poço 1 depois de cortar parte do tubo de boca.

Figura 7.3: Compressor ligado com toda a potência de modo a fazer a limpeza do poço.

Figura 7.4: Água amarelada no começo da limpeza.

Figura 7.5: Colocação do medidor de nível para a realização das medidas ao longo do teste.

Figura 7.6: Enchimento do tambor de 200 litros, para a realização da medida de vazão do poço.

Antes de realizar o teste foi medido o nível estático, NA de 4,25m. Ao longo do teste foi medido o nível dinâmico, no final o nível estava em 26,3 m.

Tabela 7.1: Dados coletados durante o teste de bombeamento.

Tempo / Rebaixamento / Vazão de Poço				
Tempo (min)	Hora Local	Data	N.D (m)	Vazão (L/h)
1	08:01	09/05/2019	4,55	
1,5	08:01	09/05/2019		
2	08:02	09/05/2019		
3	08:03	09/05/2019		
4	08:04	09/05/2019		
5	08:05	09/05/2019		
6	08:06	09/05/2019		
8	08:08	09/05/2019	6,34	8700
10	08:10	09/05/2019	6,41	
12	08:12	09/05/2019	6,59	8700
14	08:14	09/05/2019	6,63	
16	08:16	09/05/2019	6,84	8700
18	08:18	09/05/2019	7,02	
20	08:20	09/05/2019	7,21	8700
25	08:25	09/05/2019	7,62	
30	08:30	09/05/2019	8,00	8700
40	08:40	09/05/2019	8,83	
60	09:00	09/05/2019	10,18	8700
90	09:30	09/05/2019	11,95	8700
120	10:00	09/05/2019	13,58	8700
150	10:30	09/05/2019	14,65	8425
180	11:00	09/05/2019	16,01	8425
210	11:30	09/05/2019	17,01	7760
240	12:00	09/05/2019	18,02	7760
270	12:30	09/05/2019	19,04	7400
300	13:00	09/05/2019	19,70	7400
330	13:30	09/05/2019	20,47	7400
360	14:00	09/05/2019	21,08	
390	14:30	09/05/2019	21,60	7400
420	15:00	09/05/2019	22,08	7400
450	15:30	09/05/2019	22,62	7400
480	16:00	09/05/2019	22,98	
510	16:30	09/05/2019	23,38	7400
540	17:00	09/05/2019	23,70	
570	17:30	09/05/2019	23,94	7400
600	18:00	09/05/2019	24,26	
630	18:30	09/05/2019	24,49	7400
660	19:00	09/05/2019	24,68	
690	19:30	09/05/2019	24,82	7400
720	20:00	09/05/2019	25,01	
750	20:30	09/05/2019	25,13	7400
780	21:00	09/05/2019	25,28	
810	21:30	09/05/2019	25,40	7400
840	22:00	09/05/2019	25,53	
870	22:30	09/05/2019	25,60	7400
900	23:00	09/05/2019	25,73	

Tempo / Rebaixamento / Vazão de Poço				
Tempo (min)	Hora Local	Data	N.D (m)	Vazão (L/h)
930	23:30	09/05/2019	25,80	7400
960	00:00	10/05/2019	25,87	
990	00:30	10/05/2019	25,93	7400
1020	01:00	10/05/2019	25,98	
1050	01:30	10/05/2019	26,06	7400
1080	02:00	10/05/2019	26,10	
1110	02:30	10/05/2019	26,12	
1140	03:00	10/05/2019	26,18	
1170	03:30	10/05/2019	26,22	
1200	04:00	10/05/2019	26,25	
1230	04:30	10/05/2019	26,28	
1260	05:00	10/05/2019	26,29	
1290	05:30	10/05/2019	26,30	
1320	06:00	10/05/2019	26,30	
1350	06:30	10/05/2019	26,30	
1380	07:00	10/05/2019	26,30	

Após finalizar o teste o compressor foi desligado para ver a recuperação do nível d'água no poço, observado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2: Variação dos valores do nível d'água com o passar do tempo.

Recuperação	
Tempo (min)	N.A (m)
1	26,00
1,5	25,85
2	25,85
3	25,71
4	25,58
5	25,48
6	25,37
8	25,19
10	24,94
12	24,78
14	24,66
16	24,49
18	24,29
20	24,13
25	23,77
30	23,37
40	22,70
60	21,33
90	19,60
120	18,19

Ao final do teste de bombeamento foi possível estabelecer os seguintes dados hidrodinâmicos: Nível Estático (N.E): 4,25 m, Nível Dinâmico (N.D): 26,30 m, Rebaixamento: 22,05 m e Vazão (Q): 7400 L/s.

Após finalizar o teste de bombeamento foi iniciada a filmagem (Figura 7.7) com o objetivo de avaliar as condições do poço, além de coletar-se informações para a confecção dos perfis construtivo e geológico esquemáticos.

Durante as filmagens confirmou-se a informação repassada pela empresa que perfurou o poço, sendo nos primeiros 10,60 m (tubo liso) o poço apresenta diâmetro de 6” e a partir desse ponto vai com diâmetro de 4” até a base, nesta porção existe apenas rocha sã, não existindo nenhum tipo de tubo. No entanto durante a filmagem descobriu-se que o poço tem profundidade de 105,00m, a empresa perfuradora passou dados de que o poço teria 150,00 m.

Considerou-se que nos primeiros 10,60 metros (não é possível observar) existe solo e no restante do poço foi observado a ocorrência de rocha granítica. E sendo observada entrada de água nas seguintes profundidades:

- 80,20 m = Entrada de água (Fenda), ocorre entrada de material orgânico (raiz) na fenda;
- 93,70 m = Entrada de água (Fenda);
- 94,30 m = Entrada de água (Fenda);
- 105,00 m: Provável fenda (não foi possível verificar, devido a raiz).

Posteriormente a realização da filmagem foi retirado todo o equipamento utilizado e em seguida foi colocada uma nova bomba (Figura 7.8), soldada a parte do tubo que havia sido cortada (Figura 7.9) e remontada a estrutura do poço (Figura 7.10), de modo a permitir o retorno do bombeamento de água do poço para o abastecimento público da comunidade.

Figura 7.7: Inicio da filmagem do poço.

Figura 7.8: Colocação da nova bomba no poço.

Figura 7.9: Tubo soldado.

Figura 7.10: Estrutura montada, pronto para o retorno do bombeamento.

8 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS

Nos dias 08 e 09 de maio a equipe da MDGEO realizou a etapa de cadastramento de pontos de ocorrência de água subterrânea (poços e cisternas) na comunidade de São Tomé do Rio Doce. Para levantar o número e os locais de existência dos mesmos foi perguntado as pessoas da comunidade, no final foram indicados 4 pontos. Entre os dias 07 e 10 de maio a MDGEO coletou informações e realizou o cadastramento do Poço 1 (poço que necessita da outorga). A Tabela 8.1, Tabela 8.2 e Tabela 8.3 apresentam informações coletadas nos poços e a Figura 8.1 mostra a localização dos mesmos.

Tabela 8.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados.

Nomenclatura	Data do Cadastro	Proprietário	Telefone Conato
Poço 1- São Tome do Rio Doce	07/05-19 a 10/05/19	Prefeitura Tumiritinga	-
Ponto 01 (STRD)	08/05/2019	Agnaldo Vaz Carvalho	(33) 99902-4096
Ponto 02 (STRD)	08/05/2019	Ari Lucas Rosa	(33) 99952-7343
Ponto 02 (STRD)	08/05/2019	Ari Lucas Rosa	(33) 99952-7343
Ponto 03 (STRD)	09/05/2019	Delio Pereira as Silva	(33) 99904-6061
Ponto 04 (STRD)	09/05/2019	Geraldo José de Souza	(33) 99112-3935

Tabela 8.2: Dados dos pontos cadastrados.

Nomenclatura	Coordenadas				Cota (m)	N.A. (m)	Prof. (m)	TB (m)	Diâmetro (mm)
	X	Y	Lat	Long					
Poço 1- São Tome do Rio Doce	231876	7895978	41,5470058	19,01131783	129,00	4,25	105,0	0,47	100
Ponto 01 (STRD)	232055	7895951	41,54531037	19,01158502	128,00	3,92	5,0	0,93	150
Ponto 02 (STRD)	232150	7895890	41,54441697	19,01214819	129,00	4,48	5,1	1,05	150
Ponto 02 (STRD)	232150	7895890	41,54441697	19,01214819	129,00	3,96	4,4	0,50	-
Ponto 03 (STRD)	232100	7895939	41,54488486	19,01169924	128,00	3,50	4,2	0,48	760
Ponto 04 (STRD)	231750	7895965	41,54820205	19,01141737	126,00	-	~6,0	-	150

Tabela 8.3: Parâmetros medidos *in situ* dos pontos cadastrados.

Nomenclatura	CE	pH	Eh	Método de Coleta
Poço 1- São Tome do Rio Doce	675	7,231	-27,8	Bayler
Ponto 01 (STRD)	1622	6,761	-156,3	Bayler
Ponto 02 (STRD)	-	-	-	-
Ponto 02 (STRD)	1407	7,109	157,9	Bayler
Ponto 03 (STRD)	960	7,828	157,6	Bayler
Ponto 04 (STRD)	326	7,041	174,6	Bombeamento

Vale ressaltar que todos os moradores que tem poços e cisternas não utilizam a água dos mesmos normalmente. Só usam a água dos poços quando não tem água fornecida pela prefeitura (Poço 1) ou quando reclamam da qualidade da água distribuída, sendo assim os moradores usam a água do poço para beber e cozinhar.

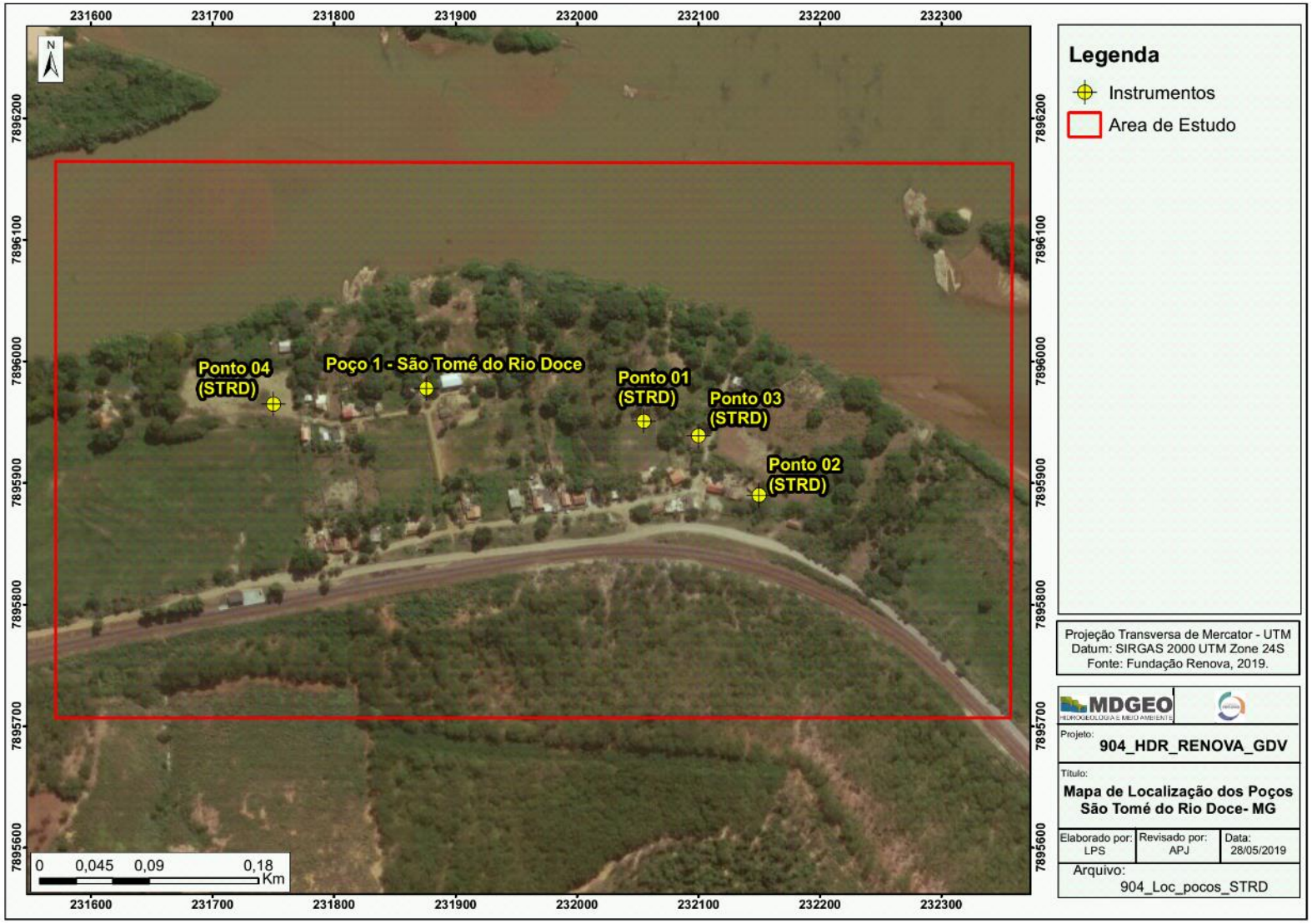


Figura 8.1: Localização dos pontos cadastrados.

8.1 POÇO 1 – SÃO TOMÉ DO RIO DOCE

O Poço 1 de São Tomé do Rio Doce (Figura 8.2) serve para abastecer o distrito, a água bombeada do referido poço passa por tratamento na ETA (Figura 8.3) que existe ao lado do mesmo e posteriormente é distribuída para o abastecimento público da comunidade.

Figura 8.2: Poço 1 – São Tomé do Rio Doce.

Figura 8.3: ETA onde ocorre o tratamento da água bombeada do poço.

Tabela 8.4: Dados coletados no cadastro do poço 1.

Cadastro de Usuários			
Proprietário:	Prefeitura Tumiritinga	**Telefone:**	-
Id do Poço:	Poço 1- São Tome do Rio Doce	**Data:**	08/05/2019
Nível d'água inicial (m):	4,25	**CE (µS/cm):**	675,00
Profundidade (m):	105,00	**pH:**	7,23
Diâmetro Tubo (mm):	100,00	**EH (mV):**	-27,80
Tubo de boca (m):	0,47	**Método da amostragem:**	Bayler

Durante o teste de bombeamento realizado o nível dinâmico medido foi de 26,30 m, indicando um rebaixamento de 22,05 m do nível d'água quando o poço está em funcionamento, e bombeando 7400 L/s.

Durante o cadastramento os profissionais da MDGEO realizaram a medida do N.A. (Figura 8.4) antes do corte do tubo e obtiveram o valor de 5,33 m, com ele cortado o valor seria de 4,25 m (poço desligado a 8 horas).

O perfil do poço indica que até os 10,60 m foram revestidos com tubo liso, enquanto o restante do poço apresenta diâmetro de 4" sem revestimento. Na parte onde não existe

tubo liso observa-se a ocorrência de uma rocha granítica com algumas fraturas, através destas que ocorre a entrada de água no poço.

Os resultados do parâmetros físico-químicos medidos indicam a água do poço é neutra, o ambiente é um pouco redutor e a condutividade é um pouco elevada. a condutividade elétrica (CE) é relativamente é mais baixa se comparado aos demais pontos inventariados na região.

Figura 8.4: Medição do nível d'água do Poço 1.

Figura 8.5: Coleta de água do poço com o Bayler.

Figura 8.6: Água sendo colocada na caneca inox.

Figura 8.7: Medição dos parâmetros físico-químicos *in situ.*

8.2 PONTO 01 (STRD)

A Tabela 8.5 apresenta um resumo dos dados coletados para o poço Ponto 01.

Tabela 8.5: Dados coletados no cadastro do ponto 1.

Cadastro de Usuários			
Proprietário:	Agnaldo Vaz Carvalho	**Telefone:**	33999024096
Id do Poço:	Ponto 01 (STRD)	**Data:**	08/05/2019
Nível d'água inicial (m):	3,92	**CE (µS/cm):**	1622
Profundidade (m):	5,05	**pH:**	6,70
Diâmetro Tubo (mm):	150,00	**EH (mV):**	-156,3
Tubo de boca (m):	0,93	**Método da amostragem:**	Bayler

Os valores dos parâmetros medidos, mostram uma tendência diferente da encontrada nos demais pontos, pois o pH é levemente ácido, os demais são levemente básicos, a condutividade é a mais alta da encontrada e o Eh indica ambiente redutor, os demais pontos indicam ambiente oxidante.

Segundo informações do proprietário o tubo do poço é todo liso, logo a água entra só pelo fundo do poço, quando o poço está em funcionamento ele demora cerca de 10 minutos para encher uma caixa d'água de 1000 L, a água dele é usada para dessedentação animal e para consumo humano.

Figura 8.8: Medição do N.A. no ponto 01.

Figura 8.9: Coleta de água com bayler.

Figura 8.10: Água sendo colocada na caneca inox.

Figura 8.11: Medição dos parâmetros *in situ.*

8.3 PONTO 02 (SRTD)

No ponto 02 foram encontrados dois pontos de água subterrâneas um poço e uma cisterna, ambos na residência do Sr. Ari Lucas Rosa.

Tabela 8.6: Dados coletados no cadastro do ponto 2 (poço tubular).

Cadastro de Usuários			
Proprietário:	Ari Lucas Rosa	**Telefone:**	33999527343
Id do Poço:	Ponto 02(STRD)	**Data:**	08/05/2019
Nível d'água inicial (m):	4,48	**CE (µS/cm):**	-
Profundidade (m):	5,12	**pH:**	-
Diâmetro Tubo (mm):	150,00	**EH (mV):**	-
Tubo de boca (m):	1,05	**Método da amostragem:**	-

Tabela 8.7: Dados coletados no cadastro do ponto 2 (cisterna).

Cadastro de Usuários			
Proprietário:	Ari Lucas Rosa	**Telefone:**	33999527343
Id do Poço:	Ponto 02(STRD)	**Data:**	08/05/2019
Nível d'água inicial (m):	3,96	**CE (µS/cm):**	1407
Profundidade (m):	4,40	**pH:**	7,109
Diâmetro Tubo (mm):	-	**EH (mV):**	157,90
Tubo de boca (m):	0,50	**Método da amostragem:**	Bayler

Figura 8.12: Medição do N.A. do poço.

Figura 8.13: Medição do N.A. da cisterna.

Devido à proximidade dos dois pontos ser muito pequena e o nível da água ser praticamente o mesmo considerou-se que a água em ambos era muito parecida então optou-se por coletar água somente na cisterna (Figura 8.14), pois a mesma é mais usada que o poço, no entanto ela somente é usada para dessedentação animal.

Os valores dos parâmetros físico-químicos medidos com o multiparâmetro indicam que a água tem pH levemente básico, Eh característico de ambiente oxidante e a condutividade é elevada, segundo os moradores ele é um pouco salobra o que pode explicar esse valor elevado.

Figura 8.14: Coleta de água na cisterna.

Figura 815: Medição dos parâmetros físico-químicos *in situ*.

8.4 PONTO 03 (SRTD)

A Tabela 8.5 apresenta um resumo dos dados coletados para o poço Ponto 03.

Tabela 8.8: Dados coletados no cadastro do ponto 3.

Cadastro de Usuários			
Proprietário:	Delio Pereira da Silva	**Telefone:**	33999046061
Id do Poço:	Ponto 03(STRD)	**Data:**	08/05/2019
Nível d'água inicial (m):	3,50	**CE (µS/cm):**	960
Profundidade (m):	4,23	**pH:**	7,828
Diâmetro Tubo (mm):	760,00	**EH (mV):**	157,60
Tubo de boca (m):	0,48	**Método da amostragem:**	Bayler

As medições dos parâmetros físico-químicos indicam que a água é mais básica que as demais encontradas na área de estudo, que o ambiente tem características oxidantes e a condutividade é um pouco menor a encontrada nos pontos próximos.

Figura 8.16: Cisterna do Ponto 03.

Figura 8.17: Medição do N.A. doa cisterna.

Figura 8.18: Coleta de água na cisterna.

Figura 8.19: Medição dos parâmetros *in situ.*

8.5 PONTO 04 (STRD)

A Tabela 8.9 apresenta um resumo dos dados coletados para o poço Ponto 04.

Tabela 8.9: Dados coletados no cadastro do ponto 4.

Cadastro de Usuários			
Proprietário:	Geraldo José de Souza	**Telefone:**	33991123935
Id do Poço:	Ponto 04(STRD)	**Data:**	08/05/2019
Nível d'água inicial (m):	-	**CE (µS/cm):**	326
Profundidade (m):	6,00	**pH:**	7,041
Diâmetro Tubo (mm):	150,00	**EH (mV):**	174,60
Tubo de boca (m):	-	**Método da amostragem:**	Bayler

Não foi possível realizar a medição do N.A. e da profundidade, segundo informações do proprietário a profundidade do poço é aproximadamente 6,0 metros e os 1,5 m mais profundos são furado (serrados), no entanto como sai uma mangueira diretamente do poço

para um tanque foi possível realizar a coleta da água (Figura 8.22) e a medição dos parâmetros (Figura 8.21). Os valores indicam que a água é praticamente neutra, o ambiente tem característica de ser oxidante enquanto a condutividade é bem menor que as demais, vale ressaltar que saiu quantidade considerável de areia na água do poço (Figura 8.23).

Figura 8.20: Poço com parte cimentada.

Figura 8.21: Coleta de água.

Figura 8.22: Medição dos parâmetros.

Figura 8.23: Presença de areia na água.

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

9.1 CONCEITOS

A seguir será apresentada uma descrição conceitual sobre tipos de aquíferos e como as rochas descritas para a região de estudo se comportam quanto ao seu potencial para o armazenamento e a circulação da água subterrânea.

Aquífero

Um aquífero é toda formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a explotação desta em quantidades economicamente viáveis. Esse conceito está relacionado à demanda de água local, sendo que um aquífero considerado pobre em uma região pode ser considerado como um aquífero de boa qualidade em outra.

A água contida em uma formação geológica qualquer pode ocupar tanto os vazios intergranulares quanto espaços vazios relacionados com falhas, fraturas e estruturas de dissolução/carstificação.

A seguir são apresentadas as classificações de aquíferos em relação ao tipo de porosidade e em relação ao confinamento:

Classificação em relação à porosidade: entende-se por porosidade granular ou primária os vazios formados entre os grãos da rocha, e por porosidade secundária ou fissural, aquela formada por descontinuidades da rocha, que possibilitam o armazenamento e a circulação de água subterrânea. Assim sendo, empregam-se as denominações de aquíferos com granular poroso (ou primária) e porosidade fissural (ou secundária). Existem também os aquíferos cársticos, normalmente caracterizados por redes de condutos subterrâneos formados pela dissolução de rochas, principalmente carbonáticas, e que também apresentam porosidade secundária.

Classificação em relação ao confinamento: aquíferos livres são aqueles no qual há uma superfície livre de água (em contato direto com o ar), ou seja, sob pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a água contida em seu interior está submetida a certa pressão, superior a atmosférica, e ocupa a totalidade dos poros e vazios da formação, saturando-a totalmente. Uma variação dos aquíferos confinados são os aquíferos denominados semiconfinados, no qual a camada superior ou inferior que os confine não seja totalmente

impermeável, mas semipermeável (vide definições adiante). Ou seja, um material que permita a circulação vertical da água, muito lenta, que alimente um aquífero a partir de outro situado acima ou abaixo.

9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para o entendimento da dinâmica hidrogeológica local é necessário realizar a compartimentação dos sistemas hidrogeológicos de fluxo. A princípio, de acordo com os pontos inventariados é possível delimitar um único sistema hidrogeológico, o Sistema Aquífero Cristalino.

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) é composto por dois subsistemas aquíferos. O primeiro é caracterizado por apresentar porosidade primária, ou seja, originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidado, originados do intemperismo das rochas graníticas da Suíte Intrusiva Galiléia (manto de intemperismo) e dos sedimentos depositados pelo Rio Doce nas épocas de cheia, esse sistema tem cerca de 10 metros de espessura e funciona como um reservatório e filtro para o aquífero fraturado subjacente.

O segundo e principal subsistema é o aquífero fraturado, caracterizado por apresentar porosidade secundária, ou seja, originada posteriormente a formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas das rochas graníticas sãs da Suíte Intrusiva Galiléia. Esse aquífero se estende desde cerca de 10 metros de profundidade até elevadas profundidades.

Em relação a classificação, o SAC e se enquadra como um sistema aquíferos livre, uma vez que o mesmo está submetido apenas a pressão atmosférica.

9.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Com base nas cotas do nível d’água dos pontos d’água subterrâneos cadastrados na área foi possível elaborar um mapa potenciométrico preliminar. No entanto devido a existência de poucos pontos para a aquisição de dados sobre o nível d’água só se conseguiu interpretar duas linhas equipotenciais (que representam posições de igual cota do nível d’água).

Para calcular a cota do nível d’água, primeiramente soma-se a altura do tubo de boca (medido com trena) à cota do local obtida por meio do GPS, então subtrai-se do resultado

da soma o valor do nível d'água (medido com o medidor de nível portátil) conforme equação a seguir.

$$cna = cp + atb - na$$

Cna = cota do nível d'água (m)

Cp = cota topográfica do ponto (m)

Atb = altura do tubo de boca (m)

Na = profundidade do nível d'água (m)

A Figura 9.1 apresenta o mapa potenciométrico calculado para a região a partir dos níveis d´água estáticos. A linha equipotencial com maior cota é a de 126 metros e a menor de 125 metros, seguindo-se essa tendência têm-se maiores cotas na porção sul da área e essas vão diminuindo à medida que se aproxima da calha do Rio Doce que possui cota de 116m, logo pode-se concluir com os dados obtidos em campo que o fluxo da água subterrânea na área de estudo vai em direção ao Rio Doce.

Mesmo quando observamos a potenciometria a partir do nível dinâmico medido no poço 01, o fluxo da água subterrânea ainda se mantém do aquífero em direção ao rio.

A água subterrânea produzida no poço 1 advém de fraturas como indicado no trabalho desenvolvido pela empresa Hidropoços (Anexo IV), que se encontram no aquífero fraturado em cotas mais baixas que a do Rio Doce, apontando para uma provável desconexão entre o rio e o aquífero fraturados.

Devido a pequena quantidade de dados não é possível observar como é a variação da carga hidráulica, então considera-se que o comportamento das linhas equipotenciais na área de estudo é constante, pois as rochas presentes em toda a área apresentam as mesmas características e propriedades de acordo com os dados geológicos obtidos. A carga e o gradiente hidráulico são relativamente pequenos (linhas equipotenciais espaçadas) como é de se esperar devido a topografia e ao tipo de aquífero encontrado na área.

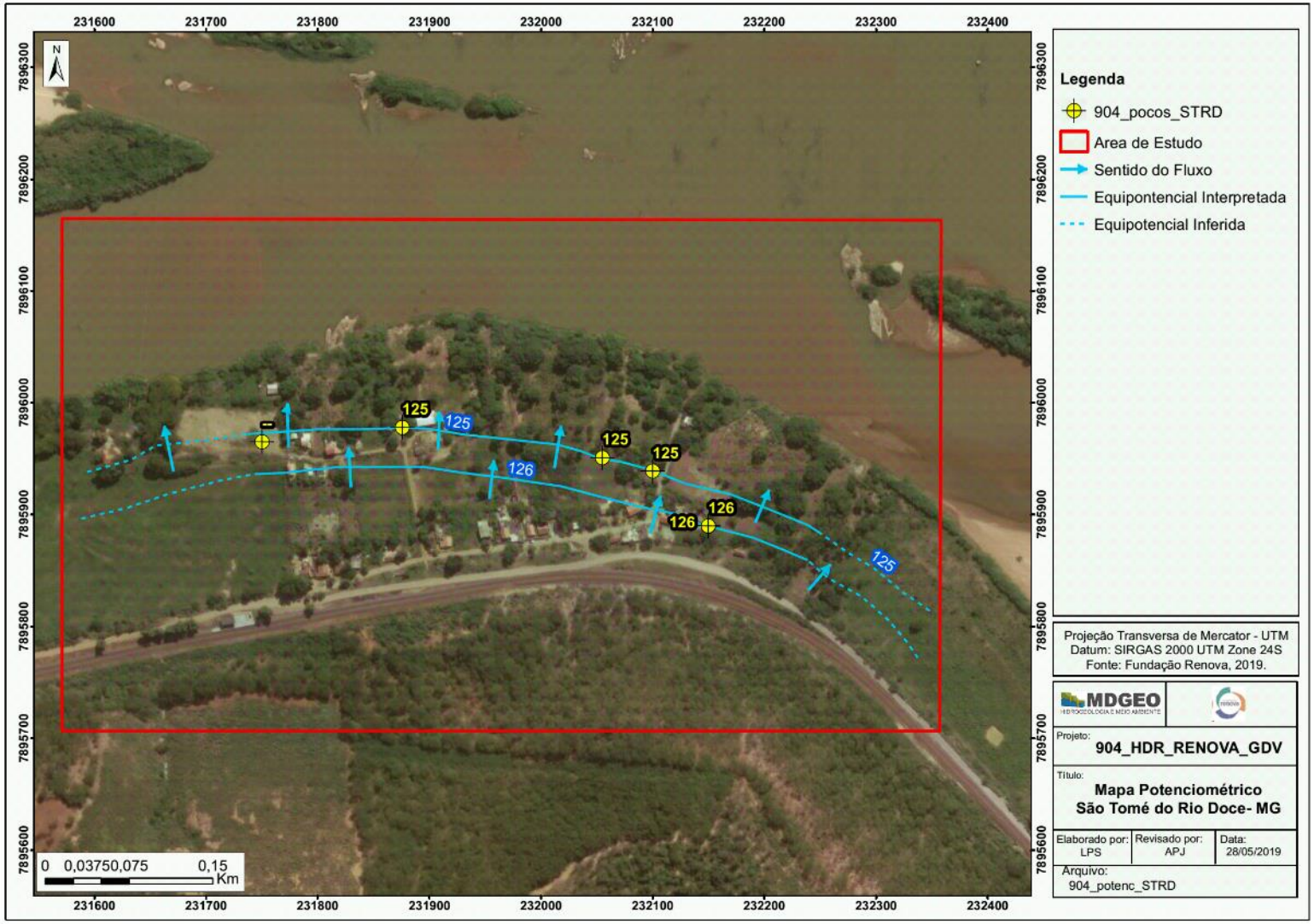


Figura 9.1 Mapa potenciométrico da região próxima ao Poço 1 – São Tomé do Rio Doce analisando o nível estático (NA).

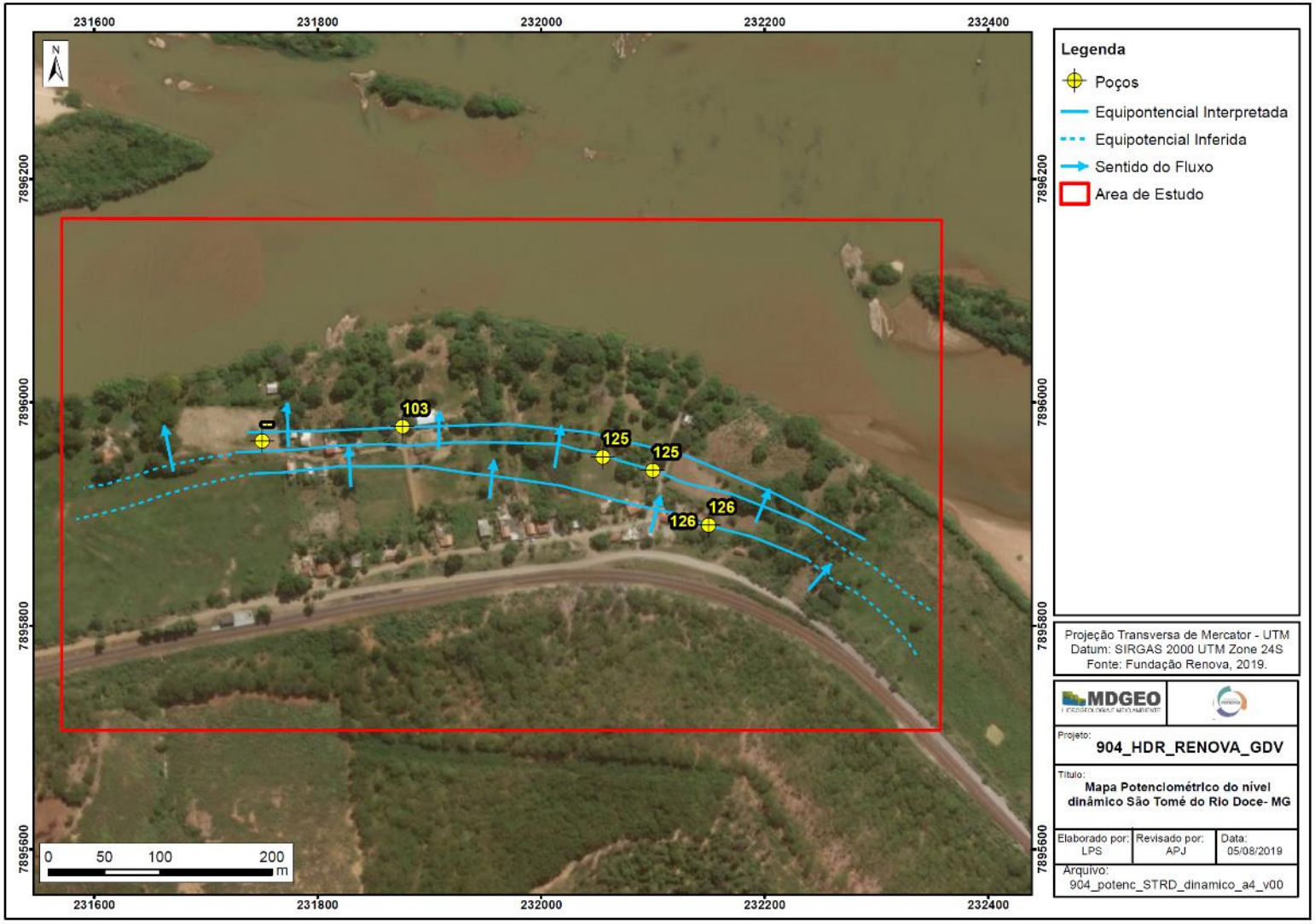


Figura 9.2: Mapa potenciométrico da região próxima ao Poço 1 – São Tomé do Rio Doce analisando o nível dinâmico (ND).

10 CONCLUSÕES

Durante o trabalho de campo realizado entre os dias 07 e 10 de maio, foram acompanhadas as atividades realizadas pelo povo da HIDROPOÇOS Ltda no Poço 1 de São Tomé do Rio Doce, ao final do estudo foi possível observar o rebaixamento do poço.

O cadastro dos pontos d'água subterrâneos (poços e cisternas) na área próxima ao poço. Os pontos cadastrados são apresentados a seguir.

- Poço 1 São Tomé do Rio Doce;
- Ponto 01 (SRTD) onde existe um poço;
- Ponto 02 (SRTD) onde existe um poço e uma cisterna;
- Ponto 03 (SRTD) onde existe uma cisterna;
- Ponto 04 (SRTD) onde existe um poço com a parte superior cimentada;

Em termos hidrogeológicos o único sistema aquífero existente é o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) que se divide em dois subsistemas aquíferos, o mais superficial caracterizado por apresentar porosidade primaria originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidado, originados do intemperismo das rochas graníticas (manto de intemperismo). E dos sedimentos depositados pelo Rio Doce, o mais espesso e importante caracterizado por apresentar porosidade secundária, originada posteriormente a formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas das rochas graníticas da Suíte Intrusiva Galiléia.

Com os dados das cotas do nível d'água estático dos pontos subterrâneos foi possível estabelecer que as linhas equipotenciais têm valores menores valores mais próximos a calha do Rio Doce que está na cota de 116 m, indicando fluxo de sul para norte. Apesar de existirem poucos dados sobre o nível d'água subterrânea na região, os resultados obtidos permitem determinar que na área de estudo o Rio Doce se comporta como um rio efluente, ou seja, o fluxo de água do rio é mantido devido a água cedida pelo aquífero. Analisando somente o nível estático pode-se concluir que a água que o poço capta não está vindo do Rio Doce e sim do aquífero cristalino que existe na região.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(INEP)., I. I. (10 de 06 de 2019). *Índice de Desenvolvimento da Educação Básica - IDEB - 2014*. Fonte: <http://ideb.inep.gov.br/>

ABAS. (2010). *Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste*. Fonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx

Ab'Saber, A. N. (1972). Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro: Considerações finais, conclusão. *Geomorfologia*, 28:01-38.

ALMEIDA, F., & LITWINSKI, N. (1984b). *Província Mantiqueira: setor setentrional. In: ALMEIDA, F.F.M, HASUI, Y. (Eds.), O Pré-Cambriano do Brasil.* São Paulo: Edgar Blucher.

ALMEIDA, F.F.M, HASUI, Y. (1984a.). O Pré-Cambriano do Brasil. . *São Paulo: Edgard Blucher,*, 378p. .

CBHRP. (2013). *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga*. Fonte: http://www.cbhpiranga.org.br/a-bacia

CPRM. (1991). *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ponte Nova. Folha SE.24-Y-C-I.* Ponte Nova.

FUGRO; SAMARCO. (2018). *MAPEAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE - BACIAS B1 E B2 DA FAZENDA FLORESTA.* 73p: FRN-01-GFS-GRE-01.

FUNDAÇÃO RENOVA. (17 de maio de 2017). Fonte: Site da Fundação Renova: http://www.fundacaorenova.org/a-fundacao/

IBIO, CBH - CARATINGA/MG, PREFEIRTURA MUNICIPAL DE TUMIRITINGA - MG, & FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE CARATINGA. (Outubro de 2016). PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PMSB) DO MUNICÍPIO DE TUMIRITINGA – MG. TUMIRITINGA, Minas Gerais, Brasil.

IGAM, & PIRH BACIA DO RIO DOCE. (Maio de 2010). PLANO DE AÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS CARATINGA PARH CARATINGA. Minas Gerais, Brasil.

INPE, I. N. (2015). *Índice de Desenvolvimento de Eduação Básica.* Brasília: IDBE.

MDGEO. (2017). *Relatório dos estudos hidrogeológicos na região da Fazenda Floresta. "Compilação de dados". Rio Doce - MG.* Belo Horizonte.

MDGEO; SAMARCO. (2018b). *PRAD GEOTECNICO - MODELO HIDROGEOLOGICO.*

NALINE JR, H., BILAL, E., & CORREIA-NEVES, J. (1998). Mineralogical, geochemical and isotopic constraints of neoproterozoic granitoids (Urucum and Galileia Suites) eastern Minas Gerais State, Brazil. *In: International conference on Basement Tectonics*, (pp. 44-56). Ouro Preto.

NALINE JR, H., BILAL, E., & PAQUETTE, J. (1997). U-Pb zircon geochronology and typology from Neoproterozoic granitoid suítes of the Rio Doce valley, eastern State of Minas Gerais, Brazil. *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITATES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS*.

PADILHA, A., VASCONCELLOS, R., & GOMES, R. (1991). *Evolução Geológica. In: PINTO, C.P. Projeto Barbacena: Folha Lima Duarte – SF.23-X-C-VI, escala 1:100.000.* Brasília: DNPM/CPRM.

PEDROSA-SOARES, A., DARDENE, M., HASUI, Y., & CASTRO, F. (1994). Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 1:1.000.000. Belo Horizonte, Minas Gerais: SEME-COMIG.

PEDROSA-SOARES, A., NOCE, C., & PINTO, C. (1998). Da litosfera oceânica ao arco magmático cálcio-alcalino: uma síntese das evidências de subducção – B no Orógeno Araçuaí – Oeste-Congo. *Congresso Brasileiro de Geologia* (p. 19). Belo Horizonte: SBG – Núcleo Minas Gerais.

Pedrosa-Soares, A., NOCE, C., WIEDEMAMM, C., & PINTO, C. (2001). The Araçuaí-West Congo Orogen In Brazil. *Na overwiew of a confined orogen formed during Gondwanaland Assembly. Precambrian Research*, pp. 307 - 323.

SBICS. (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* Rio de Janeiro: Embrapa.

VAUCHES, A., EGYDIO-SILVA, M., BABINSK, M., TOMMASI, A., UHLEIN, A., & LIU, D. (2007). Deformation of a pervasely molten middle crust: insights from the neoproterozoic Ribeira-Araçuaí orogen (SE-Brazil)., (pp. 278-286).

VIEIRA, V., NOCE, C., SILVA, L., & PEDROSA-SOARES, A. (2006). Idade U-Pb SHRIMP de Áreas-fontes da Sedimentação do Grupo Rio Doce, Orógeno Araçuaí. *In: Congr. Bras. Geol., 43,* , (p. 313). Aracaju.

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005467657
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OS-02 ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO AQUÍFERO E RIO, EM SÃO TOMÉ, TUMIRITINGA (MG)..
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SIND. DOS GEOLOGOS NO EST. DE MINAS GERAIS-SING

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$160.285,09. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **22/08/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005290478**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via da Obra/Serviço

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005467657
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OS-02 ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO AQUÍFERO E RIO, EM SÃO TOMÉ, TUMIRITINGA (MG)..
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SIND. DOS GEOLOGOS NO EST. DE MINAS GERAIS-SING

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$160.285,09. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **22/08/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005290478**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via do Contratante

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005467657
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OS-02 ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO AQUÍFERO E RIO, EM SÃO TOMÉ, TUMIRITINGA (MG)..
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SIND. DOS GEOLOGOS NO EST. DE MINAS GERAIS-SING

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$160.285,09. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **22/08/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005290478**

ANEXO II – MODELO DO TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE INTERVENÇÃO DA FUNDAÇÃO RENOVA

ANEXO III – FICHAS DE CAMPO

ANEXO IV – DADOS DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO REALIZADOS PELA EMPRESA HIDROPOÇOS NO POÇO 1

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

RELATÓRIO E

FUNDAÇÃO renova

reparar, restaurar, reconstruir

RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO C01 DE RESPLENDOR/MG

CONDICIONANTE Nº 7 PORTARIA DE OUTORGA Nº 1305261/2019 DE 13/06/2019 PROCESSO Nº 2468/2018

MAIO DE 2020

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Título do Projeto:	Relatório Técnico de Estudo Hidrogeológico Para Outorga do Poço C01 e do Poço C02 de Resplendor/MG condicionante Nº 7 Portaria de outorga Nº 1305261/2019 de 13/06/2019. Processo Nº 2468/2018.
Contrato:	4800015316
Vigência Contrato:	26/03/2018
Centro de Custo:	983/OS-02
Local:	Resplendor/MG

DADOS DA CONTRATANTE

Contratante:	FUNDAÇÃO RENOVA
CNPJ:	25.135.507/0001-8
Endereço:	Avenida Getúlio Vargas, 671, Sala 400, 4º Andar, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.112-021
Gestor do Contrato:	Euzimar Augusto da Rocha Rosado
Contato:	31-3557-6084
Fiscal projeto:	Vinícius Ricardo de Almeida Brito
Contato fiscal:	31 9 84631978

RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

Razão Social:	MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.
CNPJ:	38.625.927/0001-90
Responsável Técnico:	Antônio Carlos Bertachini
Contato:	Rua Gararu, 389, Sagrada Família 31.035-470 – Belo Horizonte – MG Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602 Fax: (+55) 31-3481-8911 mdgeo@mdgeo.com.br
Anotação de Resp. Técnica – ART:	5001235 – Breno Pereira – Resp. Téc. – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D 5607868 – Breno Pereira – Resp. Téc – Eng. Geólogo CREA MG 81028/D

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Antônio Carlos Bertachini (ABT) – Geólogo, Msc. CREA SP 70902/D	Consultor em Hidrogeologia	Consultor em Hidrogeologia Responsabilidade técnica
Breno Alexandre Pereira (BAP) – Eng. Geo. CREA MG 81028/D	Hidrogeólogo sênior	Responsabilidade técnica Gerente do Projeto
Arthur Carvalho Pimentel (ACP) – Geólogo	Analista de Hidrogeologia	Aquisição de dados em campo Confecção de relatório técnico
Antônio Carlos Pedrosa Júnior (APJ) – Eng. Geólogo	Analista de Hidrogeologia	Confecção de relatório técnico Confecção de mapas
Luciano de Jesus	Auxiliar de Campo	Aquisição de dados em campo
Yukimi Nathânia Yukawa (YNY) Engª Química	Analista Química	Análise hidroquímica Confecção de relatório técnico

REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROV.	FINALIDADE
V00	18/10/2019	APJ/ACP		Elaboração de relatório
V01	21/10/2019	MDGEO	BAP	Revisão interna
V02	23/10/2019	MDGEO	BAP	Versão preliminar enviar para análise do cliente
V03	23/10/2019	MDGEO	RENOVA	Relatório corrigido após revisão do cliente
V04	23/10/2019	MDGEO	RENOVA	Antiga versão final aprovada pelo cliente, antes dos dados hidroquímicos
V05	12/05/2020	YNY/BAP		Nova versão com dados hidroquímicos
V06	15/05/20 20	YNY/BAP		Revisão interna
R02	15/05/2020	MDGEO		Versão enviada para a revisão do cliente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6

2 OBJETIVO 8

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO 9

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO 10

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS 10
4.2 TRABALHO DE CAMPO 10
4.2.1 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea 10
4.2.1.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo 11
4.2.2 Coleta de amostras de água 12
4.2.2.1 Água subterrânea 12
4.2.2.2 Água superficial 13
4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO 14

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA 15

5.1 CLIMA 15
5.2 VEGETAÇÃO 20
5.3 PEDOLOGIA 20
5.4 REDE HIDROGRÁFICA 21
5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 22

6 GEOLOGIA 24

6.1 GEOLOGIA REGIONAL 24
6.1.1 Complexo Pocrane 25
6.1.2 Complexo Gnáissico-Kinzigítico 25
6.1.3 Grupo Rio Doce 26
6.1.3.1 Formação São Tomé 26
6.1.3.2 Formação João Pinto 26
6.1.3.3 Formação Palmital do Sul 27
6.1.4 Magmatismo sin- a tarditectônico 27
6.1.4.1 Granulito Mascarenhas 27
6.1.4.2 Granito Ataléia 27
6.1.4.3 Granito Nanuque 27
6.1.5 Suíte Intrusiva Galiléia 27
6.1.6 Granito tardi- a pós-tectônico 28
6.1.6.1 Suíte Intrusiva Urucum 28
6.1.7 Suíte Intrusiva Aimorés 29
6.1.7.1 Granito Caladão 29
6.1.7.2 Charnockito Padre Paraiso 29
6.1.8 Magmatismo Pós-tectônico 30
6.1.8.1 Granito Palmares 30
6.1.9 Coberturas detrito-lateríticas 30
6.1.10 Terraços Aluvionais 30
6.1.11 Aluviões 30
6.2 GEOLOGIA LOCAL 30
6.2.1 Formação São Tomé (UNIDADE 3) 31

7 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS 33

8 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA 36

9 CARATERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA 38

9.1 REFERENCIAL TEÓRICO 38
9.1.1 Balanço iônico 38
9.1.2 Diagrama triangular de Piper-Hill-Langelier 39
9.1.3 Diagrama de Stiff 39

9.1.4 Legislações ... *40*
9.1.4.1 Água Subterrânea ... 40
9.1.4.2 Água Superficial ... 40
9.1.5 Avaliação isotópica ... *41*
9.1.5.1 Deutério (2H) e oxigênio-18 (18O) ... 42
9.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA ... 45
9.2.1 Resultados ... *51*
9.2.1.1 Água Subterrânea ... 51
9.2.1.2 Água Superficial ... 64
9.3 CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA ... 66
9.3.1 Assinatura de isótopos estáveis (18O e 2H) ... *66*
9.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ANÁLISES HIDROQUÍMICAS ... 69
10 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL ... 72
10.1 CONCEITOS ... 72
10.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS ... 73
10.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA ... 73
11 CONCLUSÕES ... 77
12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ... 78

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Localização da área de estudo. ... 9
Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA em Resplendor. ... 15
Figura 5.2: Precipitação mediana, percentil 90° e percentil 10° mensal – Estação Resplendor (1941004). ... 18
Figura 5.3: Pluviometria total anual. ... 19
Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste. ... 22
Figura 6.1: Mapa geotectônico da região leste, mostrando os domínios presentes na área de trabalho. ... 24
Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados. ... 35
Figura 8.1: Localização dos pontos de coleta em Resplendor. ... 37
Figura 9.1: Somatório de cátions e ânions das amostras de água superficial e subterrânea. ... 47
Figura 9.2: Diagrama de Piper para as águas superficiais e subterrâneas. ... 48
Figura 9.3: Diagrama de Stiff para as águas superficiais e subterrâneas. ... 50
Figura 9.4: Frequência de ocorrência de parâmetros NÃO conformes às legislações: Conama Nº 396/2008 e PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5/2017 das águas subterrâneas. ... 55
Figura 9.5: Gráfico Manganês dissolvido e total (mg/L) x Ponto. ... 56
Figura 9.6: Gráfico Fluoreto (mg/L) x Ponto. ... 57
Figura 9.7: Gráfico Ferro dissolvido e total (mg/L) x Ponto. ... 58
Figura 9.8: Gráfico Ferro e manganês (mg/L) x Ponto. ... 59
Figura 9.9: Gráfico Turbidez (in situ) (NTU) x Ponto. ... 60
Figura 9.10: Gráfico Sulfato (mg/L) x Ponto. ... 61
Figura 9.11: Gráfico Sólidos dissolvidos totais (mg/L) x Ponto. ... 62
Figura 9.12: Gráfico Nitrato (mg/L) x Ponto. ... 63
Figura 9.13: Gráfico Cloreto (mg/L) x Ponto. ... 64
Figura 9.14: Linha meteórica global e local (LMG e LML), e dados isotópicos. ... 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA em Resplendor (1941004). ... 16
Tabela 7.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados. ... 33
Tabela 7.2: Dados dos pontos cadastrados (Datum WGS84). ... 34
Tabela 7.3: Parâmetros físico-químicos medidos in situ. ... 34

Tabela 8.1: Pontos coletados. 36
Tabela 9.1: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Custodio e Llamas (1976). 38
Tabela 9.2: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Logan (1965). 39
Tabela 9.3: Resultado do balanço iônico das amostras de água superficial e subterrânea e o erro associado. 46
Tabela 9.4: Classificação hidroquímica das amostras superficiais e subterrâneas. 48
Tabela 9.5: Resultados do Monitoramento Qualitativo das Águas Subterrâneas. 52
Tabela 9.6: Análise estatística das águas subterrâneas. 54
Tabela 9.7: Resultados do Monitoramento Qualitativo das Águas Superficiais. 64
Tabela 9.8: Resultados analíticos de ^{18}O e D para águas coletadas na área de estudo. 66
Tabela 9.9: Excesso de Deutério dos pontos do empreendimento. 69

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
ANEXO II – FICHAS DE CAMPO
ANEXO III – DADOS DO ENSAIOS DE BOMBEAMENTO REALIZADOS PELA EMPRESA HIDROPOÇOS NO POÇO C01
ANEXO IV – INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DO TESTE DE BOMBEAMENTO DO POÇO C01
ANEXO V – ACERVO FOTOGRÁFICO
ANEXO VI – LAUDOS HIDROQUÍMICOS
ANEXO VII – LAUDOS ISOTÓPICOS

1 INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, em decorrência do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão, nas dependências do Complexo Germano em Mariana - MG, de responsabilidade da SAMARCO MINERAÇÃO, ocorreu o deslizamento de cerca de 40 milhões de m³ de rejeitos do processo de beneficiamento do minério de ferro sobre o Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio do Carmo, o qual dá origem ao Rio Doce a partir do seu encontro com o Rio Piranga.

No dia 02 de março de 2016 foi assinado o Termo de Transação e de Ajuste de Conduta para estabelecer diretrizes a serem tomadas em função do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão. Na Cláusula 171, da Subseção IV.2 (Programa de melhoria dos sistemas de abastecimento de água, englobando as seguintes medidas de cunho reparatório e compensatório) ficou acordado que:

> **CLÁUSULA 171:** Nos municípios que tiveram localidades cuja operação do sistema de abastecimento público ficou inviabilizada temporariamente como decorrência do EVENTO, a FUNDAÇÃO deverá construir sistemas alternativos de captação e adução e melhoria das estações de tratamento de água para todas para as referidas localidades desses municípios que captam diretamente da calha do Rio Doce, utilizando a tecnologia apropriada, visando reduzir em 30% (trinta por cento) a dependência de abastecimento direto naquele rio, em relação aos níveis anteriores ao EVENTO, como medida reparatória.
>
> **PARÁGRAFO PRIMEIRO:** Este programa incluirá os levantamentos de campo, estudos de concepção e projetos básicos, que deverão ser desenvolvidos em 2 (dois) anos, a contar da data da assinatura deste Acordo. A partir destas atividades, as obras necessárias deverão ser concluídas num prazo de 3 (três) anos.
>
> **PARÁGRAFO SEGUNDO:** Considera-se que a operação do sistema de abastecimento público ficou inviabilizada temporariamente nas sedes dos seguintes Municípios: (i) Alpercata; (ii) Gov. Valadares; (iii) Tumiritinga; (iv) Galiléia; (v) Resplendor; (vi) Itueta; (vii) Baixo Guandu; (viii) Colatina; e (ix) Linhares.

Como estabelecido no TTAC a Fundação Renova[1] ficou incumbida de construir sistema alternativo de captação, adução e melhoria das estações de tratamento, visando reduzir em 30% (trinta por cento) a dependência de abastecimento direto naquele rio, em relação aos níveis anteriores ao rompimento no município de Resplendor.

Para regularização da captação no Poço C01 do município de Resplendor, foi realizado requerimento de outorga do poço C01 (Processo Nº 2468/2018), em 13/06/2019 emitido, através da Portaria de Outorga nº. 1305261/2019 para Captação de Água Subterrânea Por Meio de Poço Tubular Já Existente. Dentre as condicionantes, foi solicitado pelo órgão responsável um estudo de interferência rio-aquífero, Condicionante n 07 do referido certificado.

Para realização de tal estudo a Fundação Renova contratou a MDGEO (PEDIDO Nº 4800015316). Os trabalhos realizados na região de Resplendor procuraram entender a dinâmica de fluxo da água subterrânea na área próxima ao Poço C01. Destaca-se que existe um poço denominado como Poço C02 da COPASA, atualmente inoperante, e que não requer regularização, mas que foi utilizado para análise dos dados como um todo, pretendendo-se definir como é a relação de interferência Rio-Aquífero na área do poço.

Os estudos aqui apresentados incluem inicialmente o cadastramento dos poços C01 e C02 (localização, profundidade, nível d'água (N.A) e nível dinâmico (N.D)), levantamento de informação sobre os pontos d'água existentes na área (poços e cisternas), compilação de informações referentes a geologia, hidrogeologia, geomorfologia, além de outras informações fornecidas pela Fundação Renova são apresentados neste relatório.

[1] A Fundação Renova foi a entidade criada a fim de gerenciar os recursos destinados a mitigar os impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Sua missão é implementar e gerir os programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem, previstos no Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado pelo SAMARCO com o Governo Federal, os estados de Minas Gerais e Espirito Santo e diversos outros órgão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017).

2 OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo realizar a caracterização da dinâmica do fluxo da água subterrânea na região próxima aos Poço C01 de Resplendor a fim de cumprir os requisitos pedidos na Condicionante nº 07, do certificado de outorga Portaria 1305261/2019 - Processo Nº 2468/2018 (C01), (estudo rio-aquífero).

Entender como se dá a dinâmica de recarga e descarga entre o aquífero e o Rio Doce é a principal preocupação do presente trabalho.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO

O Poço C01, Poço C02 e a área de entorno localizam-se no município de Resplendor, que se encontra na porção leste do estado de Minas Gerais, a aproximadamente 451 km de Belo Horizonte.

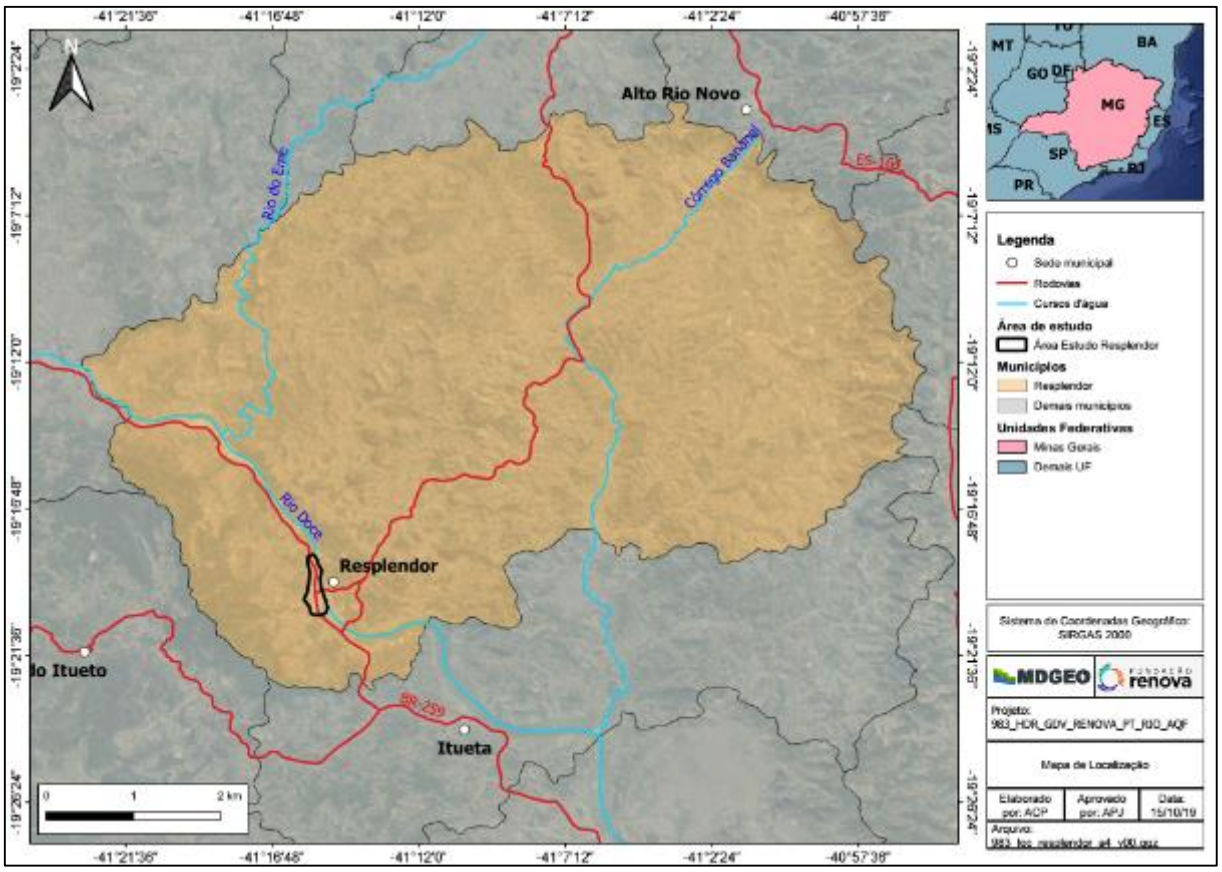


Figura 3.1: Localização da área de estudo.

O acesso mais rápido partindo de Belo Horizonte é realizado pela BR-381, passando por Roças Novas, João Monlevade, Timóteo, Ipatinga, Belo Oriente e Governador Valadares chegando até o distrito de São Vitor, o caminho após o distrito até o município de Resplendor é feito através da BR-259, passando por Galiléia e Conselheiro Pena.

4 ATIVIDADES REALIZADAS E METODOLOGIA DE TRABALHO

A seguir são descritas as atividades realizadas no projeto.

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS

Inicialmente foi realizada a compilação de dados da área de estudo. Nesta etapa reuniram-se todas as informações existentes relacionadas à cartografia, geologia, hidrografia e hidrogeologia da região. Bem como informações existentes sobre os poços a serem outorgado.

4.2 TRABALHO DE CAMPO

De posse das informações da etapa anterior, a equipe da MDGEO composta pelos profissionais Arthur Carvalho Pimentel (Analista de Hidrogeologia) e Luciano de Jesus (Auxiliar de Campo) foram para Resplendor realizar a coleta de informações no campo.

4.2.1 Cadastramento de Pontos d´Água Subterrânea

Nos dias 12, 13, 16 e 25 de setembro a equipe realizou cadastramento dos pontos de água subterrânea no entorno dos Poço C01 e C02, no total foram cadastrados 15 pontos. Desses 14 são poços e somente 1 é cisterna (PC_RE_17).

O cadastro desses pontos se deu a partir de idas as residências, as quais tinham informação sobre a existência de poços ou cisternas. Em todas as propriedades visitadas primeiramente chamava-se a pessoa que estava na propriedade (proprietário, inquilino, caseiro, funcionário, etc), apresentava-se como funcionários da MDGEO que estavam fazendo um estudo na região a mando da Fundação Renova, o qual contemplava o cadastro e a medição do N.A. do poço da propriedade, então pedia-se a autorização para a realização de tais trabalhos.

Durante a apresentação, eram feitas as seguintes perguntas a pessoa que nos atendeu:

- Nome, localização e, posteriormente à autorização,
- Número de usuários do poço,

- Tipo e quantidade de criação (galinhas, bovinos, suínos, etc), se fosse o caso,
- Quantidade de poços existentes na propriedade,
- Aspectos construtivos como profundidade do poço, diâmetro do poço, material atravessado durante a perfuração do poço, tipo de tubo,
- Aspectos sobre a qualidade da água, como cor, odor, etc.

Após a liberação para realização da atividade e questionário respondido pelo proprietário, pedia-se para ir até o(s) poço(s) ou pontos d'água, nos quais eram feitas as medidas diretas de:

- Coordenadas com GPS de campo,
- Profundidade do nível d'água,
- Profundidade do poço.

Por fim, pedia-se para ligar a bomba, com o intuito de medir a vazão de bombeamento do poço (inferida) e a obtenção de amostra d'água para a realização da medição dos parâmetros *in situ*:

- pH,
- Eh (mV),
- Condutividade elétrica (µS/cm) e,
- Temperaturas da água e do ar (°C).

Também foram devidamente fotografados, complementando assim as informações pedidas nas fichas de cadastramento da MDGEO e consequentemente a base de dados. As fichas de cadastramento são apresentadas no Anexo II.

4.2.1.1 Equipamento utilizados durante a etapa de campo

A ida a campo foi feita com uma camionete L200, placa QNC-6524 da marca Mitsubishi mobilizada pela Fundação Renova.

Todos os pontos foram locados com GPS da marca GARMIM MAP modelo 62s, utilizando o datum WGS84 como convenção.

As medições dos parâmetros foram realizadas através das canetinhas resistente à água da marca Hanna, combo pH/Eh/Temperatura e combo CE/pH/Temperatura, que eram calibrados todos os dias antes do início do campo.

O nível d'água era obtido por meio de um medidor de nível portátil de 100 m da marca Hidrosuprimentos. A coleta para medir os parâmetros *in situ* era feita com bayler ou pela bomba do poço e a medida dos parâmetros era feita na canequinha de alumínio, para evitar interferências externas.

Para medir a vazão foi utilizado um balde de 20L de alumínio e com o cronômetro marcava o tempo que o poço levava para encher o balde.

4.2.2 Coleta de amostras de água

A seguir, são apresentadas as metodologias de coleta adotadas para a realização de amostragens de água subterrânea e água superficial.

4.2.2.1 Água subterrânea

Todos os poços coletados possuíam sistema de bombeamento, portanto o procedimento de coleta consistiu em deixar a água fluindo por no mínimo 10 minutos e posteriormente prosseguir com o enchimento dos frascos de análise.

As coletas foram realizadas pela equipe técnica da MDGEO conforme procedimentos descritos na NBR 9.898/1987 da ABNT a qual dispõe sobre as condições exigíveis para a coleta e preservação de amostras e de efluentes líquidos domésticos e industriais e de amostras de água, sedimentos e organismos aquáticos dos corpos receptores interiores superficiais.

Seguindo orientações da norma supracitada, as amostras para análise de metais e elementos dissolvidos foram filtradas em membrana filtrante de porosidade 0,45 µm, imediatamente após a coleta, e então acidificadas. Todas as amostras foram refrigeradas à temperatura de 4 °C.

Para cada ponto foi preenchido uma ficha de coleta/cadeia de custódia.

O processamento das amostras para análise das variáveis físico-químicas foi realizado por meio do laboratório SGS Geosol, acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO com base nos requisitos da norma NBR ISO/IEC 17.025/2005.

As análises foram realizadas de acordo com os métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 1998).

No momento da coleta de água foram tomadas *in situ* medidas de pH, potencial de oxirredução (mV), condutividade elétrica (µS/cm), turbidez (UNT) e temperatura da água e do ar (°C). As leituras desses parâmetros foram realizadas através de uma sonda multiparâmetro da marca Hanna.

4.2.2.2 Água superficial

A coleta de água superficial foi realizada pela equipe técnica da MDGEO, conforme procedimentos descritos na NBR 9.898/1987 da ABNT a qual dispõe sobre as condições exigíveis para a coleta e preservação de amostras e de efluentes líquidos domésticos e industriais e de amostras de água, sedimentos e organismos aquáticos dos corpos receptores interiores superficiais.

No curso d'água evitou-se coletar em locais de água estagnada ou muito turbulenta. A água foi coletada com o auxílio de um recipiente de amostragem, a fim de garantir a homogeneidade das amostras, e depois distribuída pelos diversos frascos de coleta.

Para cada ponto foi preenchida uma ficha de coleta.

As análises foram realizadas de acordo com os métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 1998), e os resultados comparados aos valores de referência admissíveis estabelecidos para as águas superficiais nas legislações pertinentes.

O processamento das amostras para análise das variáveis físico-químicas foi realizado por meio do laboratório SGS Geosol, acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO com base nos requisitos da norma NBR ISO/IEC 17.025/2005.

No momento da coleta de água foram tomadas *in situ* medidas de pH, potencial de oxirredução (mV), condutividade elétrica (µS/cm), turbidez (UNT) e temperatura da água e do ar (°C). As leituras desses parâmetros foram realizadas através de uma sonda multiparâmetro da marca Hanna.

4.3 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

A última etapa do estudo consistiu na elaboração do presente relatório através da consolidação e interpretação dos dados coletados em campo, análise laboratorial das amostras de água e discussões sobre os resultados obtidos.

5 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as características dos componentes fisiográficos existentes na região de Galiléia, tais como vegetação, clima, rede hidrográfica/drenagens e aspectos geomorfológicos.

5.1 CLIMA

Os dados climatológicos aqui descritos foram extraídos na estação de monitoramento pluviométrico da Agencia Nacional de Águas (ANA) no município de Resplendor-MG (1941004). A Figura 5.1 mostra a localização da estação em relação a área de estudo.

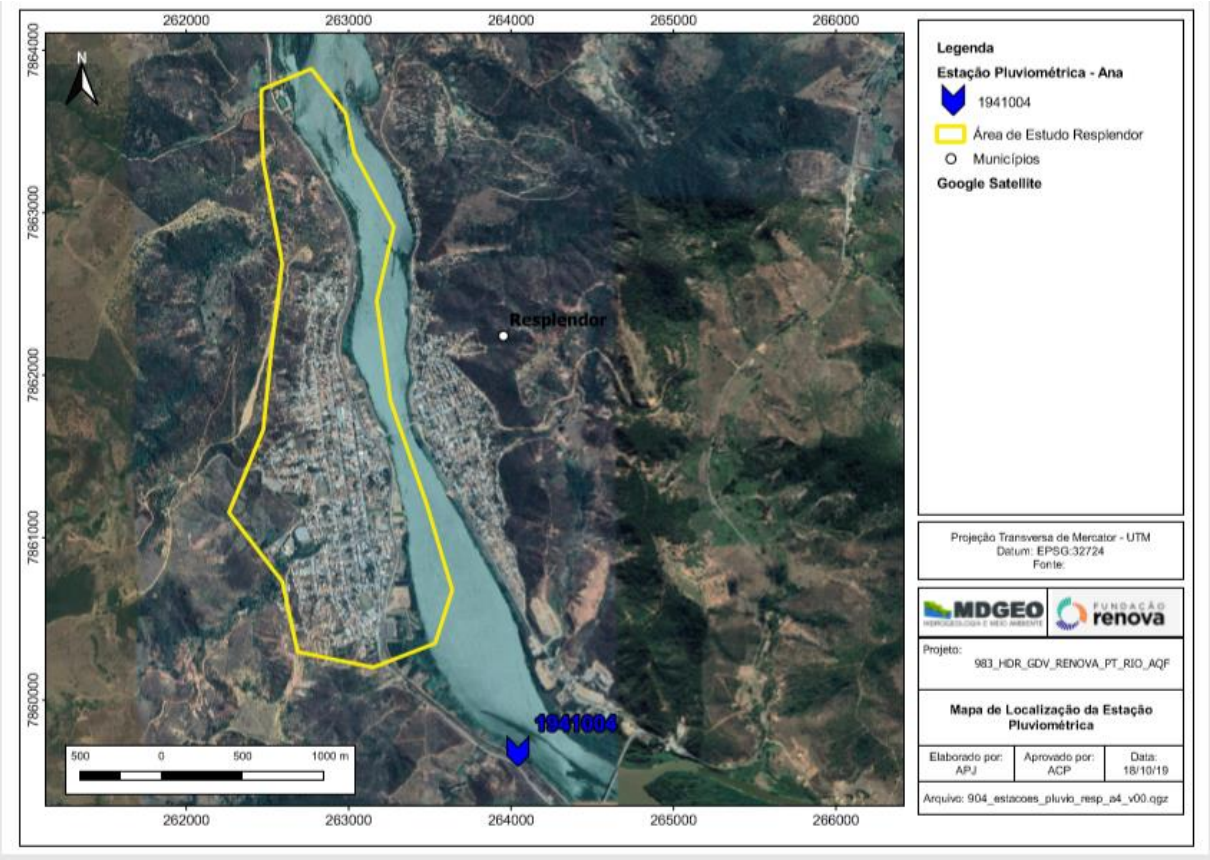


Figura 5.1: Localização da estação de monitoramento pluviométrico da ANA em Resplendor.

Esta estação da ANA tem dados de monitoramento pluviométrico desde de outubro de 1944 até o março de 2019. A Tabela 5.1 apresenta os dados da série histórica da precipitação mensal registrada neste período.

Nesta tabela podem ser consultados todos os dados existentes da estação de Resplendor, além das precipitações medianas, percentil 90° e percentil 10° de toda a

série histórica, as quais podem ser visualizadas graficamente na Figura 5.2, sendo que os dados foram organizados conforme o ano hidrológico local, considerando o período chuvoso de outubro a março e o período seco de abril a setembro.

Tabela 5.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA em Resplendor (1941004).

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1944/1945	155,60	17,20	262,10	214,40	77,30	77,10	111,00	19,00	0,00	6,00	5,00	23,00
1945/1946	30,60	134,00	189,00	124,70	44,70	150,00	94,30	21,00	0,00	8,30	19,00	62,10
1946/1947	43,40	344,60	66,90	84,90	73,80	142,80	20,30	10,20	0,00	25,20	14,40	31,00
1947/1948	129,30	135,50	290,30	-	-	-	3,60	12,30	0,00	20,80	0,00	2,10
1948/1949	24,60	139,90	430,30	380,70	307,20	26,50	155,90	8,30	18,70	0,00	3,60	0,00
1949/1950	117,80	160,50	215,50	78,80	15,80	169,40	114,40	0,00	13,40	9,40	1,30	13,10
1950/1951	55,50	217,50	157,70	92,60	152,50	107,50	34,20	0,00	16,30	6,60	10,60	0,00
1951/1952	0,00	16,80	219,00	211,10	324,80	185,80	43,80	32,80	13,50	17,50	8,40	34,60
1952/1953	2,70	340,70	284,30	44,90	169,60	83,40	49,60	14,40	0,00	17,80	0,30	32,10
1953/1954	35,20	332,20	376,30	94,20	40,60	101,60	18,70	22,60	0,30	9,10	0,00	8,40
1954/1955	41,10	180,10	287,80	194,80	28,60	25,80	23,50	44,00	0,00	10,30	0,00	0,60
1955/1956	107,50	214,80	356,80	10,40	53,10	103,40	34,30	148,20	122,50	6,40	0,20	0,00
1956/1957	62,00	191,60	373,80	151,70	119,70	113,80	131,70	75,30	1,90	1,60	0,00	125,80
1957/1958	28,70	193,00	348,50	132,20	182,40	152,40	93,20	21,90	10,40	51,10	0,00	69,20
1958/1959	210,90	232,20	206,90	115,30	56,00	62,70	43,50	10,80	0,80	10,00	0,00	50,40
1959/1960	106,70	180,80	282,30	491,20	76,80	375,70	10,10	0,00	11,40	0,60	0,00	18,10
1960/1961	0,00	375,10	69,70	586,10	54,10	46,60	0,00	15,50	20,90	21,40	0,00	0,00
1961/1962	49,90	107,40	207,30	442,10	83,60	83,40	16,40	0,00	26,30	0,00	0,00	38,60
1962/1963	129,90	100,00	506,50	8,50	39,10	23,30	53,20	0,00	4,30	5,00	0,00	0,00
1963/1964	0,00	150,60	48,90	291,50	180,20	155,50	27,10	15,00	0,00	47,00	35,20	55,60
1964/1965	240,20	253,80	125,30	315,20	200,80	116,30	25,20	27,10	31,60	38,20	0,50	31,50
1965/1966	274,00	245,70	65,70	341,90	30,80	9,40	68,60	51,80	0,00	42,90	0,00	35,80
1966/1967	61,90	262,00	126,80	154,40	171,40	61,70	38,70	26,50	25,30	0,00	0,00	0,00
1967/1968	13,50	211,20	193,20	138,50	279,60	116,70	114,70	0,00	19,80	24,80	58,10	40,00
1968/1969	145,60	87,80	111,00	181,90	0,00	55,80	95,80	21,70	42,20	0,00	9,50	0,00
1969/1970	55,70	106,00	441,60	334,10	6,90	2,60	28,20	0,80	0,00	10,60	14,60	28,20
1970/1971	85,70	196,20	90,80	104,30	45,00	71,50	29,00	21,70	39,20	18,00	5,10	29,70
1971/1972	119,40	465,60	214,20	99,30	102,30	58,60	70,60	0,00	0,00	24,60	12,20	44,50
1972/1973	45,30	172,30	201,20	136,40	53,90	390,60	32,60	30,90	9,50	6,90	0,00	26,60
1973/1974	227,40	208,00	222,80	75,70	135,00	132,20	59,30	24,50	1,30	3,20	2,20	5,80
1974/1975	105,40	83,40	115,00	234,40	57,40	50,90	63,80	37,20	3,20	5,30	1,50	37,80
1975/1976	170,40	221,10	131,90	3,20	153,20	31,60	26,80	36,40	6,00	8,40	4,70	61,70
1976/1977	65,80	263,80	492,80	218,60	32,80	50,80	105,40	32,90	4,20	25,50	1,20	26,90
1977/1978	50,70	220,10	186,20	150,20	67,90	132,30	47,10	40,30	6,30	53,10	11,20	27,60
1978/1979	165,60	177,20	79,00	553,30	163,80	137,20	52,20	12,10	1,80	16,00	31,20	7,80
1979/1980	55,70	242,90	293,00	263,10	155,30	51,90	255,00	44,20	25,00	23,70	18,70	6,20
1980/1981	6,50	106,40	185,30	201,00	201,90	218,10	35,80	19,80	23,10	1,00	18,90	0,10
1981/1982	289,60	496,30	120,00	287,50	23,10	162,50	184,20	41,40	1,30	5,50	20,60	6,00
1982/1983	27,50	41,30	114,50	247,80	150,10	178,10	73,00	46,30	22,00	19,00	0,00	43,90
1983/1984	111,90	146,70	327,10	92,10	41,20	167,10	17,10	1,70	1,50	0,00	94,20	24,90
1984/1985	114,10	191,40	356,20	461,60	86,50	78,20	35,80	2,90	3,60	6,40	17,90	23,70
1985/1986	73,50	136,60	157,40	170,60	64,00	18,30	43,80	7,70	5,90	9,30	60,70	9,50
1986/1987	12,90	90,70	159,70	206,20	11,30	238,80	60,70	48,70	16,80	4,50	3,60	33,20

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1987/1988	119,10	217,30	260,20	161,80	73,30	161,70	95,50	53,80	20,40	4,40	2,70	3,20
1988/1989	84,20	171,00	118,70	75,80	67,50	179,00	2,40	23,30	70,70	15,70	12,20	70,10
1989/1990	80,50	137,20	172,70	8,50	89,90	11,50	59,40	21,80	3,20	43,40	57,50	22,90
1990/1991	105,50	83,30	153,30	241,60	160,50	205,90	33,50	27,20	19,60	21,80	12,40	108,20
1991/1992	31,70	139,90	138,00	294,90	107,60	48,00	57,40	11,90	21,90	13,80	16,90	45,10
1992/1993	204,40	164,70	221,80	177,90	42,60	11,20	95,60	24,30	25,50	0,50	17,50	56,40
1993/1994	30,30	37,00	271,10	168,10	44,70	247,20	83,50	27,10	1,80	4,90	0,00	2,60
1994/1995	27,60	228,20	127,30	41,90	25,50	63,90	161,10	21,10	12,00	33,10	5,50	4,40
1995/1996	118,10	167,50	353,90	32,50	11,80	75,30	48,70	4,00	9,40	0,60	13,80	81,40
1996/1997	126,10	231,10	229,00	228,70	82,50	339,00	28,40	10,30	7,20	0,00	16,80	56,20
1997/1998	107,80	134,80	172,80	283,90	66,80	85,40	14,50	5,10	1,60	0,00	0,60	0,00
1998/1999	91,50	181,40	144,00	43,70	59,90	158,00	68,50	3,00	0,00	2,80	0,50	2,50
1999/2000	143,10	254,90	166,40	132,70	17,80	70,70	93,10	40,40	10,20	0,40	12,40	43,20
2000/2001	8,10	223,60	332,50	50,40	29,40	88,10	1,90	37,60	13,00	1,80	6,20	35,00
2001/2002	116,50	368,70	198,20	202,00	82,50	74,40	2,50	50,80	4,80	0,30	21,50	123,00
2002/2003	5,00	147,00	361,00	352,50	83,60	53,00	37,30	4,00	0,00	0,00	13,70	20,30
2003/2004	38,00	77,00	251,00	265,30	216,40	166,20	78,00	26,00	17,20	27,20	0,00	12,00
2004/2005	43,50	98,00	231,00	177,30	226,90	114,50	48,10	134,90	52,20	1,60	5,40	12,30
2005/2006	48,80	278,80	194,20	29,00	38,20	210,90	118,20	31,20	2,00	17,50	12,60	69,20
2006/2007	54,40	274,40	411,10	166,60	124,30	22,50	18,60	9,20	2,00	3,10	10,90	22,80
2007/2008	5,30	94,70	82,90	226,20	87,00	93,30	34,50	1,60	1,20	6,20	2,00	14,00
2008/2009	20,40	279,00	143,90	334,70	7,90	96,10	62,20	1,90	67,80	6,50	12,10	7,70
2009/2010	342,70	26,70	140,80	32,50	28,10	53,60	36,50	60,10	0,00	7,40	0,00	6,40
2010/2011	85,80	302,70	266,20	48,00	47,20	197,90	125,60	0,00	1,70	4,10	0,90	0,70
2011/2012	117,60	160,00	210,30	185,50	17,40	19,00	12,90	73,80	26,30	9,00	58,80	15,10
2012/2013	6,30	463,80	58,00	128,10	70,70	146,90	12,30	62,90	15,80	3,40	13,90	12,00
2013/2014	133,80	239,40	936,40	78,20	77,20	65,50	17,40	2,20	13,20	53,10	13,90	14,00
2014/2015	35,20	78,40	110,90	0,00	161,40	17,60	52,50	27,30	3,30	4,70	3,50	0,00
2015/2016	31,70	52,90	74,00	277,50	45,10	26,60	15,30	18,00	12,50	1,80	0,00	33,20
2016/2017	27,30	389,60	121,80	55,60	89,70	108,60	29,40	48,60	15,90	22,30	3,00	3,60
2017/2018	-	130,90	259,00	104,10	250,60	153,50	104,50	22,00	14,40	9,30	11,60	4,60
2018/2019	64,00	167,10	215,20	33,00	140,80	75,40	-	-	-	-	-	-
Mediana	63,00	180,10	201,20	164,20	73,55	90,70	45,45	21,75	8,30	7,15	5,25	22,85
Percentil 90	168,96	337,3	368,68	339,74	195,28	203,5	114,6	51,5	26,3	31,33	21,23	61,98
Percentil 10	6,98	80,36	86,06	32,65	19,39	22,74	13,38	0,24	0	0,09	0	0

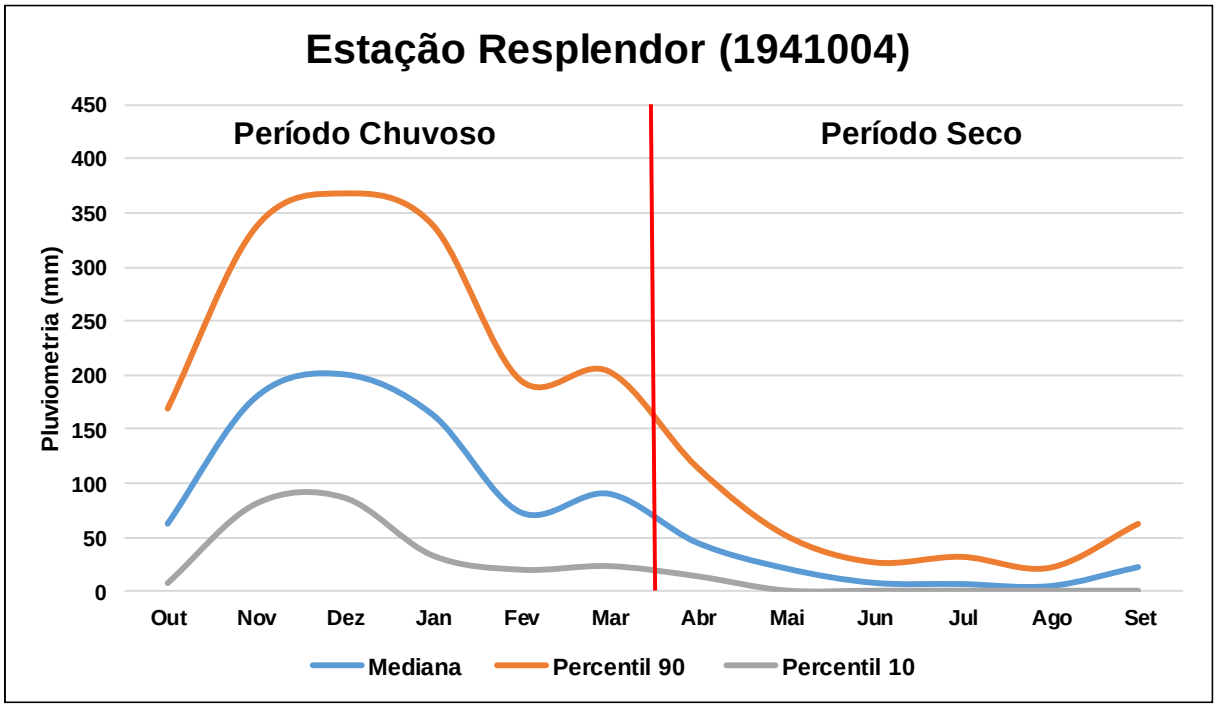


Figura 5.2: Precipitação mediana, percentil 90° e percentil 10° mensal – Estação Resplendor (1941004).

A precipitação anual é apresentada pela Figura 5.3, também diferenciando a contribuição do período chuvoso (outubro a março) e do período seco (abril a setembro), e comparando o total anual com a mediana plurianual da série.

De acordo com a figura a seguir a mediana plurianual da precipitação da série apresentada, considerando o ano hidrológico, é de 883,5 mm/ano. A mediana para o período chuvoso é de 851,5 mm/ano que corresponde a aproximadamente 85,5% de toda precipitação anual, e a mediana do período seco é de 144,0 mm/ano que corresponde a 14,5% da precipitação anual.

Analisando os anos hidrológicos completos, nota-se que o ano hidrológico de 2013/2014, apresentou o máximo de precipitação acumulada, totalizando 1644,3 mm, e o ano mais seco, com base nos registros, foi o de 2014/2015, com total acumulado de 494,8 mm.

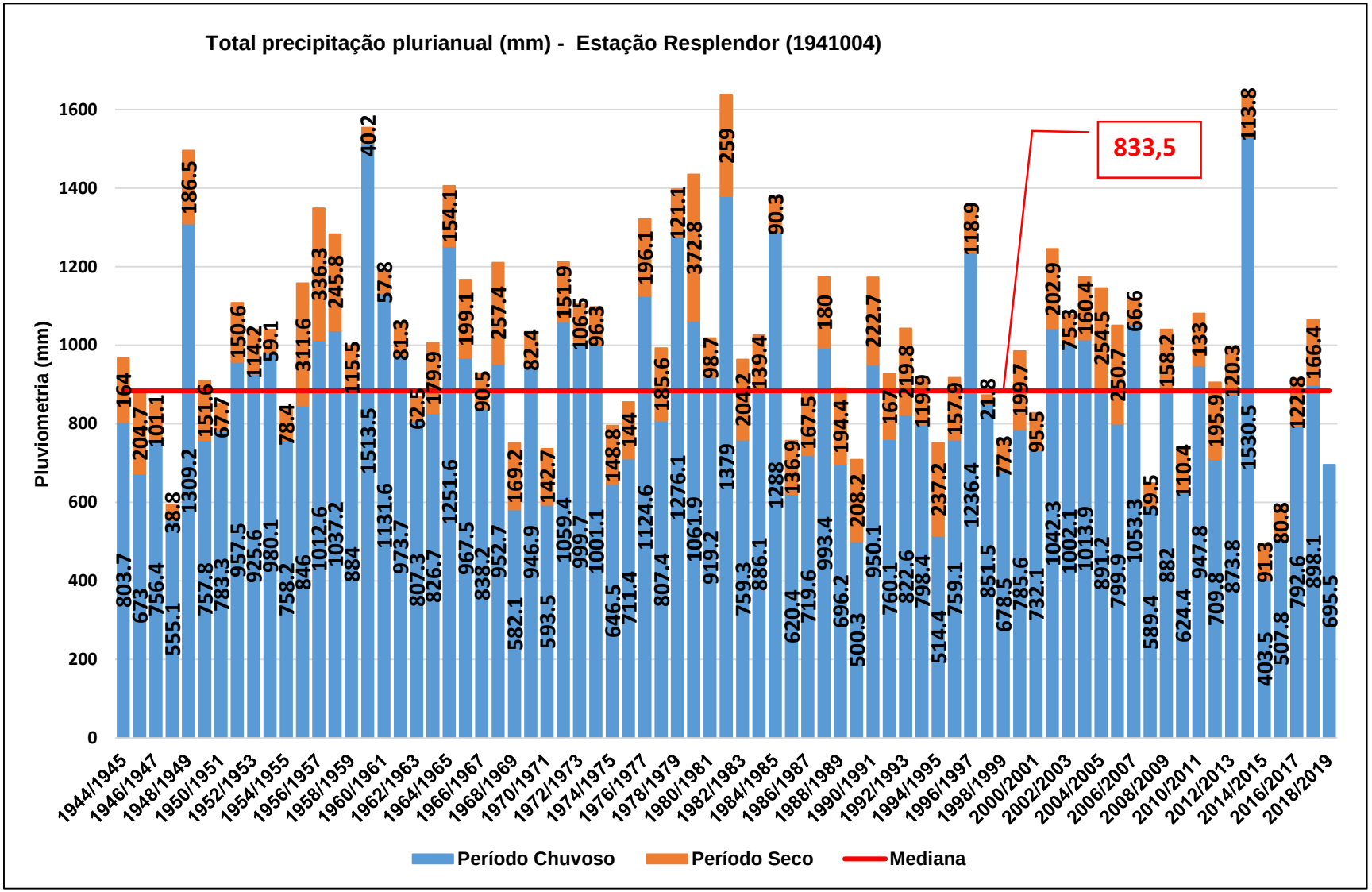


Figura 5.3: Pluviometria total anual.

5.2 VEGETAÇÃO

De acordo com as informações do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010), a da área de estudo se encontra inteiramente sobre o bioma de mata atlântica.

De acordo com o Inventário Florestal de Minas Gerais (2009), o município de Resplendor insere-se no bioma Mata Atlântica, cujas características variam conforme a localização. A Floresta Estacional Semidecidual Sub Montana se distribui por praticamente todo o território municipal, a Floresta Estacional Semidecidual Montana ocorre principalmente nas regiões leste e sudoeste, em pequenos fragmentos da porção oeste existem os Campo Rupestre, enquanto na região leste ocorre o reflorestamento de eucalipto.

5.3 PEDOLOGIA

No município de Resplendor os solos são do tipo: cambissolo háplico tb distrófico, argissolo vermelho eutrófico, argissolo vermelho amarelo distrófico (UNIVERSIADE FEDERAL DE VIÇOSA *et al*., 2010)

Sendo caracterizado de acordo com os critérios adotados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA e baseados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBICS, 2018);

- Cambissolo háplico tb distrófico, são solos constituídos por material com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial ou horizonte A chernozênico não húmico. Apresentam argila de baixa atividade e de baixa fertilidade.
- Argissolo vermelho eutrófico, são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E. O horizonte Plíntico, se presente, não satisfaz os critérios para Plintossolos; horizonte glei, se presente, não satisfaz aos critérios para Gleissolos. Solos com matriz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) e com saturação por bases maior que 50%.

- Argissolo vermelho amarelo distrófico, são solos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E. O horizonte Plíntico, se presente, não satisfaz os critérios para Plintossolos; horizonte glei, se presente, não satisfaz aos critérios para Gleissolos. Solos com cores vermelho-amarelada e/ou amarelo avermelhada e com saturação por base menos que 50%.

5.4 REDE HIDROGRÁFICA

A área de estudo está localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (RHAS), definida pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2010) como de alto contingente populacional e importância econômica ligada à sua indústria. O município de Resplendor situa-se na porção norte da RHAS, sendo que a principal bacia hidrográfica que compõem a região é a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD).

A área de estudo está inserida dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, situada na Sub-bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu (IGAM & PIRH BACIA DO RIO DOCE, 2010), ou seja, faz parte de uma porção da bacia do Rio Manhuaçu, mas as drenagens da região desaguam no Rio Doce. A cidade de Resplendor está localizada na margem esquerda da bacia, sendo chamada de bacia incremental Manhuaçu (DO6).

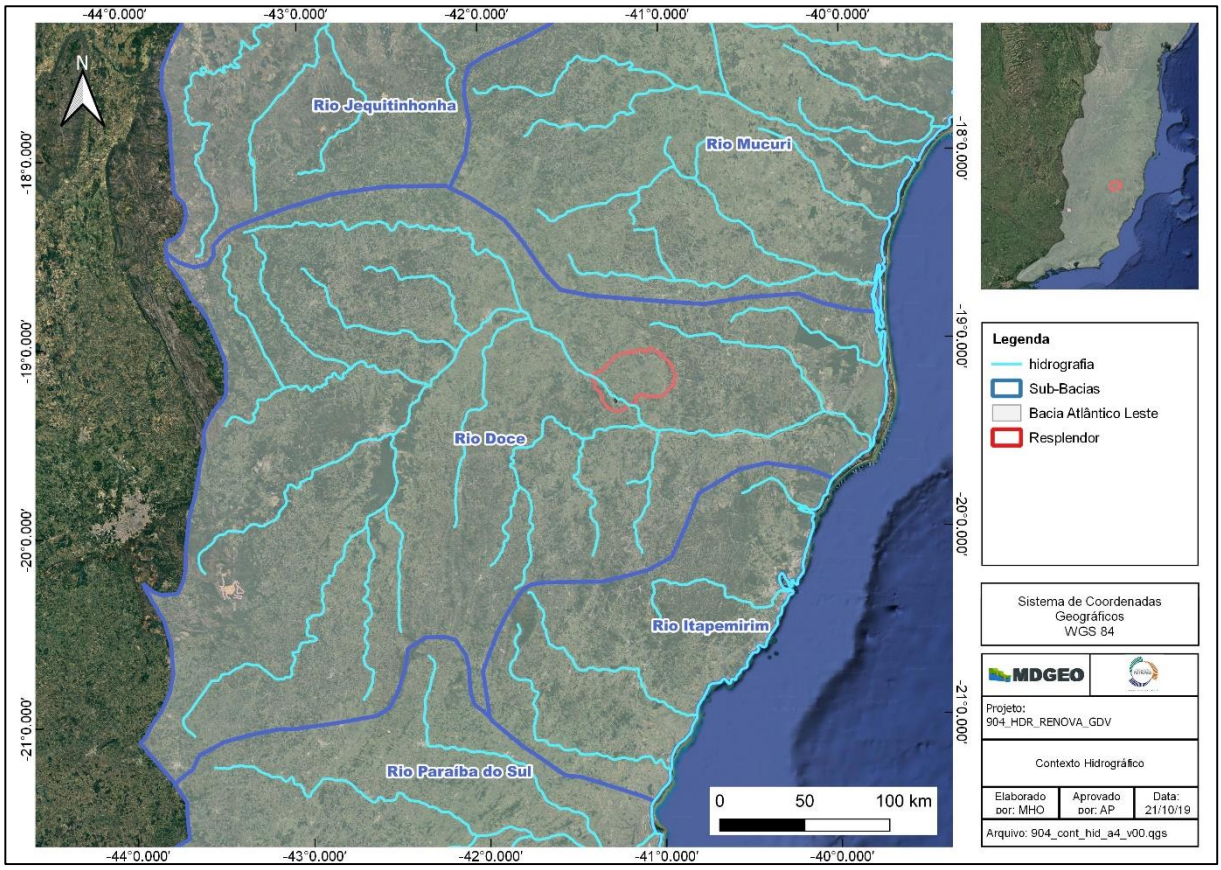


Figura 5.4: Localização da área perante a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste.

5.5 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A maior parte da área do município de Resplendor apresenta elevações entre 59 e 416 metros, sendo que nos extremos oeste e leste essas podem atingir 1131 m (INVENTÁRIO FLORESTAL DE MINAS GERAIS, 2009).

Segundo (IBIO, CBH-MANHUAÇI/MG, & PREFEITURA MUNICIPAL DE RESPLENDOR - MG, 2016) o município de Resplendor insere-se em duas unidades geomorfológicas, sendo que cerca de 90% da área está inserida na Depressão do Rio Doce e o restante nas Chapadas, Planaltos e Patamares dos Rios Jequitinhonha/Pardo.

O Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce, diz que a Depressão do rio Doce, instalada ao longo do rio e seus afluentes, é uma região com altitudes que variam de 250 a 500m, configurando-se como uma depressão interplanáltica, o contato com as formas de relevo dos planaltos circundantes é muito bem marcado por desníveis altimétricos abruptos.

Por sua vez as Chapadas, Planaltos e Patamares dos Rios Jequitinhonha abrangem a maior parcela do médio vale do Rio Jequitinhonha, até as proximidades da confluência do Rio São Miguel, na localidade de Jequitinhonha. São caracterizados como regiões aplainadas, limitadas por rebordos erosivos bem marcados, denominados regionalmente de chapadas, com altitudes de aproximadamente900m, podendo atingir cotas de 1000 a 1200m, em seus setores oeste e sudeste (IBIO, CBH-MANHUAÇU/MG, & PREFEITURA MUNICIPAL DE RESPLENDOR - MG, 2016 apud ATLAS DIGITAL DE MINAS GERAIS, 2006).

6 GEOLOGIA

6.1 GEOLOGIA REGIONAL

O capítulo de Geologia Regional foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha Conselheiro Pena (SE.24-Y-C-II) confeccionada pela (CPRM, 2000).

A área de estudo está localizada na Região Leste, no domínio Cinturão Araçuaí, na porção Setentrional da Província Estrutural ou Geotectônica Mantiqueira (ALMEIDA, F.F.M, HASUI, Y., 1984a.; ALMEIDA & LITWINSKI, 1984b; PADILHA, VASCONCELLOS, & GOMES, 1991), do Brasiliano, composto pelo Complexo Pocrane, Complexo Gnáissico-Kinzicítico, Grupo Rio Doce, Suíte Intrusiva Galiléia, Suíte Intrusiva Urucum, Suíte Intrusiva Aimorés, magmatismo pós-tectônico e depósitos eluviais, aluvionares e coluvionares (Figura 6.1).

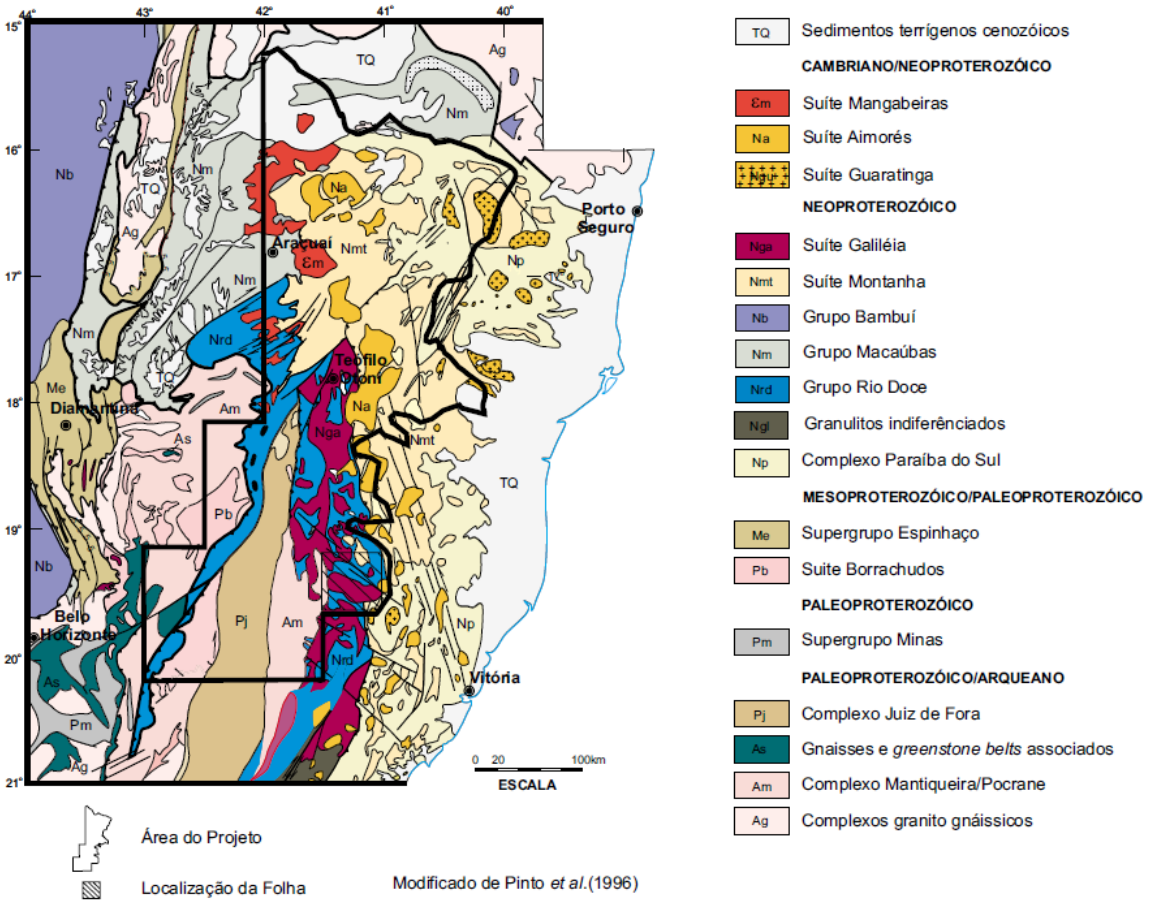


Figura 6.1: Mapa geotectônico da região leste, mostrando os domínios presentes na área de trabalho.

6.1.1 Complexo Pocrane

Formados por rochas que afloram no quadrante SW da Folha Conselheiro Pena, circundadas pelo Tonalito Galiléia e pelos quartzitos da Formação João Pinto (Grupo Rio Doce). Rochas de idade arqueana, atribuídas ao retrabalhamento do Ciclo Brasiliano.

Os gnaisses do complexo se apresentam intensamente deformados, foliação subvertical, por vezes milonítica. Esta foliação é plano-axial de dobras com flancos e eixos subvertais a verticais. São rochas predominantemente esverdeadas por vezes acinzentadas ou arroxeados e finamente bandados, de composição granítica a tonalítica e contêm allanita e titanita.

6.1.2 Complexo Gnáissico-Kinzigítico

O complexo ocorre a leste da Folha Conselheiro Pena. São gnaisses com bandamento composicional de centimétrico a métrico, as bandas máficas são biotíticas e as félsicas, quartzo-feldspáticas.

São divindades em duas unidades, o contato entra as duas unidades foi classificado como uma falha de empurrão frontal a oblíquo.

- Unidade 1, possui uma menor concentração de sillimanita, apresenta um intenso cisalhamento e apresenta no contato com o Tonalito Galiléia camadas rompidas, boudinadas e imbricadas. Veios de quartzo e de pegmatitos, contato foi classificado como uma falha de empurrão frontal a oblíquo, de direção NW.
- Unidade 2, possui uma maior concentração de sillimanita, bastante deformada, com feições de boudinagem e estiramento de minerais. Possui níveis calcissilicática e intercalações graníticas, desde centimétricas a decamétricas.

Os gnaisses kinzigíticos apresentam-se inteiramente associados aos granitos do tipo S da porção oriental do leste mineiro, datadas no neoproterozóico.

6.1.3 Grupo Rio Doce

Foram agrupados metassedimentos que aparecem no quadrante NW da folha Conselheiro Pena e nas margens do rio homônimo. Com rochas de idade Neoproterozóico o Grupo foi dividido em três unidades:

6.1.3.1 Formação São Tomé

Neste trabalho esta formação foi divindade em três unidades, na folha aparece somente a unidade 3:

- Unidade 1, apresenta predominância de quartzito
- Unidade 2, apresenta xistos e quartzito
- Unidade 3, ocorre predominância de xistos, com rochas calcissilicáticas subordinadas. São plagioclásio-quartzo-muscovita-biotita xistos, ocasionalmente com granada, estaurolita e/ou turmalina.

A passagem dos xistos para os gnaisses ocorre de maneira gradual e sutil. Próximo a cidade de Resplendor foi encontrada uma rocha metaultramáfica, um corpo de espessura métrica orientado, contendo veios de calcedônia, e observado só neste local.

O contato com o Tonalito Galiléia com esses xistos não é tectônico. O Tonalito encontra-se intrudido nos xistos, apresentando xenólitos dos mesmos. As rochas da formação estão metamorfisadas na fácies xisto verde até anfibolito médio a alto. A presença de sillimanita sugere um grau metamórfico mais elevado e de caráter local.

6.1.3.2 Formação João Pinto

Composta por quartzitos brancos a amarelados, geralmente puros, acinzentados quando ferruginosos, finos a grossos, eventualmente micáceos. Conteúdo de ferro bastante variável.

Os quartzitos apresentam intenso dobramento, dobras de amplitude variada, tanto com eixos verticais como horizontais, indicando uma polideformação. O contato com a Formação São Tomé é gradacional e, próximo à zona de contanto, os quartzitos apresentam um aspecto gnáissico, devido a intercalação com xistos.

6.1.3.3 Formação Palmital do Sul

Ganisses bandados, cinza a amarronzados. As paragêneses das rochas dessa unidade são semelhantes às da Formação São Tomé, indicando metamorfismo de fácies xisto verde a anfibolito de alto grau. Aprece bem pouco na folha, somente na poção mais SW, essa formação se estende da Folha Itanhomi.

6.1.4 Magmatismo sin- a tarditectônico

6.1.4.1 Granulito Mascarenhas

Aparece no extremo SE da folha. As rochas normalmente se apresentam verde-escura ou acinzentadas, de granulação grossa, textura granular porfirítica, apresentando foliação incipiente.

O contato inferido ocorre com o Granito Caladão e com o Granito Nanuque.

6.1.4.2 Granito Ataléia

Pequena porção granítica aflorante a NE. Rocha caracterizada pela tonalidade esbranquiçada a acinzentada, granulação fina a média, localmente aparecendo cristais de granada centimétricos. As vezes apresentando restos de biotita gnaisse.

A presença local da associação sillimanita e cordierita indica caráter peraluminoso para essas rochas. São granitos do tipo S, com idade de 591 Ma.

6.1.4.3 Granito Nanuque

Aflora no extremo leste da folha, caracterizado pela morfologia do tipo pães-de-açúcar. Apresenta uma íntima associação com os gnaisses kinzigíticos, onde ocorre injeções desde centimétricas a métricas.

A rocha é um granito cinza, róseo ou esbranquiçado, localmente com megacristais de feldspato, a presença de sillimanita e cordierita mostra um caráter peraluminoso. Geralmente muito deformado, bandado, adquirindo aspecto gnáissico, tendo o contato com o Complexo Kinzigítico de origem tectônica. Com a Suíte Aimorés o contato é brusco.

6.1.5 Suíte Intrusiva Galiléia

É constituída pelos Tonalito Galiléia e São Vitor e pelo Granodioríto Topázio. Na região de estudo basicamente existe somente o Tonalito Galiléia que aflora tanto a

sudoeste quanto a noroeste do Rio Doce e está em contato com várias unidades estratigráficas. A rocha característica é normalmente de tonalidade cinza, de composição granítica, tonalítica, granodiorítica e quartzo diorítica (diagrama QAP).

As rochas mostram variam de isotrópicas a intensamente cisalhadas, podendo localmente adquirir textura milionítica e aspecto gnáissico. São normalmente rochas metaluminosas, sendo que nos locais onde a contaminação por metassedimentos do Grupo Rio Doce.

6.1.6 Granito tardi- a pós-tectônico

6.1.6.1 Suíte Intrusiva Urucum

São rochas granitoides do tipo S, portadores de corpos pegmatíticos mineralizados, que ocorrem na porção NW da folha Conselheiro Pena, diferem um pouco dos granitos tipo-S típicos, devido a serem mais ricos em Na_2O e mais pobre em MgO e CaO, e por se formarem a temperaturas entre 600°C e 750°C, divide-se em:

- Granito Urucum: rocha granítica esbranquiçada, de granulação grossa a muito grossa e textura granular hipidiomórfica porfirítica, é composta de quartzo, plagioclásio, k-feldspato, biotita, muscovita, turmalina, apatita, zircão, etc. A ocorrência de muscovita primária inclusa no plagioclásio indica que são rochas peraluminosas. O contato com o Granito Palmital é transicional, verificados por uma mudança textural gradativa (Granito Palmital é mais fino r mais deformado normalmente).
- Granito Palmital: rocha granítica de coloração cinza-claro a esbranquiçado, com granulação média, podendo ocorrer localmente muscovita, biotita e granada visíveis a olho quartzo, plagioclásio, k-feldspato, biotita, muscovita, turmalina, apatita, zircão. A ocorrência de muscovita primária inclusa no plagioclásio indica que são rochas peraluminosas. Os contatos com o Granito Urucum são transicionais, podendo apresentar continuidades entre duas partes de um mesmo corpo.
- Granito Córrego da Onça: rocha granítica com presença de quartzo, feldspato, biotita, muscovita, granada e turmalina negra na forma de

cristais milimétricos orientados, em lamina observou-se presença de sillimanita inclusa em plagioclásio, indicando caráter peraluminoso, bolsões de quartzo-feldspato e pegmatitos que se cortam são comuns. Apresenta Slicken-sides e estrias horizontais que podem indicar a ocorrência de movimentos transcorrentes em regime rúptil, estes movimentos podem terem sido os causadores do posicionamento desse corpo (alongado na direção NW).

6.1.7 Suíte Intrusiva Aimorés

6.1.7.1 Granito Caladão

Podem ocorrer sob a forma de stock e de batólito, ou ainda em menor escala em pequenos corpos de direção NW, aparecem associados ao Charnockito Padre Paraíso ou isolados. É caracterizado por um granito de granulação grossa, amarelado, porfirítico e normalmente isotrópico.

Essas rochas apresentam é granítica (diagrama QAP), sendo identificados em lâmina delgada plagioclásio, quartzo, k-feldspato, biotita, apatita, hornblenda, granada, mica branca, carbonatos, allanita, zircão, epidoto, clorita, rutilo, titanita, monazita dentre outros, sendo que a presença de hornblenda, allanita e titanita caracteriza essas rochas como granitos do tipo-I.

O contato desse granito com as rochas adjacentes é intrusivo, evidenciado pela presença de xenólitos, ocorrendo algumas feições que podem indicar a ocorrência de mistura de magmas.

6.1.7.2 Charnockito Padre Paraiso

Caracterizado por apresentar coloração verde-escura e textura granular hipidiomórfica porfirítica, podendo ocorrer associado com o Granito Caladão ou isoladamente, o diagrama QAP caracteriza as rochas como sendo de composição charnockítica, em termos de composição mineralógica e textural difere do Granito Caladão apenas pela presença de hiperstênio, a presença do mesmo indica ascensão muito rápida dos corpos.

Apresenta contraste geomorfológico muito claro com o Granito Caladão e com as Coberturas detrito-lateríticas, sendo que apresenta cotas menores que o primeiro e está menos arrasado que o segundo (menos intemperizado, erodido).

6.1.8 Magmatismo Pós-tectônico

6.1.8.1 Granito Palmares

Pequenos corpos graníticos (diques) que afloram no noroeste da folha Conselheiro Pena, esses apresentam direção NS e NW e cortam o Tonalito Galiléia. São granitos muito finos, de coloração branca, contendo muscovita, biotita e ocasionalmente pode ocorrer a presença pequenos cristais de granada (sub-arredondados). Devido a ocorrer na forma de diques não deformados são considerados como sendo pós-tectônicos.

6.1.9 Coberturas detrito-lateríticas

São depósitos areno-argilosos eluvionares e coluvionares que recobrem a Suíte Intrusiva Aimorés, exibindo contraste morfológico com o Charnockito Padre Paraíso, podendo localmente apresentar blocos desta unidade preservados.

6.1.10 Terraços Aluvionais

Ocorrem bordejando o Rio Doce, sendo de ocorrência restrita. Constituem-se por depósitos areno-argilosos, argilosos ou conglomeráticos, podendo possuir paleo canais. Esses deposito foram afetados pela neotectônica, localmente pode-se observar deslocamentos de terrações fluviais causado por falhas normais.

6.1.11 Aluviões

São depósitos arenosos e argilosos, podendo ocorrer níveis de cascalho, ocorrem ao longo das drenagens da região, sendo mais expressivo nas margens do Rio Doce visto que o mesmo é o Rio de maior porte encontrado na área.

6.2 GEOLOGIA LOCAL

O presente capítulo foi elaborado segundo a leitura e compilação de dados do Relatório da Folha (SE.24-Y-C-II) confeccionada pela (CPRM, 2000). Na área de estudo estão localizados inteiramente no Grupo Rio Doce (Formação São Tomé – Unidade 3).

6.2.1 Formação São Tomé (UNIDADE 3)

A Formação São Tomé (Unidade 3) é caracterizada pela predominância de xistos com rochas calcissilicáticas subordinadas, sendo que na área de estudo ela é composta por xistos e gnaisses.

Os xistos da Formação São Tomé afloram no quadrante NW (Folha Conselheiro Pena) ao norte do Rio Doce, passando gradacionalmente para gnaisses próximo da região de Itueta (próximo à área de estudo), esses xistos são plagioclásio-quartzo-muscovita-biotita xistos, podendo conter granada, estaurolita e/ou turmalina, apresentam coloração cinza ou amarronzada, bandamento composicional, onde níveis micáceos se intercalam com quartzo-feldspáticos. Enquanto os gnaisses (ou xistos gnaissóides) corresponde a área entre a localidade de Crenaque até a região de Itueta, às margens do Rio doce.

A transição dos xistos para os gnaisses se dá de maneira gradual e sutil, normalmente diferencia-se os dois litotipos em campo pelo estilo de bandamento, os dos gnaisses tendem a ser mais irregulares, observa-se ainda que nessas rochas as micas são maiores e ocorre a presença de sillimanita e cianita (raramente).

Próximo a cidade de Resplendor (área de estudo) existe a ocorrência de rocha metaultramáfica, de espessura métrica, estando este corpo orientado e contendo veios de calcedônia, em nenhum outro lugar da área da folha foi encontrado algo semelhante.

Os contatos dos xistos com os gnaisses com o Tonalito Galiléia são tectônicos ao longo do Rio Doce, devido a esse rio está encaixado em uma zona transpressiva, está zona inserido em mapa apresenta aspecto retalhado e descontínuo. Próximo a Itueta este contato ocorre de forma imbricada e de difícil delimitação, sendo que os xistos e gnaisses encontram-se polideformados, e em alguns casos podem ser observados padrões de interferência devido à redobramento. Por sua vez a norte do rio Doce a maioria dos contatos do Tonalito Galiléia com os xistos e gnaisses não é tectônico, nessa área os tonalitos encontra-se intrudido nos xistos e apresentando xenólitos dos mesmos.

Os granitos da Suíte Urucum estão claramente intrusivos nos xistos, no contato dos xistos com estes granitos são observados, por vezes feições e transcorrência,

devido ao posicionamento desses corpos graníticos ocorrem crenulações, dobramentos e rotações de foliação nos xistos. Vale destacar que nas regiões de contato da Formação São Tomé com os granitos da Suíte Urucum e com o Tonalito Galiléia, os xistos abrigam numerosos corpos pegmatíticos mineralizados.

As rochas da Formação São Tomé estão metamorfisadas desde a fácies xisto verde até anfibolito médio a alto, quando ocorre a presença de sillimanita prismática o grau metamórfico tende a ser mais elevado e de caráter local.

7 CADASTRAMENTO DE PONTOS SUBTERRÂNEOS

Nos dias 12, 13, 16 e 25 de setembro, a equipe da MDGEO realizou a etapa de cadastramento de pontos de ocorrência de água subterrânea (poços e cisternas) no município de Resplendor. Para levantar o número e os locais de existência dos mesmos foi perguntado a prefeitura do município, além da lista fornecida pela Fundação Renova. A Tabela 7.1, Tabela 7.2e Tabela 7.3 apresentam informações coletadas nos poços, vale ressaltar que não foi possível medir o Nível D'água nos poços C01 e C02 devido os mesmos não terem local para entrada do medidor de nível. Enquanto a Figura 7.1 mostra a localização dos pontos cadastrados.

Tabela 7.1: Informações dos proprietários dos pontos cadastrados.

ID	Data	Proprietário	Localização
POÇO_RE_C01	12/09/2019	ETA / COPASA	Dentro da base da Copasa, próximo ao rio
POÇO_RE_C02	12/09/2019	ETA / COPASA	Descendo a estrada de terra ao lado do trilho
PC_RE_03	12/09/2019	Marilia	Rua São Pedro, n°40
PC_RE_04	13/09/2019	Wagner	Rua Benedito Quintino, n°269
PC_RE_05	13/09/2019	Igreja	Praça atrás da igreja matriz
PC_RE_06	13/09/2019	Hotel Brasília	Hotel Brasília
PC_RE_07	13/09/2019	Campo de Futebol	Campo de Futebol
PC_RE_08	13/09/2019	Samuel	Rua São José, n°218
PC_RE_08B	13/09/2019	Samuel	Rua São José, n°218
PC_RE_09	13/09/2019	Salvador	Campo de Futebol
PC_RE_10	13/09/2019	Creuza	Rua Tancredo Neves, n°110
PC_RE_11	13/09/2019	Geraldo	Rua Tancredo Neves, n°1042
PC_RE_12	13/09/2019	José	Rua 7 de Setembro, n°49
PC_RE_13	13/09/2019	Nivair	Rua Benedito Quintino, n°455
PC_RE_14	16/09/2019	Luiz Carlos	Rua Morais de Carvalho, n/625
PC_RE_15	16/09/2019	Restaurante Flutuante	Restaurante Flutuante
PC_RE_16	25/09/2019	Paroquia da Igreja Matriz	Paroquia da Igreja Matriz
PC_RE_17	25/09/2019	Paroquia da Igreja Matriz	Paroquia da Igreja Matriz

Tabela 7.2: Dados dos pontos cadastrados (Datum WGS84).

ID	X	Y	Lat.	Long.	Cota (m)	NA (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota do NA (m)	Diâmetro tubo (mm)
POÇO_RE_C01	263334,00	7861121,00	-41,2526	-19,3300	89,00	-	-	-	-	200
POÇO_RE_C02	263052,00	7862611,00	-41,2551	-19,3165	93,00	-	-	-	-	200
PC_RE_03	263111,00	7860772,00	-41,2548	-19,3331	98,00	5,56	9,00	0,21	92,23	50
PC_RE_04	262912,00	7862072,00	-41,2565	-19,3213	101,00	6,29	8,00	0,15	94,56	100
PC_RE_05	262960,00	7861622,00	-41,2561	-19,3231	101,00	-	-	-	-	150
PC_RE_06	263053,00	7861509,00	-41,2553	-19,3264	102,00	7,38	48,00	0,05	94,57	150
PC_RE_07	262881,00	7861295,00	-41,2569	-19,3283	105,00	-	-	-	-	150
PC_RE_08	262804,00	7860941,00	-41,2577	-19,3315	104,00	3,13	11,00	0,33	100,54	100
PC_RE_08B	262818,00	7860936,00	-41,2576	-19,3316	105,00	9,28	18,00	0,40	95,32	100
PC_RE_09	263050,00	7860640,00	-41,2554	-19,3343	98,00	2,03	9,00	0,05	95,92	100
PC_RE_10	263025,00	7860611,00	-41,2556	-19,3345	102,00	2,91	9,00	0,25	98,84	100
PC_RE_11	262943,00	7860736,00	-41,2564	-19,3334	107,00	9,46	13,50	0,15	97,39	100
PC_RE_12	262949,00	7861093,00	-41,2563	-19,3302	100,00	6,48	17,00	0,05	93,47	75
PC_RE_13	262918,00	7862225,00	-41,2565	-19,32	99,00	6,02	12,00	0,15	92,83	70
PC_RE_14	262999,00	7861468,00	-41,2558	-19,3268	102,00	3,53	-	0,55	97,92	75
PC_RE_15	263331,00	7861073,00	-41,2527	-19,3304	90,00	2,07	-	0,05	87,88	75
PC_RE_16	262934,00	7861630,00	-41,2564	-19,3253	102,00	5,58	-	0,17	96,25	150
PC_RE_17	262889,00	7861621,00	-41,2568	-19,3254	104,00	5,25	-	0,00	98,75	800

Tabela 7.3: Parâmetros físico-químicos medidos *in situ*.

ID	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	Bombeamento	Método de Coleta
POÇO_RE_C01	1928,00	6,59	-63,00	27,50	32,00	Sim	Bomba
POÇO_RE_C02	372,00	7,30	-120,00	27,70	26,60	Sim	Bomba
PC_RE_03	1860,00	7,26	140,00	27,20	26,00	Não	Bayler
PC_RE_04	942,00	6,55	180,00	26,10	25,10	Não	Bayler
PC_RE_05	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_RE_06	1155,00	6,79	188,00	25,80	25,00	Sim	Bomba
PC_RE_07	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_RE_08	998,00	6,63	-102,00	25,70	30,10	Sim	Bomba
PC_RE_08B	-	-	-	-	-	Não	-
PC_RE_09	1297,00	6,57	225,00	27,30	30,00	Sim	Bomba
PC_RE_10	942,00	6,59	226,00	26,90	30,10	Sim	Bomba
PC_RE_11	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_RE_12	1309,00	6,97	-42,00	29,30	28,10	Sim	Bomba
PC_RE_13	-	-	-	-	-	Sim	-
PC_RE_14	-	-	-	-	-	Não	-
PC_RE_15	1740,00	6,99	139,00	26,70	26,00	Não	Bayler
PC_RE_16	904,00	7,11	18,70	28,80	30,40	Sim	Bomba
PC_RE_17	-	-	-	-	-	Não	-

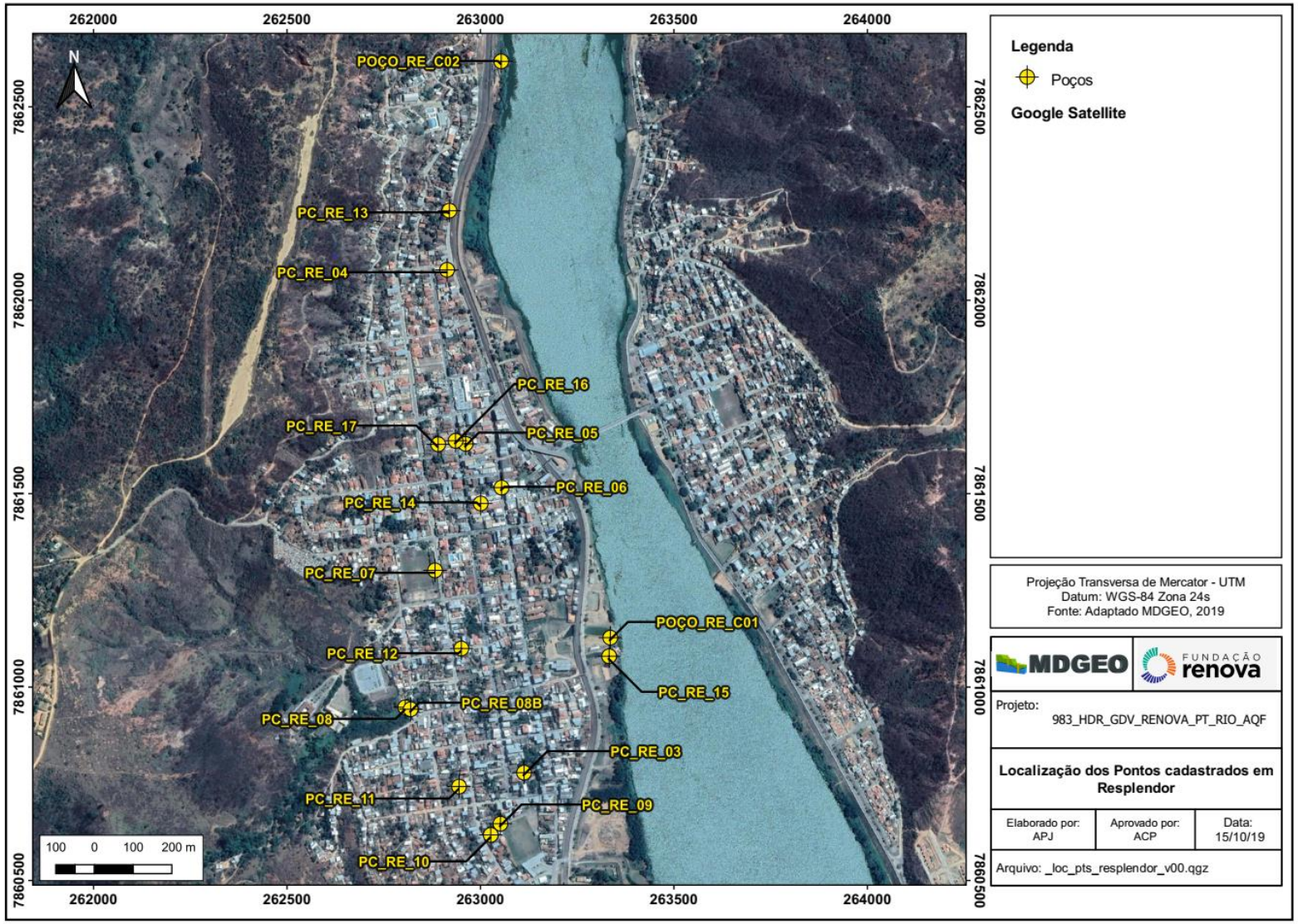


Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados.

8 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA

Foram coletados 7 pontos, sendo 6 subterrâneos e 1 superficial, conforme Tabela 8.1, a qual apresenta as coordenadas, o proprietário e a localização desses pontos e a Figura 8.1 ilustra a localização dos mesmos.

Tabela 8.1: Pontos coletados.

Ponto	Matriz	Coordenadas WGS84		Proprietário	Localização
		X	Y		
PC_RE_ETA_C01	Subterrâneo	263334	7861121	ETA / COPASA	Dentro da base da Copasa, próximo ao rio
PC_RE_ETA_C02	Subterrâneo	263052	7862611	ETA / COPASA	Descendo a estrada de terra ao lado do trilho
PC_RE_06	Subterrâneo	263049	7861515	Hotel Brasília	Hotel Brasília
PC_RE_08	Subterrâneo	262804	7860941	Samuel	Rua São José, n°218
PC_RE_09	Subterrâneo	263050	7860640	Salvador	Campo de Futebol
PC_RE_16	Subterrâneo	262934	7861630	Paroquia da Igreja Matriz	Paroquia da Igreja Matriz
RIO_DOCE - RESPLENDOR	Superficial	262659	7863732	-	-

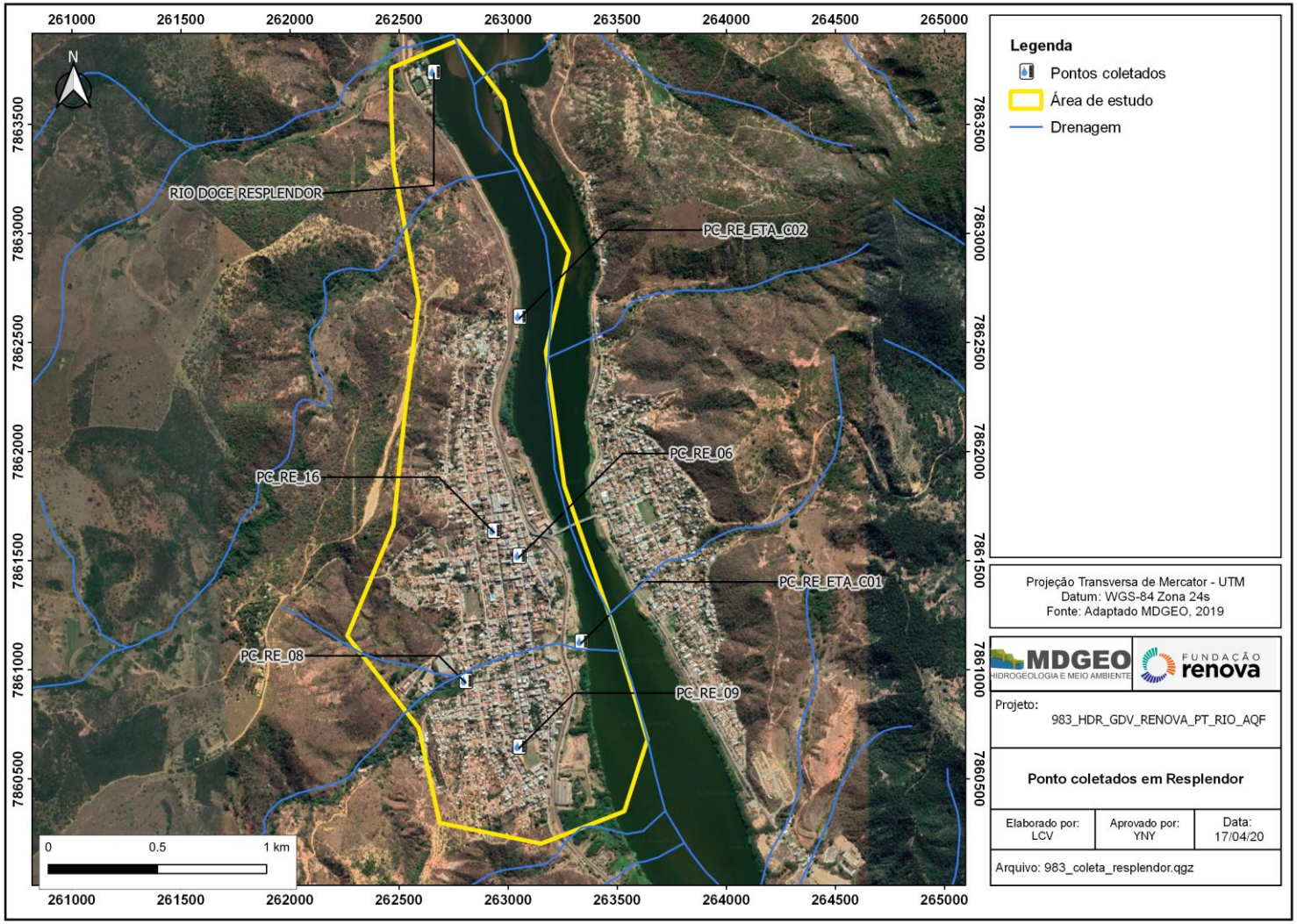


Figura 8.1: Localização dos pontos de coleta em Resplendor.

9 CARATERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA

Para realizar a caracterização hidroquímica da área de estudo e avaliar o comportamento e a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, serão utilizados os resultados do monitoramento da campanha realizada entre 16 e 25 de setembro de 2019.

O acervo fotográfico dos pontos amostrados encontra-se no Anexo V, enquanto os laudos hidroquímicos e isotópicos encontram-se no Anexo VI e VII, respectivamente.

9.1 REFERENCIAL TEÓRICO

9.1.1 Balanço iônico

Visando verificar a qualidade dos resultados das análises hidroquímicas, é calculado o desvio percentual dos íons ou coeficiente de erro da análise (Erro Prático), obtido por meio do balanço iônico.

O balanço iônico corresponde à diferença entre a soma das concentrações dos cátions e ânions principais, em miliequivalentes (meq/L), considerando seu equilíbrio nas águas naturais.

Existem duas técnicas para o cálculo do erro prático máximo do balanço iônico das amostras. Segundo Custódio e Llamas (1976) o erro teórico é o erro prático máximo permitido considerando a condutividade elétrica (C.E.), conforme Tabela 9.1 abaixo:

Tabela 9.1: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Custodio e Llamas (1976).

CLASSIFICAÇÃO DE CUSTODIO E LLAMAS (1976)					
C.E.	50	200	500	2000.00	>2000
% Erro permitido	30	10	8	4.00	<4

Já Logan (1965), se baseia no próprio somatório dos íons (cátions e ânions) apresentado na Tabela 9.2.

Tabela 9.2: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Logan (1965).

CLASSIFICAÇÃO DE LOGAN (1965)							
∑cátion ou ∑ ânions	< 1	1	2	6	10	30	> 30
% Erro permitido	15	10	6	4	3	2	1

Para o cálculo do balanço iônico foi utilizado o programa *Qualigraf* v.1.17.

9.1.2 Diagrama triangular de Piper-Hill-Langelier

Para a elaboração do Diagrama Triangular de *Piper-Hill-Langelier*, por meio do *software Qualigraf* v.1.17, foram considerados apenas os íons maiores (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, Cl^{-} e SO_4^{-}) como referência para classificação. Ressalta-se que, para os parâmetros que apresentaram concentrações abaixo dos respectivos Limites de Quantificação dos Métodos Analíticos - LQM, foi adotada a metade de seus valores. Esse procedimento é normal em análises estatísticas, para não apresentar lacunas no banco de dados e conservar a normalidades dos resultados.

O Diagrama de Piper é utilizado para a classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes. Esse diagrama é elaborado plotando as proporções dos cátions (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}+K^{+}) e ânions (CO_3^{2-}+HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}) principais em dois gráficos triangulares respectivos, e combinando tais informações em um losango situado entre os mesmos.

Cabe ressaltar que em função de alguns íons maiores apresentarem resultados inferiores ao limite de quantificação, pode ocorrer uma classificação incerta, devido às baixas concentrações de íons nessas águas.

9.1.3 Diagrama de Stiff

Para verificar a proporção e magnitude das concentrações dos íons dominantes em cada ponto amostrado, foi elaborado o Diagrama de *Stiff*. Para isso, as concentrações de cátions (Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}) são plotadas à esquerda do eixo central, enquanto as concentrações de ânions (Cl^{-}, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}+HCO_3^{-}) são plotadas à direita desse eixo, ambas em miliequivalentes. Os pontos são então conectados, resultando em um polígono irregular que ilustra as quantidades relativas dos principais íons encontrados. Para sua elaboração foi utilizado o programa *AquaChem 2011.1.*

9.1.4 Legislações

9.1.4.1 Água Subterrânea

Para avaliação da qualidade da água subterrânea amostrada, os resultados analíticos foram comparados aos Valores Máximos Permitidos – VMPs – estabelecidos nas legislações vigentes. Ressalta-se que os VMPs adotados neste estudo correspondem àqueles referentes ao uso da água para consumo humano, classificado como o mais restritivo. Adiante segue a descrição das referências legais utilizadas para as águas subterrâneas:

> *Resolução CONAMA Nº 396, de 3 de abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências* (CONAMA, 2008).
>
> *PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO DO MINISTÉRIO DA SAÚDE nº 5, de 28 de setembro de 2017: Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.*

9.1.4.2 Água Superficial

A legislação envolvida na qualidade das águas superficiais e utilizada neste relatório está descrita logo abaixo.

> *Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Padrões de qualidade adotados para cursos d'água de classe II, diante da inexistência de enquadramento oficial para os cursos d'água em questão* (CONAMA, 2005).
>
> *PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO DO MINISTÉRIO DA SAÚDE nº 5, de 28 de setembro de 2017: Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.*

A área de estudo está situada na Sub-bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, entretanto não há legislação específica para enquadramento dos cursos d'água, portanto, de acordo com o Artigo 42 da Resolução CONAMA nº357, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2.

9.1.5 Avaliação isotópica

No ensejo de caracterizar isotopicamente a área de estudo, procedeu a coleta de amostras para determinação da concentração natural dos isótopos estáveis ^{2}H (Deutério) e ^{18}O (Oxigênio-18).

O estudo desses isótopos estáveis naturais, os quais marcam as distintas partes do ciclo hidrológico como verdadeiras "impressões digitais", possibilita o conhecimento da história da água.

As propriedades que caracterizam os diferentes elementos químicos são determinadas pelo número de prótons que o núcleo atômico contém, sendo que um mesmo elemento químico contém sempre um determinado número de prótons. Entretanto, o número de nêutrons pode ser variável. Os átomos com mesmo número de prótons e diferentes números de nêutrons são denominados isótopos. O hidrogênio, por exemplo, pode apresentar três formas isotópicas distintas, com nomes especiais, sendo: $^{1}H_{1}$ o hidrogênio simplesmente, $^{2}H_{1}$ ou D, o Deutério e $^{3}H_{1}$ ou T, o Trítio.

A molécula de água é composta por átomos de hidrogênio e oxigênio. Como dito anteriormente, na natureza existem três isótopos distintos de hidrogênio:

- $^{1}H_{1}$ ou H: Hidrogênio. Constitui a maioria do hidrogênio natural (99,984%);
- $^{2}H_{1}$ ou D: Deutério. Existe em uma proporção aproximada de 160 ppm no hidrogênio natural e é estável;
- $^{3}H_{1}$ ou T: Trítio. Existe apenas em pequenas quantidades (10^{-18} T/H) e é radioativo. Ele se origina a partir da ação de radiações cósmicas, e após a década de 50, a partir também de explosões termonucleares.

O oxigênio por sua vez apresenta vários isótopos estáveis, sendo que não existem isótopos radioativos na natureza. Dentre estes isótopos temos:

- $^{16}O_8$ ou O-16, que constitui a maioria do oxigênio natural (99,76%);
- $^{17}O_8$ ou O-17, que só existe em ínfimas quantidades (400 ppm);
- $^{18}O_8$ ou O-18, que é o isótopo mais abundante depois do O-16, embora sua concentração seja muito pequena (~2000 ppm).

A partir da combinação destes isótopos (hidrogênio e oxigênio) podemos ter 18 moléculas de água isotopicamente diferentes, mas as combinações mais importantes e frequentes, além da $H_2{}^{16}O$, são $HD^{16}O$ e $H_2{}^{18}O$.

Todas as moléculas de água possíveis, a partir das combinações dos isótopos de hidrogênio e oxigênio, têm propriedades físicas e químicas muito parecidas e pode-se admitir que seus comportamentos mediante os processos naturais sejam quase idênticos. Entretanto, as pequenas diferenças de pressão de vapor, mobilidade iônica, difusividade, peso atômico e etc., fazem com que a água natural, segundo sua origem e forma de intervenção no ciclo hidrológico, apresente ligeiras diferenças em sua composição isotópica, que são de grande interesse em hidrogeologia.

Os isótopos estáveis (D e O-18) são utilizados para conhecer as fontes de recarga (origem da água subterrânea) ou os processos responsáveis pela modificação da composição da água desde que ela se infiltrou.

9.1.5.1 Deutério (2H) e oxigênio-18 (18O)

O fluxo de umidade partindo dos oceanos e seu retorno por meio da precipitação e do escoamento superficial e subterrâneo estão, em uma base anual e em escala global, próximos de um equilíbrio dinâmico. Somente mudanças climáticas de grande porte alterarão de modo considerável o armazenamento de água doce nos reservatórios glaciais, subterrâneos e superficiais.

Dentro do ciclo existente, no entanto, ocorre uma variação significativa e, como somente cerca de 10% da umidade dos oceanos atinge a superfície dos continentes, é correto esperar considerável variação na porção terrestre do ciclo hidrológico. A evaporação dos oceanos, a precipitação, a reevaporação, a acumulação e o

derretimento de neve e gelo, e o escoamento superficial variam sob diferentes condições climáticas. Cada etapa deste ciclo particiona o Oxigênio-18 e o Deutério entre os diferentes reservatórios de água doce.

As moléculas que contém D e ^{18}O são ligeiramente mais pesadas que as moléculas comuns e, devido a maior quantidade de nêutrons, seu comportamento ao longo do ciclo hidrológico é levemente diferente, produzindo-se o fracionamento isotópico a cada mudança de estado da água (evaporação e condensação) em função da diferença de pressão de vapor entre elas.

As concentrações de ^{2}H e de ^{18}O em uma amostra de água dependem de sua história, desde o momento em que saiu do oceano, considerado o padrão de referência para estudos isotópicos, até o momento de sua coleta. Estas diferenças de composição tornam esses isótopos excelentes traçadores naturais, possibilitando o estudo de numerosos problemas hidrológicos. Sua concentração em amostras de água é medida por técnicas de espectrometria de massa, onde se leva em consideração razões isotópicas.

Um exemplo prático de aplicação universal é a construção das chamadas retas ou linhas meteóricas locais (LML). Com efeito, a avaliação estatística de medições isotópicas nas águas de precipitação, por meio de um programa desenvolvido desde os anos 60 do século passado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), mostra que os valores de ^{2}H da precipitação e das águas naturais de origem meteórica apresentam uma correlação linear com os valores de ^{18}O, podendo ser representada por uma reta conhecida como Linha Meteórica Global (LMG), cuja equação é mostrada a seguir:

$$\delta D = 8\,\delta^{18}O + 10$$

A LMG é uma reta média obtida a partir de diversas estações meteorológicas espalhadas pelo globo terrestre, utilizada com sucesso como referência em muitos estudos onde não se dispõe de uma reta meteórica local.

O fator 10 se chama excesso de Deutério (*d*) e é utilizado frequentemente como parâmetro interpretativo para detectar águas que sofreram evaporação prévia (diminui

em águas que foram submetidas à evaporação). Os valores obtidos para o excesso de Deutério são calculados por meio da seguinte equação:

$$d = \delta D - 8\ \delta^{18}O$$

Portanto, a LMG se constitui em uma espécie de linha de referência, em relação à qual qualquer ponto (consistindo dos desvios δ dos valores de conteúdos de ^{2}H e de ^{18}O de uma dada amostra) pode ser comparado.

Um exemplo prático é a comparação com as linhas meteóricas locais (LML), que se constituem da correlação das medidas isotópicas da água da chuva de um empreendimento, cidade ou bacia. Por falta de dados isotópicos para a água de chuva da região, serão adotadas as concentrações de oxigênio 18 e deutério monitoradas na estação de Brasília.

O resultado dessa comparação como, por exemplo, certo desvio da linha de referência, fornece uma “impressão digital” da amostra e pode indicar se ela representa água de superfície (cai na linha de evaporação), água subterrânea oriunda de recarga pela precipitação (cai na linha meteórica local ou global), água subterrânea contendo excedentes de águas de irrigação (cai na linha de evaporação) ou uma mistura de água doce subterrânea com águas provenientes do oceano, de lagos ou de rios (cai em uma linha de mistura).

Os valores δ representam desvios das concentrações dos isótopos estáveis contidos nas amostras de água em relação ao padrão internacional normalmente utilizado, conhecido como Viena - SMOW (*Standard Mean Ocean Water*), preparado pela AIEA, com sede em Viena, na Áustria. Este desvio é dado pela seguinte expressão:

$$\delta_{AMOSTRA} = \frac{R_{AMOSTRA} - R_{SMOW}}{R_{SMOW}} 10^{3} (‰)$$

Onde: *R* representa a razão isotópica entre as moléculas pesadas (^{18}O ou D) sobre as moléculas mais leves (^{16}O ou ^{1}H, respectivamente). Pelo fato de serem esses desvios números muito pequenos, os valores são geralmente multiplicados por mil; daí serem expressos em partes por mil (per mil).

9.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Em qualquer água independente de ser doce ou salgada, potável e mineral tem que haver o EQUILÍBRIO IÔNICO para que a mesma tenha estabilidade química. Desta forma, é importante que se realize o balanço iônico das amostras, de acordo com as proporções encontradas de cátions e ânions, expressos em miliequivalente grama. A Tabela 9.3 apresenta os resultados alcançados para os pontos de coleta de água superficial e subterrânea.

Para facilitar a análise, foi elaborado o gráfico da Figura 9.1, ilustrando a relação entre o somatório de cátions e ânions, sendo que quanto mais próximo da linha de equilíbrio, mais balanceada a amostra se encontra. Vale ressaltar que o gráfico se refere apenas ao método de Logan (1965).

Tabela 9.3: Resultado do balanço iônico das amostras de água superficial e subterrânea e o erro associado.

Ponto de coleta	$Na^{+}+K^{+}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	$CO_3^{2-}+HCO_3^{-}$	SO_4^{2-}	C.E.	∑ CÁTIONS	∑ ÂNIONS	CUSTÓDIO E LLAMAS (1976) (1)	LOGAN (1965) (2)	OBSERVAÇÃO
	meq/L									% Erro		
PC_C01_ETA_RE	2,783	6,399	3,207	10,099	7,311	8,932	1861,000	12,389	26,342	72,050	36,020	Não atende B.I. 1 e 2
PC_C02_ETA_RE	0,717	1,105	0,864	1,227	2,902	0,579	432,000	2,685	4,708	54,710	27,350	Não atende B.I. 1 e 2
PC_RE_06	0,061	0,565	1,637	2,753	5,065	5,205	1094,000	2,262	13,023	140,810	70,400	Não atende B.I. 1 e 2
PC_RE_08	1,416	1,925	1,308	3,978	4,770	0,024	780,000	4,648	8,772	61,470	30,730	Não atende B.I. 1 e 2
PC_RE_09	2,373	1,040	3,767	5,670	4,655	4,435	1304,000	7,179	14,760	69,110	34,550	Não atende B.I. 1 e 2
PC_RE_16	2,722	0,325	1,456	1,783	5,557	1,897	904,000	4,503	9,236	68,890	34,450	Não atende B.I. 1 e 2
RIO_DOCE - RESPLENDOR	0,679	0,171	0,138	0,267	0,494	0,183	89,900	0,989	0,944	4,630	2,310	OK

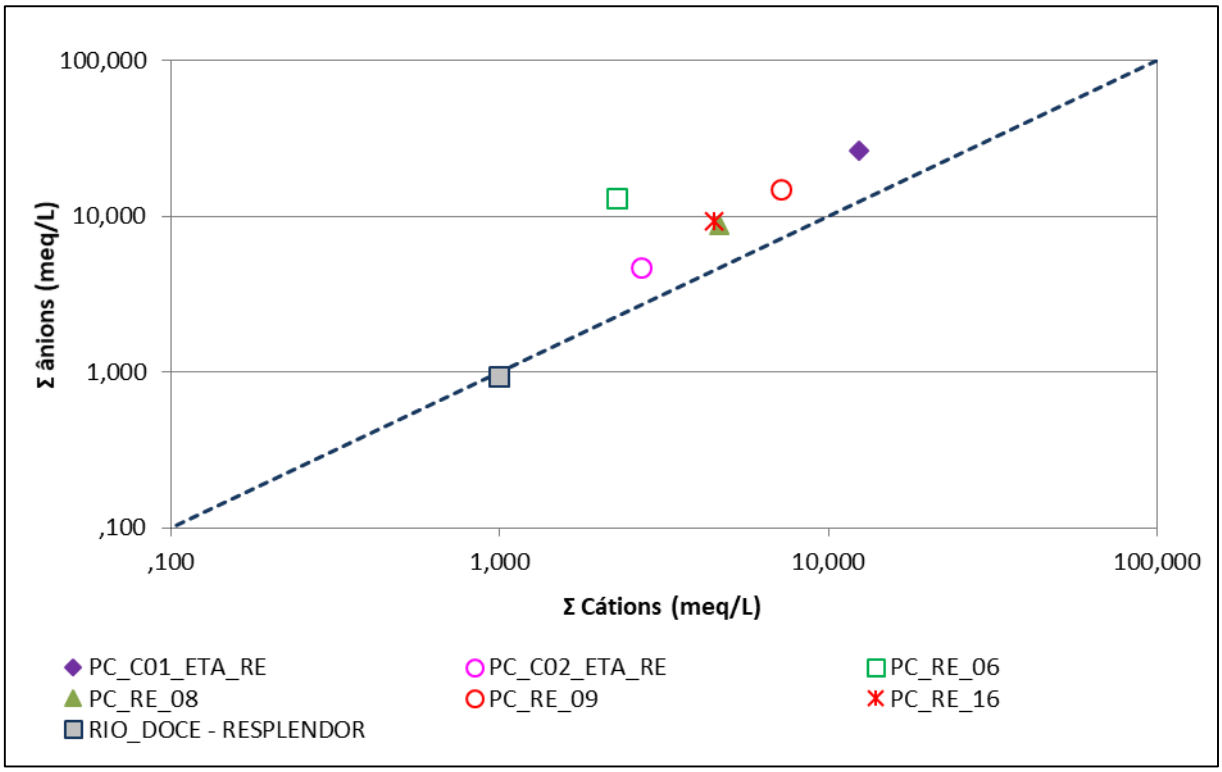


Figura 9.1: Somatório de cátions e ânions das amostras de água superficial e subterrânea.

Dos 7 pontos analisados, apenas o Rio Doce - Resplendor esteve balanceado. Nos pontos subterrâneos a concentração de ânions foi maior que a de cátions, o que pode ser um indicativo da presença de algum elemento secundário ou traço que não foi considerado no balanço iônico.

Uma forma de classificar os distintos grupos de água é a partir do Diagrama de Piper, separando nos triângulos os campos de domínio dos cátions e ânions e no paralelogramo os principais tipos hidroquímicos. A Figura 9.2 ilustra o diagrama construído a partir dos resultados.

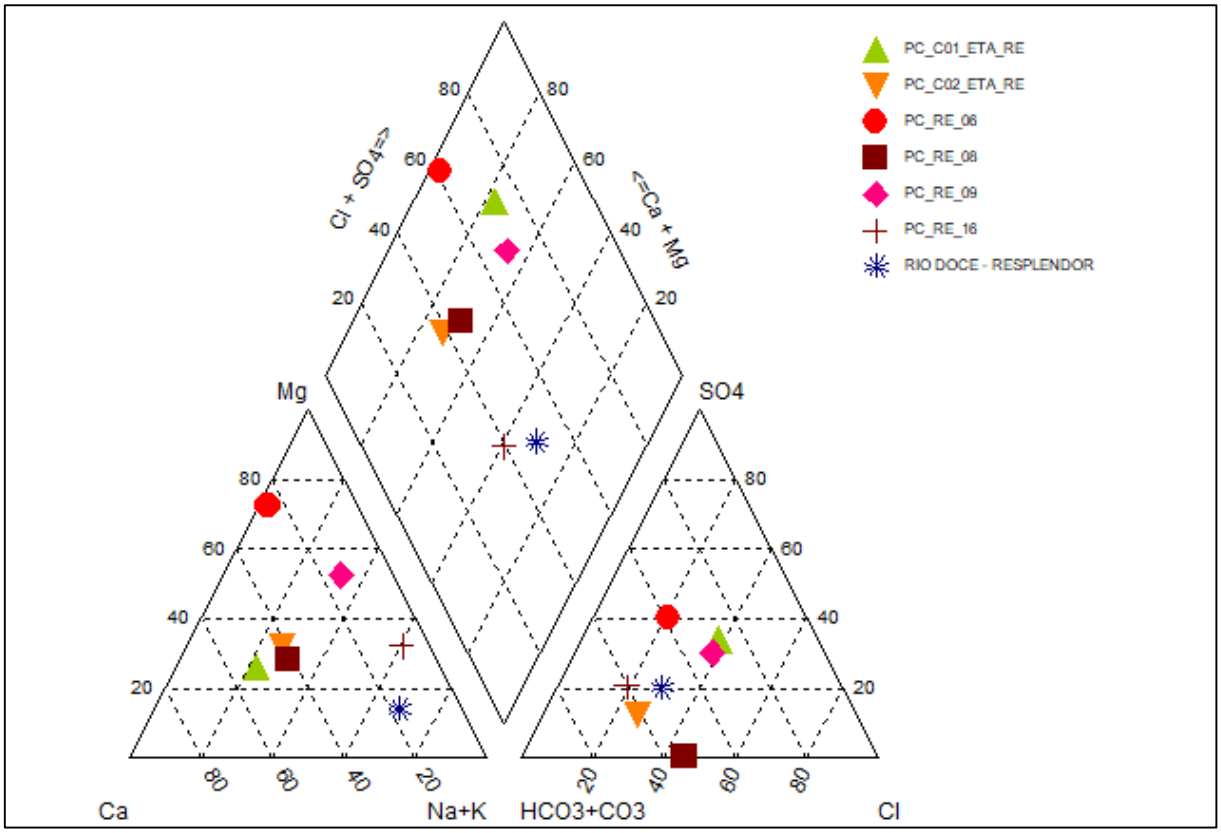


Figura 9.2: Diagrama de *Piper* para as águas superficiais e subterrâneas.

A Tabela 9.4, por sua vez, apresenta a classificação hidroquímica associada para cada ponto.

Tabela 9.4: Classificação hidroquímica das amostras superficiais e subterrâneas.

PONTO	CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA
PC_C01_ETA_RE	Mista Cálcica
PC_C02_ETA_RE	Bicarbonatada Mista
PC_RE_06	Mista Magnesiana
PC_RE_08	Bicarbonatada Mista
PC_RE_09	Mista Magnesiana
PC_RE_16	Bicarbonatada Sódica
RIO_DOCE - RESPLENDOR	Bicarbonatada Sódica

De acordo com o diagrama de Piper acima, em todas as amostras os ânions predominantes foram o bicarbonato e carbonato com exceção dos pontos PC_C01_ETA_RE, PC_RE_06 e PC_RE_09, os quais foram classificados como mista, prevalecendo além do bicarbonato e carbonato, o sulfato.

Em relação aos cátions, houve uma grande diferenciação entre os pontos, sendo o PC_RE_06 e PC_RE_09 classificados como magnesianas, PC_RE_16 e Rio Doce

- Resplendor como sódicas, PC_C01_ETA_RE como cálcica e PC_C02_ETA_RE e PC_RE-08 como mistas.

Sabe-se que na área de estudo há a presença dos minerais muscovita, biotita, feldspato, estaurolita e turmalina, os quais possuem em sua composição sódio, potássio ou cálcio, o que pode ser responsável por essa diferenciação entre os pontos.

Para uma análise mais espacial da concentração dos principais íons em cada amostra, os Diagramas de *Stiff* são bastante úteis, pois facilitam na identificação de águas da mesma família, de acordo com as figuras geométricas formadas. Desta forma, o Mapa de *Stiff* da Figura 9.3 ilustra os resultados obtidos para estes pontos.

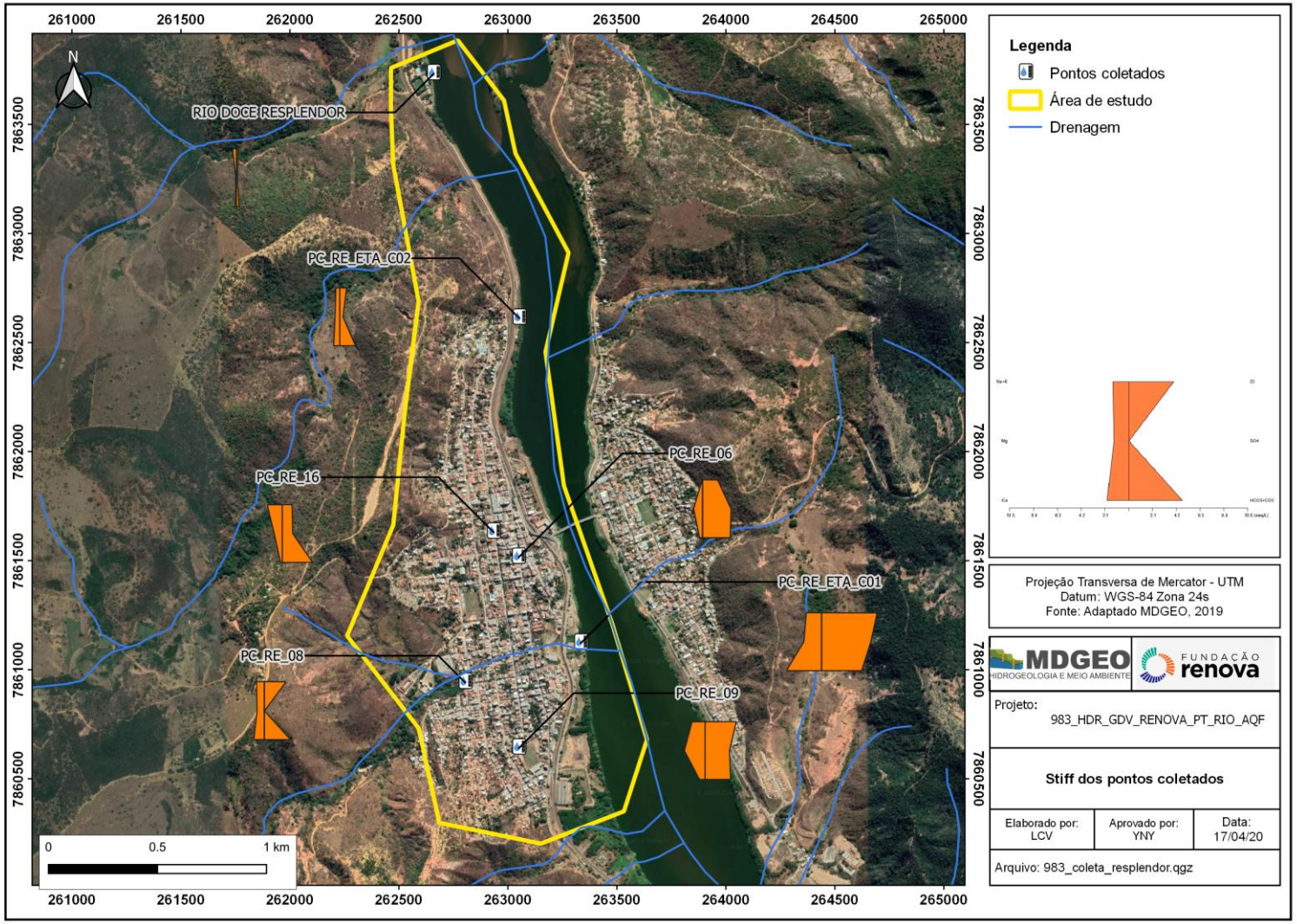


Figura 9.3: Diagrama de Stiff para as águas superficiais e subterrâneas.

Observa-se que os diagramas mais largos representam as amostras mais salinas e os diagramas mais estreitos representam as amostras menos salinas. Portanto é possível verificar que os pontos ficam mais mineralizados no sentido sul da área de estudo, com grande concentração de íons principalmente nos pontos PC_RE_06, PC_RE_ETA_C01 e PC_RE_09 e a amostra coletada no Rio Doce sendo a menos mineralizada.

Levando-se em conta o fluxo d'água, apresentado na Figura 10.1, é possível verificar que o poço à montante dos pontos citados anteriormente, PC_RE_08, não está tão mineralizado quanto os pontos a jusante, o que indica que ocorre localmente algum fenômeno natural ou antrópico que altera a concentração de íons, especialmente de sulfato.

9.2.1 Resultados

9.2.1.1 Água Subterrânea

A Tabela 9.5 abaixo, apresenta os resultados analíticos obtidos em laboratório da campanha de monitoramento qualitativo das águas subterrâneas, realizada entre o dia 16/09/2019 e 25/09/2019, comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 – Consumo Humano e Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 5/2017. Vale ressaltar que alguns parâmetros na forma dissolvida, foram comparados com os valores máximos permitido de sua forma total, eles podem ser identificados pelo asterisco próximo ao valor nas colunas das legislações.

Tabela 9.5: Resultados do Monitoramento Qualitativo das Águas Subterrâneas.

PARÂMETROS	UNIDADE	PORTARIA CONSOLIDAÇÃO 05/2017	CONAMA 396/2008 Consumo Humano	PC_C01_ETA_RE	PC_C02_ETA_RE	PC_RE_06	PC_RE_08	PC_RE_09	PC_RE_16
Data		-	-	17/09/2019	17/09/2019	18/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	25/09/2019
Código		-	-	MA1928839	MA1928842	MA1928844	MA1928837	MA1928838	MA1928829
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,2*	0,20	<0,02	<0,02	0,15	<0,02	<0,02	<0,02
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,01*	0,01*	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001
Bário Dissolvido	mg/L	0,7*	0,7*	0,06	0,2	0,03	0,39	0,07	0,09
Bicarbonato	mg/L	-	-	444	175	307	289	282	337
Boro Dissolvido	mg/L	-	0,5*	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cádmio Dissolvido	mg/L	0,005*	0,005*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cálcio Dissolvido	mg/L	-	-	128	22,1	11,3	38,5	20,8	6,51
Carbonato	mg/L	-	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Chumbo Dissolvido	mg/L	0,01*	0,01*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cloreto	mg/L	250,000	250,00	**358**	43,5	97,6	141	201	63,2
Cobalto Dissolvido	mg/L	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre Dissolvido	mg/L	2*	2*	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Coluna d´Água	m	-	-	N.A.	N.A.	40,62	7,87	9,97	N.A.
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-	1861	432	1094	780	1304	904
Cromo Dissolvido	mg/L	0,05*	0,05*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Estanho Dissolvido	mg/L	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3*	0,3*	**1,93**	**2,37**	<0,1	**4,2**	<0,1	<0,1
Ferro Total	mg/L	0,30	0,30	**2,32**	**2,41**	<0,1	**4,6**	<0,1	0,15
Fluoreto	mg/L	1,50	1,50	<0,05	0,46	**3,04**	0,95	**1,62**	**2,12**
Fósforo Total	mg/L	-	-	0,05	0,06	0,08	0,12	0,16	0,11
Magnésio Dissolvido	mg/L	-	-	39	10,5	19,9	15,9	45,8	17,7

PARÂMETROS	UNIDADE	PORTARIA CONSOLIDAÇÃO 05/2017	CONAMA 396/2008 Consumo Humano	PC_C01_ETA_RE	PC_C02_ETA_RE	PC_RE_06	PC_RE_08	PC_RE_09	PC_RE_16
Manganês Dissolvido	mg/L	0,1*	0,1*	**1,65**	**0,88**	0,08	**1,3**	0,05	**0,2**
Manganês Total	mg/L	0,10	0,1*	**1,98**	**0,88**	0,1	**1,31**	0,05	**0,21**
Mercúrio Dissolvido	mg/L	0,001*	0,001*	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Níquel Dissolvido	mg/L	0,07*	0,02*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrato (N)	mg/L	10,00	10,00	0,06	<0,02	9,7	0,04	**40,3**	0,21
Nitrito (N)	mg/L	1,00	1,00	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
Nível da água	m	-	-	N.A.	N.A.	7,38	3,13	2,03	N.A.
Oxigênio dissolvido (in situ)	mg/L	-	-	4,41	3,39	-	-	-	5,59
pH (in situ)	-	-	-	7	6,92	7,02	7,11	6,55	7,11
Potássio Dissolvido	mg/L	-	-	10	3,88	2,28	3,98	2,12	1,84
Potencial de Oxirredução (in situ)	mV	-	-	-2,7	-13,3	5,8	-11,3	20,8	18,7
Prata Dissolvido	mg/L	-	0,1*	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Profundidade	m	-	-	N.A.	N.A.	48	11	12	N.A.
Sódio Dissolvido	mg/L	200*	200*	58,1	14,2	<0,1	30,2	53,3	61,5
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000,00	1000,00	**1465**	287	692	452	699	468
Sulfato	mg/L	250,00	250,00	**429**	27,8	250	1,17	213	91,1
Sulfeto	mg/L	0,10	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Temperatura da água (in situ)	°C	-	-	26,6	27,8	26,3	-	-	28,8
Temperatura do ar (in situ)	°C	-	-	29,1	29	30	-	-	30,4
Turbidez (in situ)	NTU	5,00	-	1,21	0	0	0,54	0	**11,74**
Zinco Dissolvido	mg/L	5*	5*	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02

Legenda
* VMP do parâmetro na forma total

O primeiro tratamento estatístico realizado, para se ter um conhecimento mais amplo do comportamento hidroquímico das águas subterrâneas foi obter os seus valores de máximo, mínimo, mediana, média e desvio padrão. A Tabela 9.6 apresenta a estatística dos parâmetros analisados, além dos limites de concentração de acordo com as legislações pertinentes à qualidade das águas subterrâneas. Novamente ressalta-se que alguns parâmetros na forma dissolvida, foram comparados com os valores máximos permitido de sua forma total, eles podem ser identificados pelo asterisco próximo ao valor nas colunas das legislações.

Tabela 9.6: Análise estatística das águas subterrâneas.

ESTATÍSTICA	UNIDADE	PORTARIA CONSOLIDAÇÃO 5/2017	CONAMA 396/2008 Consumo Humano	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,2*	0,20	0,15	0,01	0,01	0,03	0,06
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,01*	0,01*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bário Dissolvido	mg/L	0,7*	0,7*	0,39	0,03	0,08	0,14	0,14
Bicarbonato	mg/L	-	-	444,00	175,00	298,00	305,67	87,21
Boro Dissolvido	mg/L	-	0,5*	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00
Cádmio Dissolvido	mg/L	0,005*	0,005*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio Dissolvido	mg/L	-	-	128,00	6,51	21,45	37,87	45,50
Carbonato	mg/L	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Chumbo Dissolvido	mg/L	0,01*	0,01*	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Cloreto	mg/L	250,000	250,00	358,00	43,50	119,30	150,72	116,25
Cobalto Dissolvido	mg/L	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Cobre Dissolvido	mg/L	2*	2*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-	1861,00	432,00	999,00	1062,50	489,77
Cromo Dissolvido	mg/L	0,05*	0,05*	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Estanho Dissolvido	mg/L	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3*	0,3*	4,20	0,05	0,99	1,44	1,70
Ferro Total	mg/L	0,30	0,30	4,60	0,05	1,24	1,60	1,85
Fluoreto	mg/L	1,50	1,50	3,04	0,03	1,29	1,37	1,12
Fósforo Total	mg/L	-	-	0,16	0,05	0,10	0,10	0,04
Magnésio Dissolvido	mg/L	-	-	45,80	10,50	18,80	24,80	14,15
Manganês Dissolvido	mg/L	0,1*	0,1*	1,65	0,05	0,54	0,69	0,69
Manganês Total	mg/L	0,10	0,1*	1,98	0,05	0,55	0,76	0,78
Mercúrio Dissolvido	mg/L	0,001*	0,001*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Níquel Dissolvido	mg/L	0,07*	0,02*	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Nitrato (N)	mg/L	10,00	10,00	40,30	0,01	0,14	8,39	16,10
Nitrito (N)	mg/L	1,00	1,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
Oxigênio dissolvido (In Situ)	mg/L	-	-	5,59	2,12	3,90	3,98	1,31
pH (In Situ)	-	-	-	7,11	6,55	7,01	6,95	0,21
Potássio Dissolvido	mg/L	-	-	10,00	1,84	3,08	4,02	3,07
Potencial de Oxirredução (In Situ)	mV	-	-	20,80	-13,30	1,55	3,00	14,65

ESTATÍSTICA	UNIDADE	PORTARIA CONSOLIDAÇÃO 5/2017	CONAMA 396/2008 Consumo Humano	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Prata Dissolvido	mg/L	-	0,1*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sódio Dissolvido	mg/L	200*	200*	61,50	0,05	41,75	36,23	25,45
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000,00	1000,00	1465,00	287,00	580,00	677,17	416,67
Sulfato	mg/L	250,00	250,00	429,00	1,17	152,05	168,68	161,41
Sulfeto	mg/L	0,10	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura da água (In Situ)	°C	-	-	28,80	24,40	26,65	26,77	1,49
Temperatura do ar (In Situ)	°C	-	-	31,90	29,00	29,55	29,90	1,14
Turbidez (In Situ)	NTU	5,00	-	11,74	0,00	0,27	2,25	4,67
Zinco Dissolvido	mg/L	5*	5*	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00

Em busca das não conformidades, a Figura 9.4, apresenta uma visão geral dos parâmetros não conformes aos valores limites da CONAMA Nº 396/2008 e PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5/2017, com a frequência de amostras que ultrapassaram o VMP nesta campanha de monitoramento.

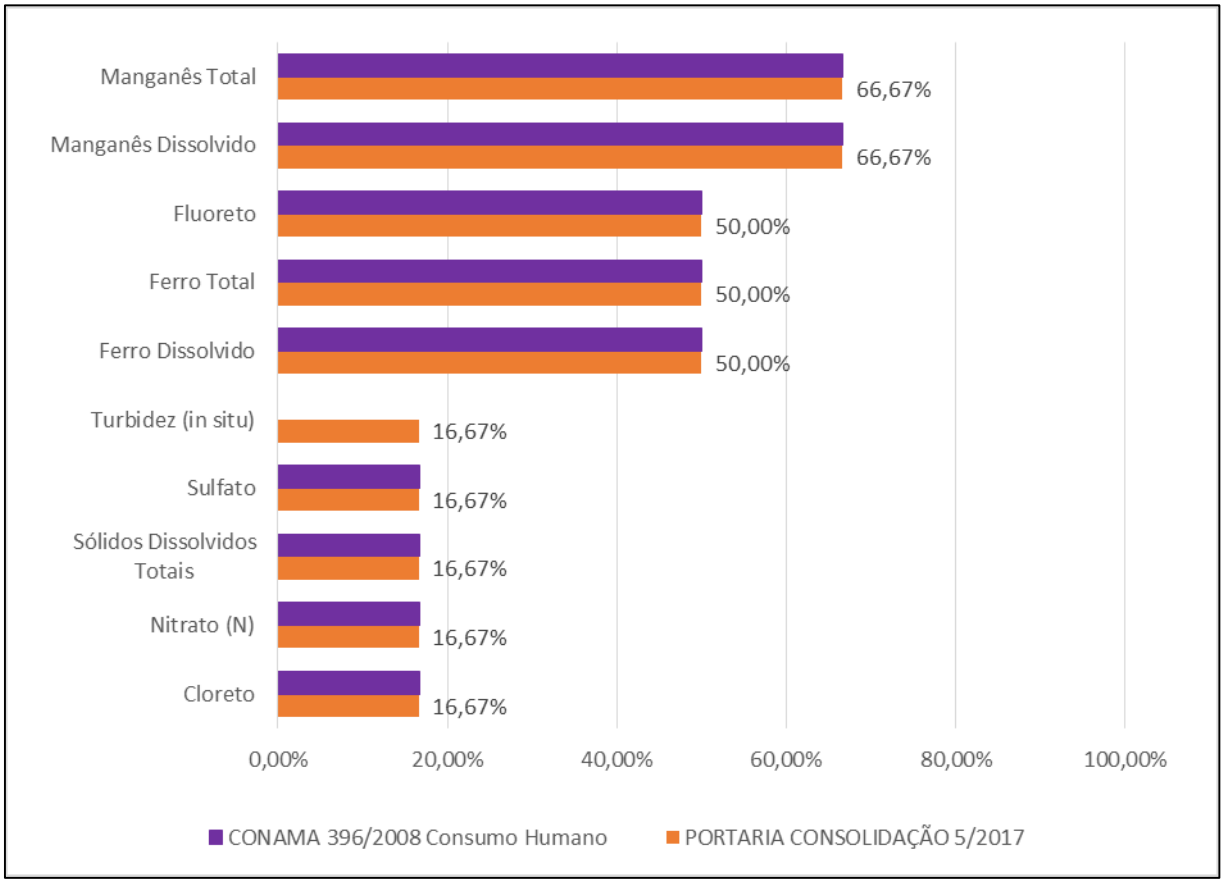


Figura 9.4: Frequência de ocorrência de parâmetros NÃO conformes às legislações: Conama Nº 396/2008 e PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5/2017 das águas subterrâneas.

De acordo com as análises, observa-se que dos 25 parâmetros que possuem valor máximo determinado pela legislação, 10 apresentaram-se acima das legislações adotadas. Os parâmetros não conformes foram: Cloreto, Ferro dissolvido e total, Fluoreto, Manganês dissolvido e total, Nitrato, Sólidos dissolvidos totais, Sulfato e Turbidez (*in situ*).

Para estes parâmetros, foram confeccionados os gráficos representados na, Figura 9.5 a Figura 9.13, nas quais são mostrados os valores obtidos nas amostras de cada ponto, comparados com os limites das legislações vigentes.

Manganês dissolvido e total

O manganês é um dos metais de transição e importante constituinte da crosta terrestre. Na natureza encontra-se na forma de óxidos (pirolusita), silicatos (rodonita) e carbonatos (rodocrosita). Há também associações de manganês em tantalitas alternando com o ferro na estrutura química.

Os dados para Manganês dissolvido e total encontram-se na Figura 9.5.

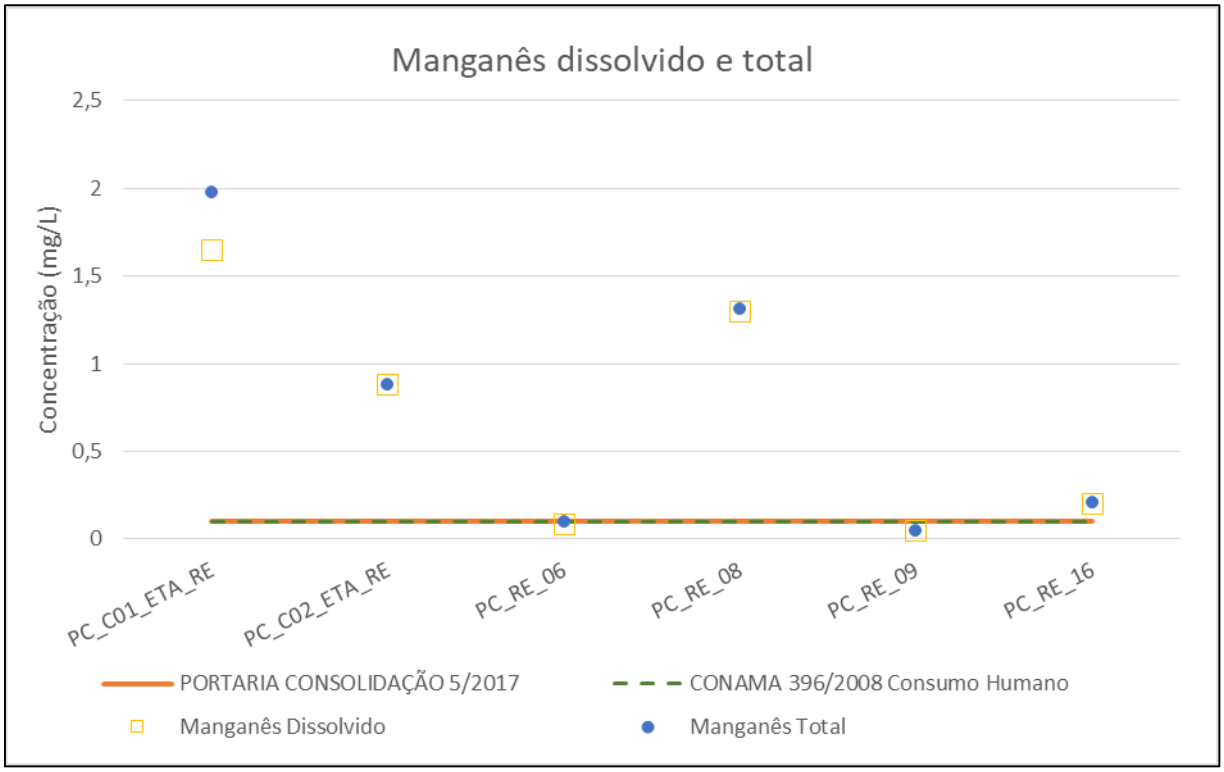


Figura 9.5: Gráfico Manganês dissolvido e total (mg/L) x Ponto.

Os pontos PC_RE_16, PC_C02_ETA_RE, PC_RE_08 e PC_C01_ETA_RE apresentaram concentração de manganês total acima do permitido pelas legislações, já os demais pontos monitorados, apresentaram-se conformes.

Fluoreto

O flúor é o mais eletronegativo dentre os elementos químicos, por ser muito reativo, não é encontrado em sua forma elementar na natureza, sendo normalmente encontrado na sua forma combinada como fluoreto. O flúor é o 17º elemento em abundância na crosta terrestre representando de 0,06 a 0,9% e ocorrendo principalmente na forma de fluorita (CaF_2), fluoroapatita ($F_{10}(PO_4)_6$) e criolita (Na_3AlF_6). Porém, para que haja disponibilidade de fluoreto livre, ou seja, disponível biologicamente, são necessárias condições ideais de solo, presença de outros minerais ou outros componentes químicos e água. Traços de fluoreto são normalmente encontrados em águas naturais e concentrações elevadas geralmente estão associadas com fontes subterrâneas.

Os dados para Fluoreto encontram-se na Figura 9.6.

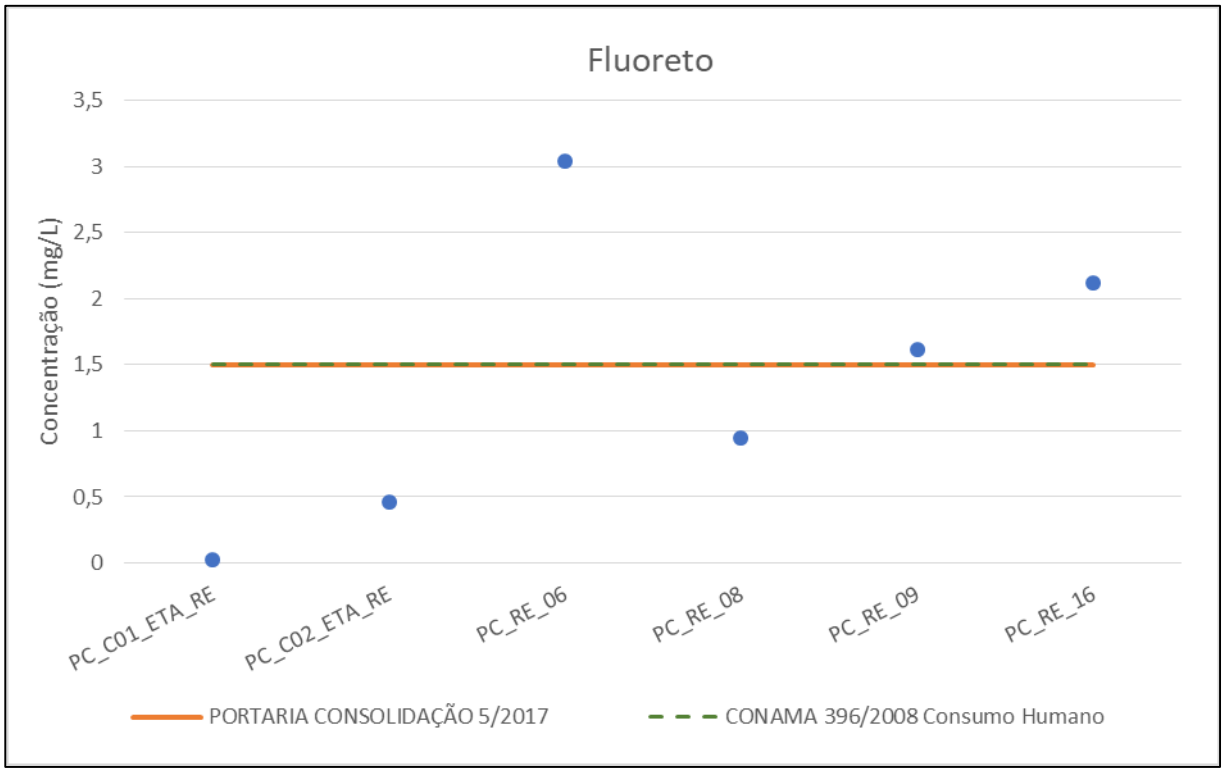


Figura 9.6: Gráfico Fluoreto (mg/L) x Ponto.

Observa-se que os pontos PC_RE_06, PC_RE_09 e PC_RE_16 apresentaram concentrações acima da máxima permitida pelas legislações para o fluoreto, com valores de 3,04 mg/L, 1,62 mg/L e 2,12 mg/L, respectivamente. Sabe-se que na área de estudo há a ocorrência de muscovita e biotita, os quais podem ser a origem dessa conccentração de fluoreto nos poços.

Ferro dissolvido e total

O ferro é um elemento químico da classe dos metais e é encontrado em abundância na crosta terrestre, predominantemente associado à sulfetos, óxidos e impurezas de silicatos. Pode ser encontrado na natureza na forma Fe^{+2} e Fe^{+3}, a depender do seu estado de oxidação. Em raras exceções como Fe nativo (fragmentos de meteoritos). Em climas tropicais tem grande contribuição na formação de solos e na forma de Fe^{2+} é facilmente dissolvido à água.

Os dados para Ferro dissolvido e total encontram-se na Figura 9.7.

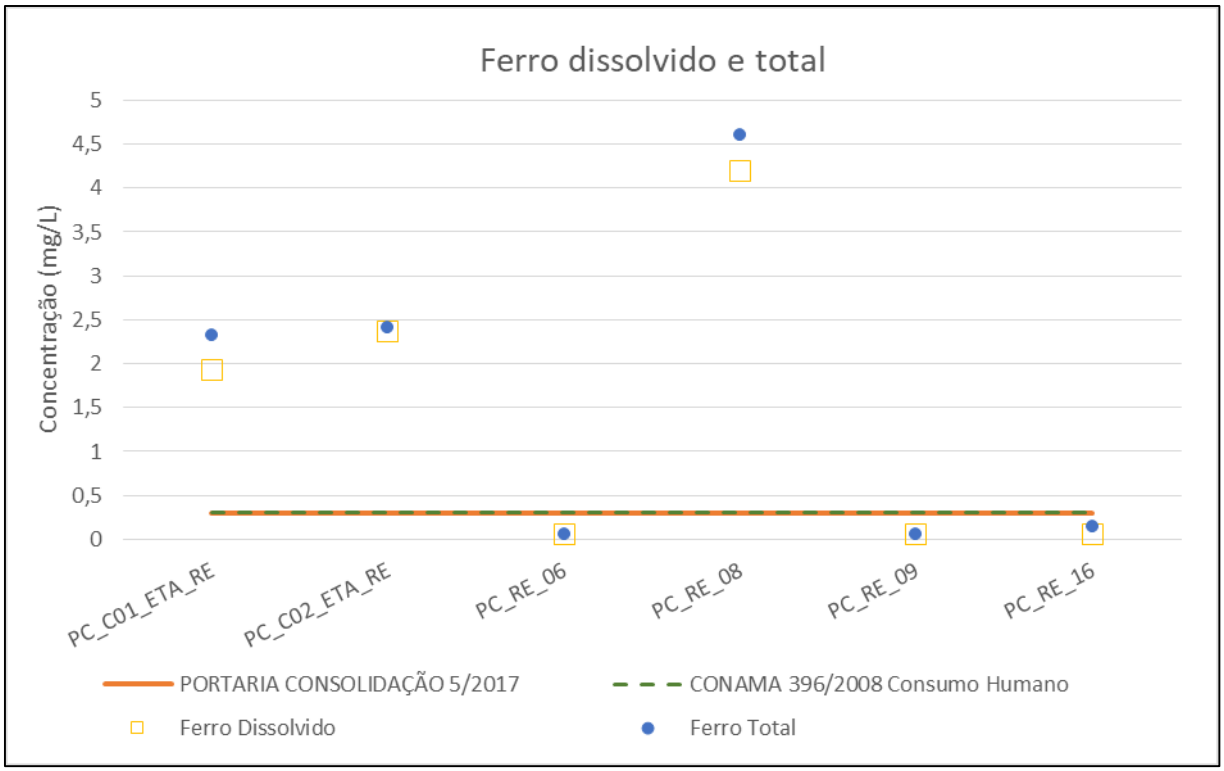


Figura 9.7: Gráfico Ferro dissolvido e total (mg/L) x Ponto.

Os pontos PC_C01_ETA_RE, PC_C02_ETA_RE e PC_RE_08 apresentaram não conformidade para o Ferro total em relação às legislações vigentes. Os demais pontos monitorados, apresentaram valores abaixo do valor máximo permitido pelas legislações. Como já citado anteriormente, na área de estudo pode conter biotita, estauralita e turmalina, minerais que possuem ferro em sua composição

O ferro ocorre geralmente associado ao manganês e podemos observar isto acontecendo nos pontos coletados, conforme Figura 9.8.

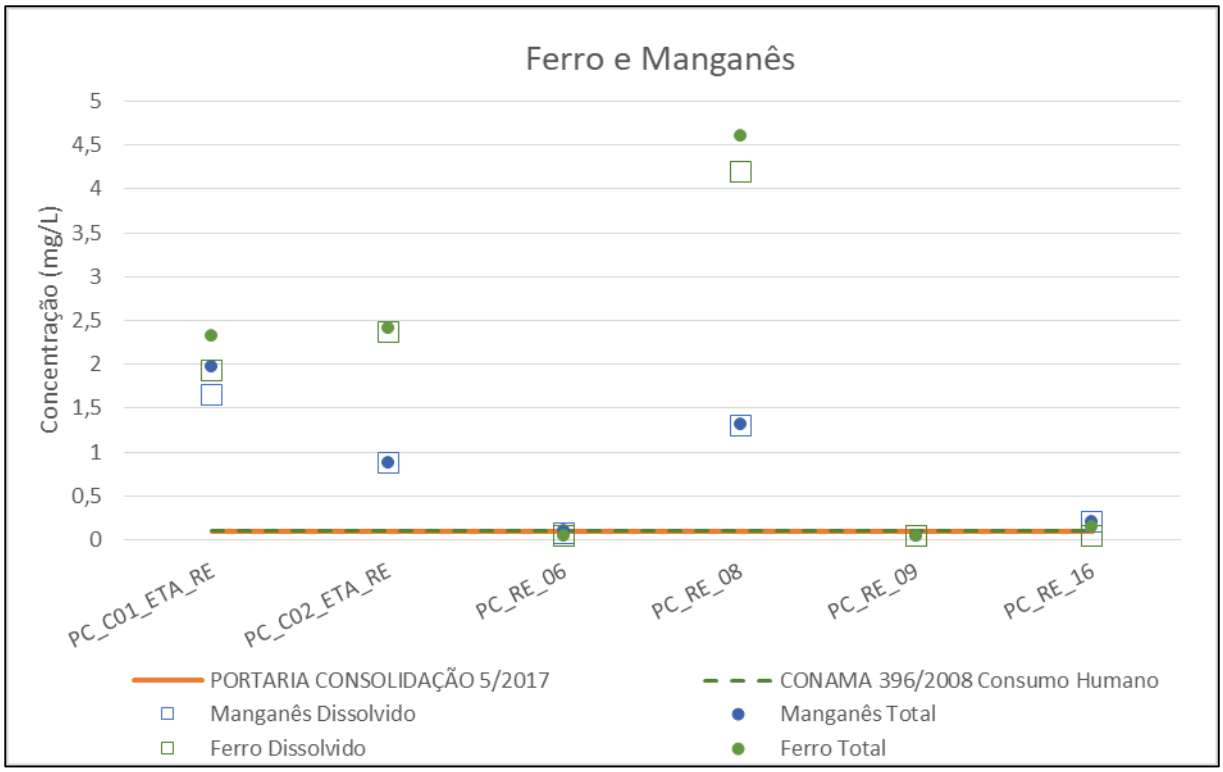


Figura 9.8: Gráfico Ferro e manganês (mg/L) x Ponto.

Turbidez (in situ)

Corresponde à medida da resistência de um meio em bloquear a passagem de luz. Está intimamente ligada com a quantidade de sólidos em suspensão, os quais são em maioria compostos por argilas, silte, e fragmentos de rochas. Altos índices de turbidez em amostragens subterrâneas podem estar relacionados aos métodos de amostragem e com as condições de desenvolvimento do instrumento no momento de instalação.

Os dados para turbidez encontram-se na Figura 9.9.

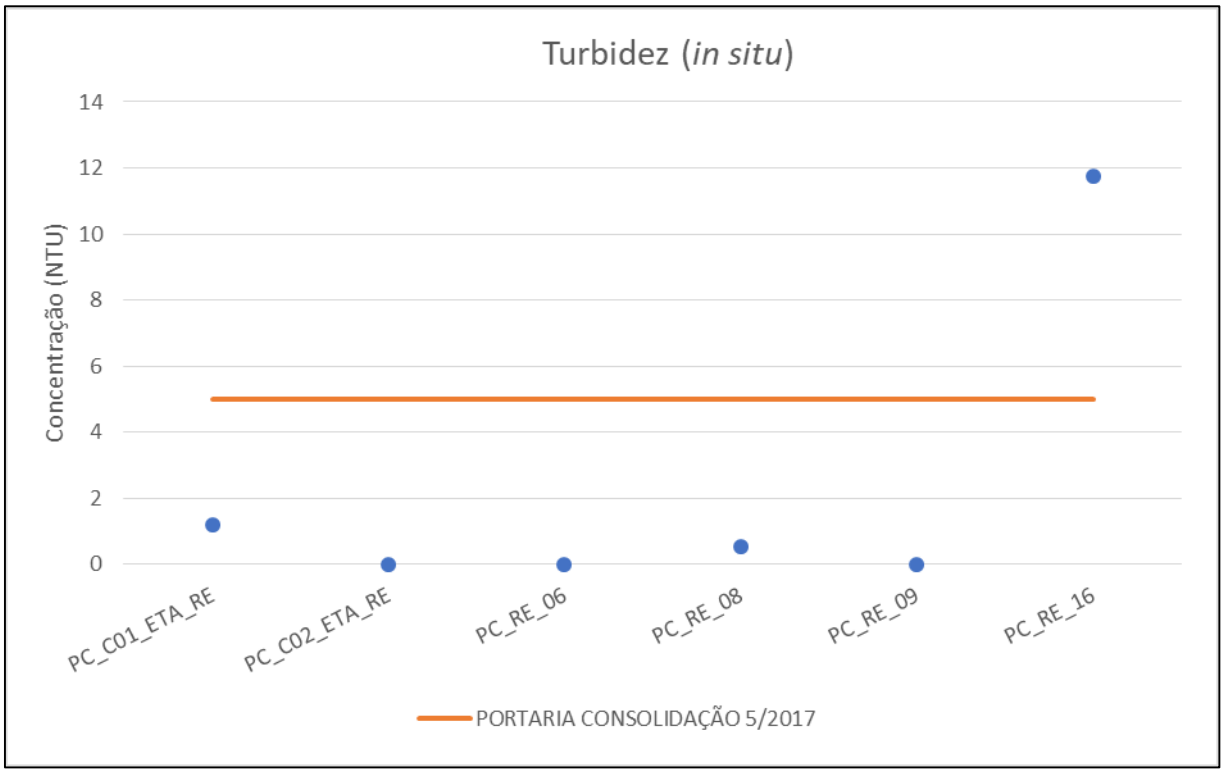


Figura 9.9: Gráfico Turbidez (*in situ*) (NTU) x Ponto.

Nota-se pelo gráfico acima, referente ao parâmetro turbidez, que apenas o poço PC_RE_16 apresentou-se não conformes, com valore acima do VMP exigido pela Portaria 5/2017.

Sulfato

O sulfato origina-se da oxidação do enxofre presentes nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados, como a gipsita e anidrita. A maioria dos sais de sulfato são solúveis, com exceção do sulfato de estrôncio e os de bário.

Os dados para Sulfato encontram-se na Figura 9.10.

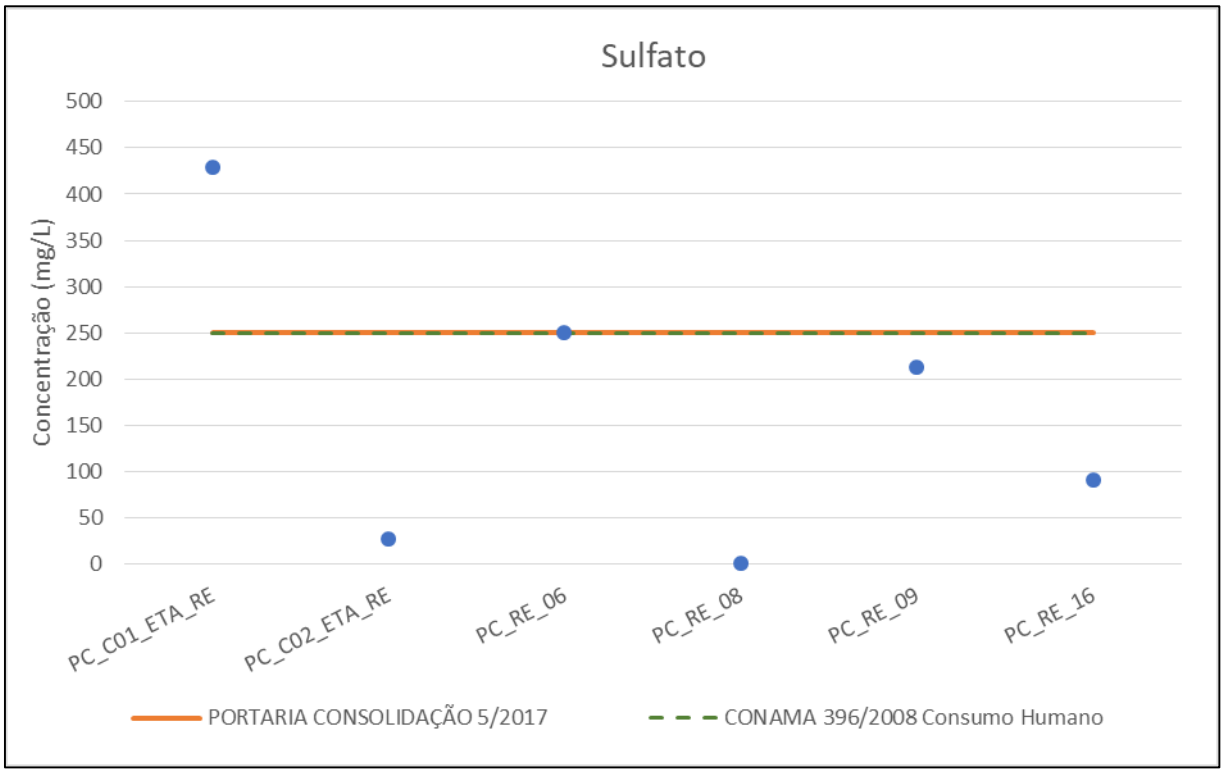


Figura 9.10: Gráfico Sulfato (mg/L) x Ponto.

Observa-se no gráfico acima que apenas o ponto PC_C01_ETA_RE apresentou concentração de sulfato superior aos limites impostos pelas legislações, mas também vale destacar o valor de sulfato no ponto PC_RE_06 que foi de 250mg/L, exatamente o valor máximo permitido pela portaria de consolidação 05/2017 e pela Conama 396/2008 para consumo humano.

Como citado anteriormente, levando-se em conta o fluxo d'água, apresentado na Figura 10.1, é possível verificar que o poço à montante dos pontos citados anteriormente, PC_RE_08, não possui concentração e sulfato elevada como os pontos a jusante, o que indica que ocorre localmente algum fenômeno natural ou antrópico que altera a concentração deste parâmetro.

Sólidos dissolvidos totais

A avaliação dos sólidos totais consiste no peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil.

Os dados para sólidos dissolvidos totais encontram-se na Figura 9.11.

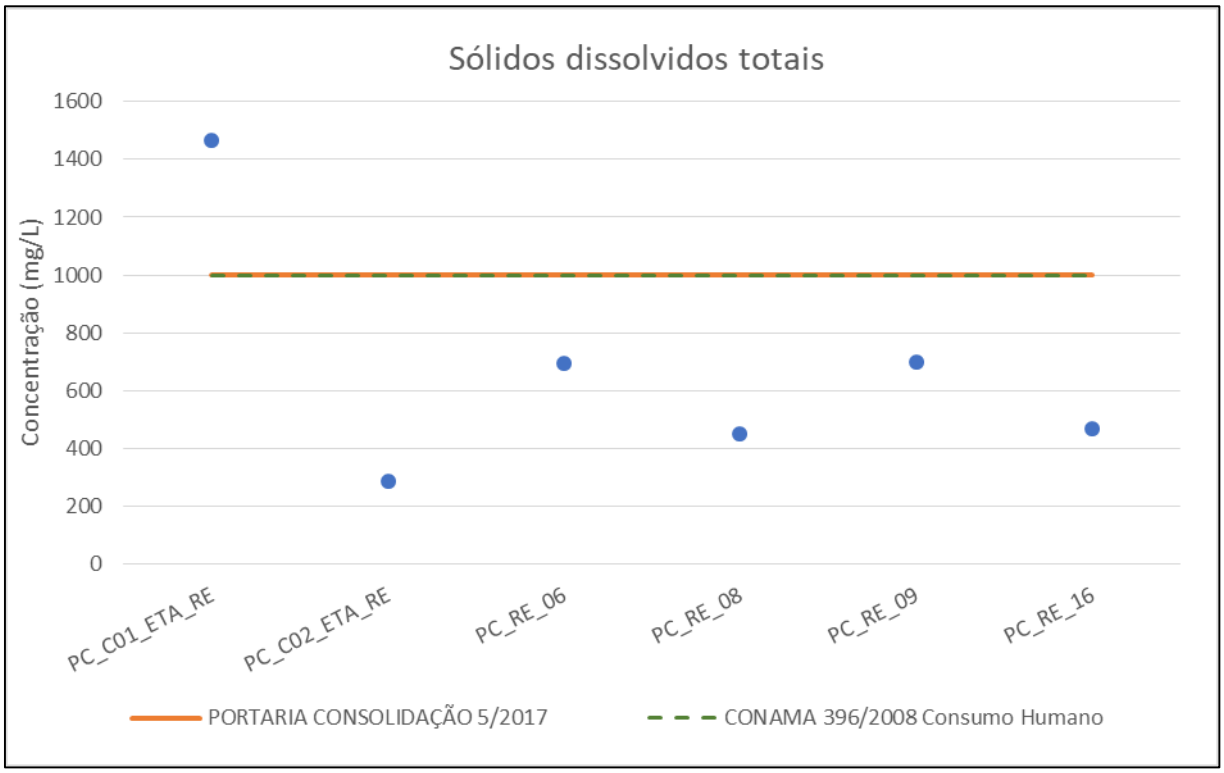


Figura 9.11: Gráfico Sólidos dissolvidos totais (mg/L) x Ponto.

Todos os pontos coletados estiveram conformes para a concentração de sólidos dissolvidos totais, com exceção do poço PC_C01_ETA_RE.

Nitrato

O nitrato é muito solúvel e dificilmente precipita. Em meios redutores, tem a tendência de ser estável, podendo passar a N_2 ou NH_4^+ e muito raramente para NO_3^- em meio oxidante. Normalmente ocorre em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica

Os dados para Nitrato encontram-se na Figura 9.12.

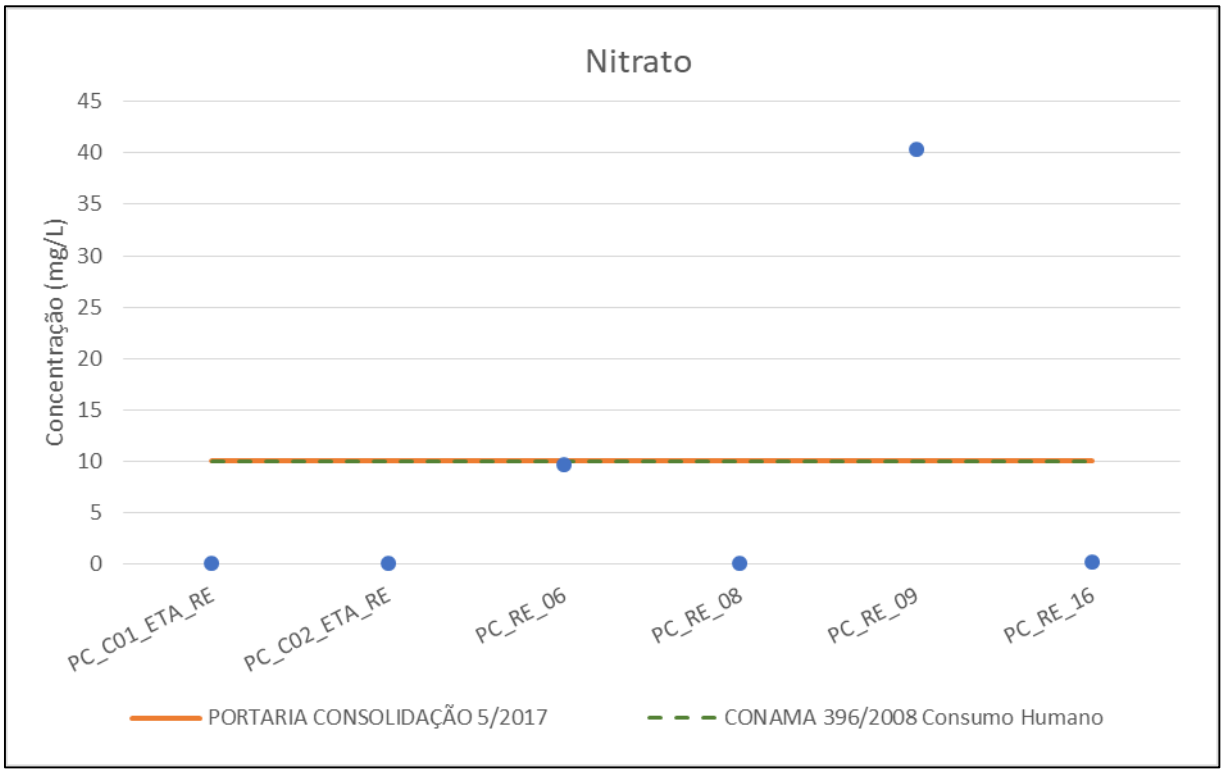


Figura 9.12: Gráfico Nitrato (mg/L) x Ponto.

A concentração de nitrato foi superior ao valor máximo permitido pelas legislações apenas no ponto PC_RE_09, mas o ponto PC_RE_06 apresentou valor de nitrato (9,7 mg/L) bem próximo ao limite (10 mg/L).

A presença de nitrato na água subterrânea pode ser indicativo de contaminação por atividades antrópica.

Cloreto

Os cloretos são muito solúveis e muito estáveis, sendo dificilmente precipitados. Estão presentes em todas as águas naturais, variando a concentração dependendo do tipo de água, superficial ou subterrânea e doce ou salgada.

Os dados para Cloreto encontram-se na Figura 9.13.

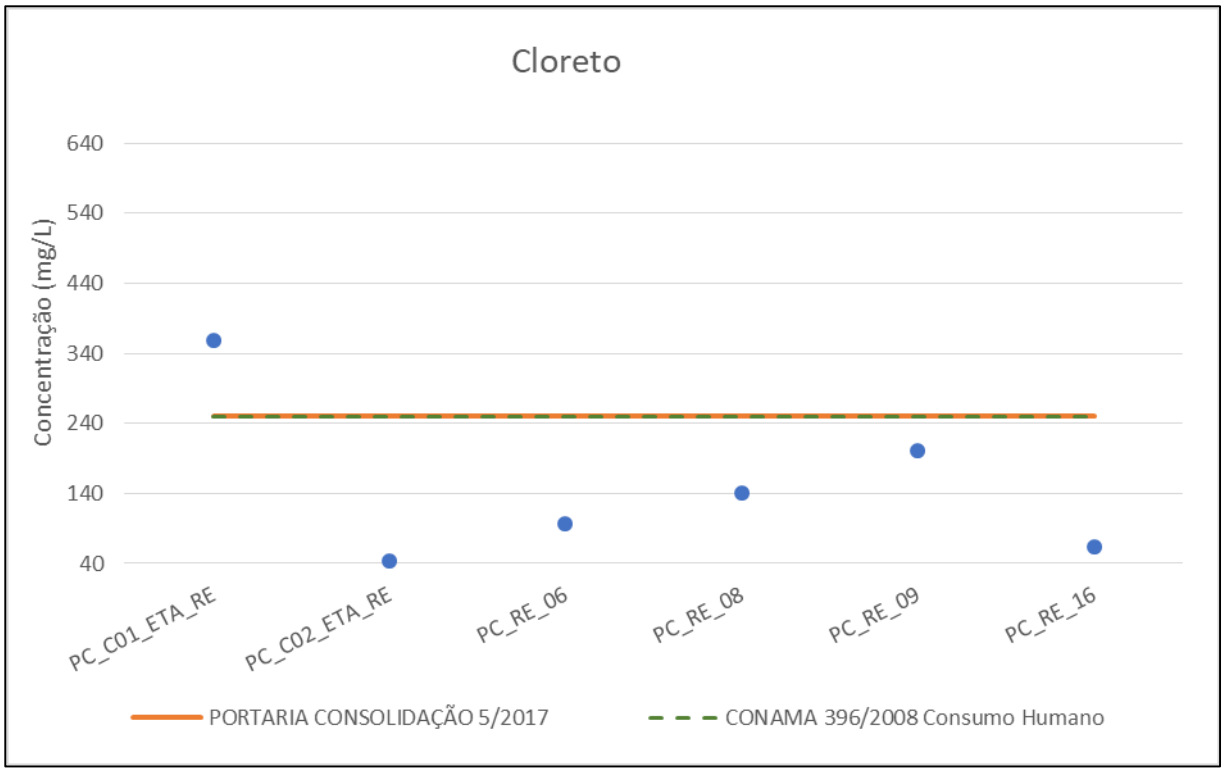


Figura 9.13: Gráfico Cloreto (mg/L) x Ponto.

De acordo com o gráfico acima, somente o ponto PC_C01_ETA_RE apresentou-se não conforme para Cloreto em relação a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 5/2017, enquanto os demais pontos monitorados, apresentaram-se conformes às legislações.

9.2.1.2 Água Superficial

A Tabela 9.7 abaixo, apresenta os resultados analíticos obtidos em laboratório para o ponto Rio Doce - Resplendor, comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 – Classe 2 e Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 5/2017. Vale ressaltar que alguns parâmetros na forma dissolvida, foram comparados com os valores máximos permitido de sua forma total, eles podem ser identificados pelo asterisco próximo ao valor nas colunas das legislações.

Tabela 9.7: Resultados do Monitoramento Qualitativo das Águas Superficiais.

PARÂMETROS	UNIDADE	PORTARIA CONSOLIDAÇÃO 5/2017	CONAMA 357/2005 Classe 2	RIO DOCE-RESPLENDOR
Data		-	-	17/09/2019
Código		-	-	MA1906269
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,2*	0,10	0,04

PARÂMETROS	UNIDADE	PORTARIA CONSOLIDAÇÃO 5/2017	CONAMA 357/2005 Classe 2	RIO DOCE-RESPLENDOR
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,01*	0,01*	<0,001
Bário Dissolvido	mg/L	0,7*	0,7*	0,02
Bicarbonato	mg/L	-	-	28,1
Boro Dissolvido	mg/L	-	0,5*	<0,05
Cádmio Dissolvido	mg/L	0,005*	0,001*	<0,001
Cálcio Dissolvido	mg/L	-	-	3,42
Carbonato	mg/L	-	-	<2
Chumbo Dissolvido	mg/L	0,01*	0,01*	<0,01
Cloreto	mg/L	250	250,00	9,46
Cobalto Dissolvido	mg/L	-	0,05*	<0,01
Cobre Dissolvido	mg/L	2*	0,009	<0,007
Coluna d´Água	m	-	-	
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-	89,9
Cromo Dissolvido	mg/L	0,05*	0,05*	<0,01
Estanho Dissolvido	mg/L	-	-	<0,2
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3*	0,30	**1,33**
Ferro Total	mg/L	0,3	-	0,13
Fluoreto	mg/L	1,5	1,40	<0,05
Fósforo Total	mg/L	-	0,03	<0,01
Magnésio Dissolvido	mg/L	-	-	1,68
Manganês Dissolvido	mg/L	0,1*	0,1*	<0,02
Manganês Total	mg/L	0,1	0,10	0,03
Mercúrio Dissolvido	mg/L	0,001*	0,0002*	<0,0002
Níquel Dissolvido	mg/L	0,07*	0,025*	<0,01
Nitrato (N)	mg/L	10	10,00	0,24
Nitrito (N)	mg/L	1	1,00	0,05
Nível da água	m	-	-	
Oxigênio dissolvido	mg/L	-	5,00	8,56
pH	-	-	6 a 9	6,14
Potássio Dissolvido	mg/L	-	-	2,58
Potencial de Oxirredução	mV	-	-	16,9
Prata Dissolvido	mg/L	-	0,01*	<0,005
Profundidade	m	-	-	
Sódio Dissolvido	mg/L	200*	-	14,1
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000	500,00	63
Sulfato	mg/L	250	250,00	8,79
Sulfeto	mg/L	0,1	0,00	<0,002
Temperatura da água	°C	-	-	27,5
Temperatura do ar	°C	-	-	32
Turbidez	UNT	5	100,00	0
Zinco Dissolvido	mg/L	5*	0,18*	<0,02

Legenda
* VMP do parâmetro na forma total

O ferro dissolvido foi o único parâmetro não conforme para o ponto Rio Doce - Resplendor. O que pode ser atribuído à presença de biotita, estauralita e turmalina ou até mesmo da lama proveniente do rompimento da Barragem de Fundão. Entretanto, deve-se atentar que o valor de ferro total foi inferior ao de ferro dissolvido, o que pode indicar erro laboratorial.

9.3 CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA

Na campanha realizada na área de estudo foram coletados, para todos os pontos, amostras de isótopos estáveis ^{2}H (Deutério) e ^{18}O (Oxigênio-18).

Os isótopos deutério e oxigênio-18 foram determinados por meio do método de espectroscopia de massa de razão isotópica (IRMS), no Laboratório Beta Analytic, localizado em Miami.

Os laudos isotópicos podem ser encontrados no Anexo VII.

A interpretação dos resultados dos isótopos estáveis segue abaixo.

9.3.1 Assinatura de isótopos estáveis (18O e 2H)

Os valores dos desvios isotópicos de ^{18}O e D das amostras de água subterrânea e superficial analisados pela Beta Analytic são apresentados na tabela a seguir (Tabela 9.8).

Tabela 9.8: Resultados analíticos de ^{18}O e D para águas coletadas na área de estudo.

Amostra	Tipo	$\delta^{18}O$‰	DPR	δD‰	DPR
RIO_DOCE_RESPLENDOR	superficial	-4,11	0,02	-25,36	0,09
PC-RE-06	subterrânea	-4,71	0,02	-27,28	0,08
PC-RE-08	subterrânea	-3,88	0,01	-22,86	0,03
PC-RE-09	subterrânea	-5,05	0,02	-30,91	0,35
PC-RE-16	subterrânea	-4,55	0,01	-26,87	0,01
PC-CO1-ETA-RE	subterrânea	-5,17	0,02	-30,59	0,02
PC-CO2-ETA-RE	subterrânea	-5,11	0,01	-30,53	0,03

DPR: Desvio padrão relativo.
Os resultados são expressos em δ 0/00 (delta por mil) referido ao padrão VSMOW

A linha meteórica global (LMG), convencionada por Craig, 1961 é expressa na equação $\delta D = 8(\delta^{18}O) + 10$, e mostra como é o comportamento médio das concentrações

dos isótopos nas águas de chuva em diversas partes do mundo. A utilização da LMG é usual para avaliar o regime climático governante de uma região, perante a situação média mundial.

Já a linha meteórica local (LML) é utilizada para avaliações mais localizadas, como por exemplo, de uma cidade ou empreendimento perante uma bacia hidrográfica. Pela falta de dados de oxigênio 18 e deutério da água da chuva da região, optou-se por utilizar os dados da estação pluviométrica Aeroporto, localizada em Brasília (DF), que é incluída na Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e na Organização Meteorológica Mundial (OMM) para análises isotópicas de precipitação.

As linhas meteóricas global e local, e concentrações isotópicas de cada ponto estão expressas na figura a seguir (Figura 9.14).

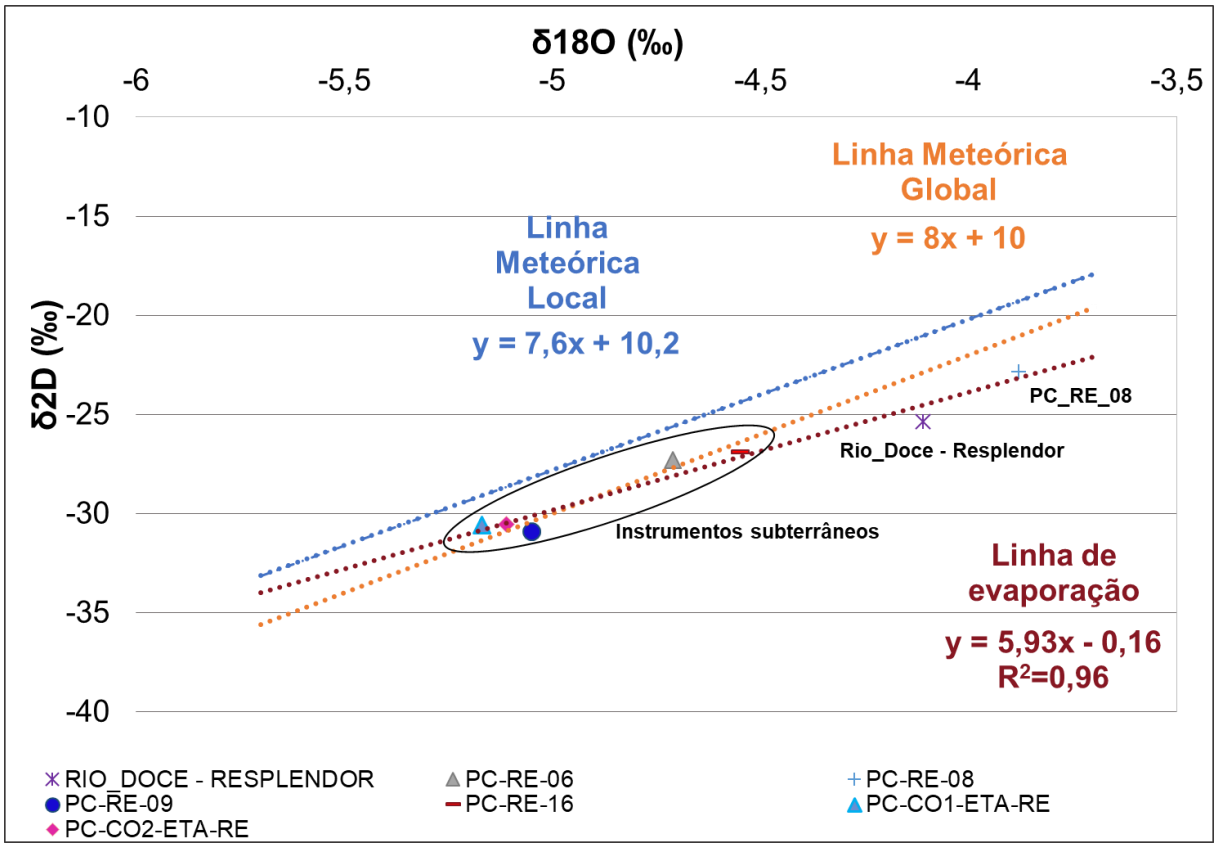


Figura 9.14: Linha meteórica global e local (LMG e LML), e dados isotópicos.

Uma análise inicial dos dados isotópicos deve ser feita levando em consideração que, quanto mais negativos, maior é a perda de isótopos pesados, ou seja, há um empobrecimento em ^{18}O e D na água. Enquanto que, quando os dados são mais positivos,

há um enriquecimento em isótopos pesados, remetendo à uma condição de maior evaporação da água.

No geral, os pontos subterrâneos apresentaram baixa concentração de isótopos pesados e estiveram localizados próximos à linha meteórica global. Há a distinção entre dois grupos, o primeiro composto pelos pontos PC_C01_ETA_RE, PC_C02_ETA_RE e PC_RE_09, com águas menos evaporada e o segundo grupo com os pontos PC_RE_06 e PC_RE_16 com águas com uma concentração maior de isótopos pesados. Essa questão pode estar associada à diferenciação de aquíferos na região, um aquífero raso e um aquífero profundo.

Dois pontos tiveram comportamento diferenciado dos demais, sendo eles Rio Doce - Resplendor e PC_RE_08.

O Rio Doce - Resplendor está exposto à atmosfera, a radiação solar e elevadas taxas de evaporação, o que faz com que suas águas sejam mais enriquecidas em isótopos pesados, conforme gráfico acima.

Já o ponto PC_RE_08, diferente dos demais poços, apresentou os maiores valores para oxigênio 18 e deutério, o que indica que sua água passou por mais processos evaporativos. Observando a Figura 8.1, verifica-se que há uma drenagem, afluente do rio Doce, muito próxima ao ponto, o que associado com este resultado, nos leva a inferir que água superficial infiltra no solo e se mistura com a água do aquífero.

Outra abordagem que ajuda na verificação dos processos hidrogeológicos é a análise do excesso de deutério (*d*) (Tabela 9.9). Quanto maior o valor de *d,* maior é a semelhança da assinatura da água de chuva local (ou seja, mais rápida é a infiltração), em contrapartida, quanto menor é este parâmetro, maior é exposição da água a processos evaporativos e consequentemente mais lenta é a recarga do aquífero. A linha meteórica global possui coeficiente linear da reta de 10, esse valor corresponde ao excesso de deutério médio da água das chuvas globais.

Sendo assim, em valores superiores a 10, a tendência é que mais similar à água da chuva seja a água de um aquífero, e quanto menor, maior é a taxa de evaporação da mesma.

Tabela 9.9: Excesso de Deutério dos pontos do empreendimento.

Amostra	Tipo	d
RIO DOCE - RESPLENDOR	superficial	7,52
PC-RE-06	subterrânea	10,4
PC-RE-08	subterrânea	8,18
PC-RE-09	subterrânea	9,49
PC-RE-16	subterrânea	9,53
PC-CO1-ETA-RE	subterrânea	10,77
PC-CO2-ETA-RE	subterrânea	10,35

Observando a tabela acima, é possível verificar que a grande maioria dos pontos possui excesso de deutério próximo de 10, indicando recarga rápida do aquífero. Já os pontos PC_RE_08 e Rio Doce - Resplendor demonstram pouca similaridade com a água de chuva, reforçando no caso do ponto PC_RE_08, sua relação com a drenagem superficial próxima a ele.

9.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ANÁLISES HIDROQUÍMICAS

De acordo com os resultados da coleta hidroquímica e isotópica realizada pode-se fazer as seguintes considerações:

- O balanço iônico indicou que apenas a água do rio Doce – Resplendor estava balanceada e que todos os pontos subterrâneos apresentaram concentração de ânions superior ao de cátions, o que pode ser um indicativo da presença de algum elemento secundário ou traço.
- As águas de todos os pontos foram classificadas quanto aos ânions como bicarbonatadas ou mista, prevalecendo além do bicarbonato e carbonato, o sulfato. Quanto aos cátions houve uma grande diferenciação entre os pontos, sendo magnesianas, sódicas, cálcicas ou mistas, o que pode ser devido a presença dos minerais muscovita, biotita, feldspato, estaurolita e turmalina na área de estudo.
- Os Diagrama de Stiff demonstraram que a água superficial é pouco mineralizada e que os pontos subterrâneos apresentam maior concentração de íons no sentido sul da área de estudo. Considerando o fluxo d'agua é possível notar que próximo aos pontos PC_RE_06, PC_RE_ETA_C01 e PC_RE_09 ocorre localmente algum fenômeno natural ou antrópico que altera a concentração de íons, especialmente de sulfato.

- Na avaliação da qualidade da água subterrânea forma verificas não conformidades nos seguintes parâmetros: Cloreto, Ferro dissolvido e total, Fluoreto, Manganês dissolvido e total, Nitrato, Sólidos dissolvidos totais, Sulfato e Turbidez (in situ).
- Em relação à qualidade da água superficial, destaca-se o Ferro dissolvido, o que esteve presente em concentração superior ao máximo permitido pela legislação, entretanto, o valor de ferro total foi inferior ao de ferro dissolvido, o que pode indicar erro laboratorial.
- O ponto PC_C01_ETA_RE, de maior interesse neste trabalho, foi o ponto que exibiu o maior número de parâmetros com concentração acima do valor máximo permitido pela legislação. Ele é um ponto de grande mineralização, como podemos perceber pelo valor da condutividade elétrica (1861 µS/cm), pelo diagrama de Stiff, assim como pelas não conformidades em cloreto, ferro e manganês, ambos em sua forma total e dissolvida e sulfato, o que ocasiona a alta concentração de sólidos dissolvidos totais. Sendo assim, sua água não é apropriada para consumo, a não ser que passe por tratamento.
- Na região há a presença dos minerais muscovita, biotita, estaurolita e turmalina, os quais podem ser responsáveis pela concentração elevada de parâmetros como fluoreto e/ou ferro.
- No geral, os pontos subterrâneos apresentaram baixa concentração de isótopos pesados e estiveram localizados próximos à linha meteórica global. Há a distinção entre dois grupos, o primeiro composto pelos pontos PC_C01_ETA_RE, PC_C02_ETA_RE e PC_RE_09, com águas menos evaporada e o segundo grupo com os pontos PC_RE_06 e PC_RE_16 com águas com uma concentração maior de isótopos pesados.
- O Rio Doce – Resplendor, por estar exposto à atmosfera, a radiação solar e elevadas taxas de evaporação, tem suas águas enriquecidas em isótopos pesados.
- O ponto PC_RE_08, diferente dos demais poços, apresentou os maiores valores para oxigênio 18 e deutério, o que indica que sua água passou por mais processos evaporativos. Perto do ponto há uma drenagem, o que associado com os resultados de isótopos estáveis, nos leva a concluir que água superficial infiltra no solo e se mistura com a água do aquífero.

- A grande maioria dos pontos possui excesso de deutério próximo de 10, indicando recarga rápida do aquífero. Já os pontos PC_RE_08 e Rio Doce - Resplendor demonstram pouca similaridade com a água de chuva.

10 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

10.1 CONCEITOS

A seguir será apresentada uma descrição conceitual sobre tipos de aquíferos e como as rochas descritas para a região de estudo se comportam quanto ao seu potencial para o armazenamento e a circulação da água subterrânea.

Aquífero

Um aquífero é toda formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a explotação desta em quantidades economicamente viáveis. Esse conceito está relacionado à demanda de água local, sendo que um aquífero considerado pobre em uma região pode ser considerado como um aquífero de boa qualidade em outra.

A água contida em uma formação geológica qualquer pode ocupar tanto os vazios intergranulares quanto espaços vazios relacionados com falhas, fraturas e estruturas de dissolução/carstificação.

A seguir são apresentadas as classificações de aquíferos em relação ao tipo de porosidade e em relação ao confinamento:

Classificação em relação à porosidade: entende-se por porosidade granular ou primária os vazios formados entre os grãos da rocha, e por porosidade secundária ou fissural, aquela formada por descontinuidades da rocha, que possibilitam o armazenamento e a circulação de água subterrânea. Assim sendo, empregam-se as denominações de aquíferos com granular poroso (ou primária) e porosidade fissural (ou secundária). Existem também os aquíferos cársticos, normalmente caracterizados por redes de condutos subterrâneos formados pela dissolução de rochas, principalmente carbonáticas, e que também apresentam porosidade secundária.

Classificação em relação ao confinamento: aquíferos livres são aqueles no qual há uma superfície livre de água (em contato direto com o ar), ou seja, sob pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a água contida em seu interior está submetida a certa pressão, superior a atmosférica, e ocupa a totalidade dos poros e vazios da formação, saturando-a totalmente. Uma variação dos aquíferos confinados são os aquíferos denominados semiconfinados, no qual a camada superior ou inferior que os confine não seja totalmente impermeável, mas semipermeável (vide definições adiante). Ou seja, um material que

permita a circulação vertical da água, muito lenta, que alimente um aquífero a partir de outro situado acima ou abaixo.

10.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para o entendimento da dinâmica hidrogeológica local é necessário realizar a compartimentação dos sistemas hidrogeológicos de fluxo. A princípio, de acordo com os pontos inventariados é possível delimitar um único sistema hidrogeológico, o Sistema Aquífero Cristalino.

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) é composto por dois subsistemas aquíferos. O primeiro é caracterizado por apresentar porosidade primária, ou seja, originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidados, originados do intemperismo dos xistos e ganisses (manto de intemperismo), esse sistema tem cerca de 10 metros de espessura e funciona como um reservatório e filtro para o aquífero fraturado subjacente.

O segundo e principal subsistema é o aquífero fraturado, caracterizado por apresentar porosidade secundária, ou seja, originada posteriormente à formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas dos xistos e gnaisses da Formação São Tomé (Unidade 3). Esse aquífero se estende desde cerca de 10 metros de profundidade até elevadas profundidades. Classifica-se ainda como um aquífero bastante heterogêneo não mantendo uma homogeneidade de propriedade, indicando a ocorrência de água subterrânea apenas onde as descontinuidades se fazem persistentes,

Em relação a classificação, o SAC e se enquadra como um sistema aquíferos livre, uma vez que o mesmo está submetido apenas a pressão atmosférica.

10.3 FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Com base nas cotas do nível d’água dos pontos d’água subterrâneos cadastrados na área foi possível elaborar um mapa potenciométrico preliminar. Com os dados sobre o nível d’água conseguiu interpretar sete linhas equipotenciais (que representam posições de igual cota do nível d’água).

Para calcular a cota do nível d’água, primeiramente soma-se a altura do tubo de boca (medido com trena) à cota do local obtida por meio do GPS, então subtrai-se do resultado da soma o valor do nível d’água (medido com o medidor de nível portátil) conforme equação a seguir.

$$cna = cp + atb - na$$

Cna = cota do nível d'água (m)

Cp = cota topográfica do ponto (m)

Atb = altura do tubo de boca (m)

Na = profundidade do nível d'água (m)

A Figura 10.1 apresenta o mapa potenciométrico calculado para a região a partir dos níveis d´água estáticos. Analisando a mesma, a linha equipotencial com maior cota é a de 101 metros e a menor de 89 metros, com as maiores cotas na porção oeste da área, que vão diminuindo à medida que se aproxima da calha do Rio Doce que está na cota de 89m, indicando o fluxo da água subterrânea natural vai do aquífero para o Rio Doce (Figura 10.1).

Devido aos poços C01 e C02 serem poços antigos da Copasa instalados na área, não existem dados sobre os perfis construtivos dos mesmos, logo não se pode definir quais são os principais pontos de entrada d'água nos poços, no entanto devido a geologia do local acredita-se que estes pontos se encontram na rocha sã. Existem dados do ensaio de bombeamento do poço C01 (ANEXO III), ao se fazer uma análise dos dados encontrados (ANEXO IV), encontrou-se os seguintes parâmetros hidráulicos:

Transmissividade (m^2/dia) = 88 m^2/dia

Condutividade hidráulica (m/dia) = 0,60 m/dia

Com relação ao comportamento do gráfico do teste de bombeamento, têm-se duas hipóteses para explica-lo:

- A primeira é que o aquífero no local apresenta drenagem diferida, ou seja, apenas uma parte da água armazenada é liberada de imediato, para a partir de um determinado tempo, ser liberado o restante da água.
- A segunda é a existência de fraturas em porções distintas do poço, uma na parte mais superficial e outra mais profunda, e estas cedem água em momentos diferentes do teste de bombeamento.

Entende-se ainda que esse tipo de aquífero, como mencionado no item anterior, são bastante descontínuos e não se observam evidencias de que as fraturas encontradas nos poços mantenham conexão hidráulica com o Rio Doce. Todavia, estudos complementares como a caracterização hidroquímicas e isotópicas das águas do aquífero e rio permitiriam confirmar tal afirmação.

A caracterização hidroquímica e isotópica confirmam as características díspares entre as águas superficiais (Rio Doce) e águas subterrâneas, indicando que não existe uma relação direta, ou, uma influência do rio Doce sobre o aquífero local.

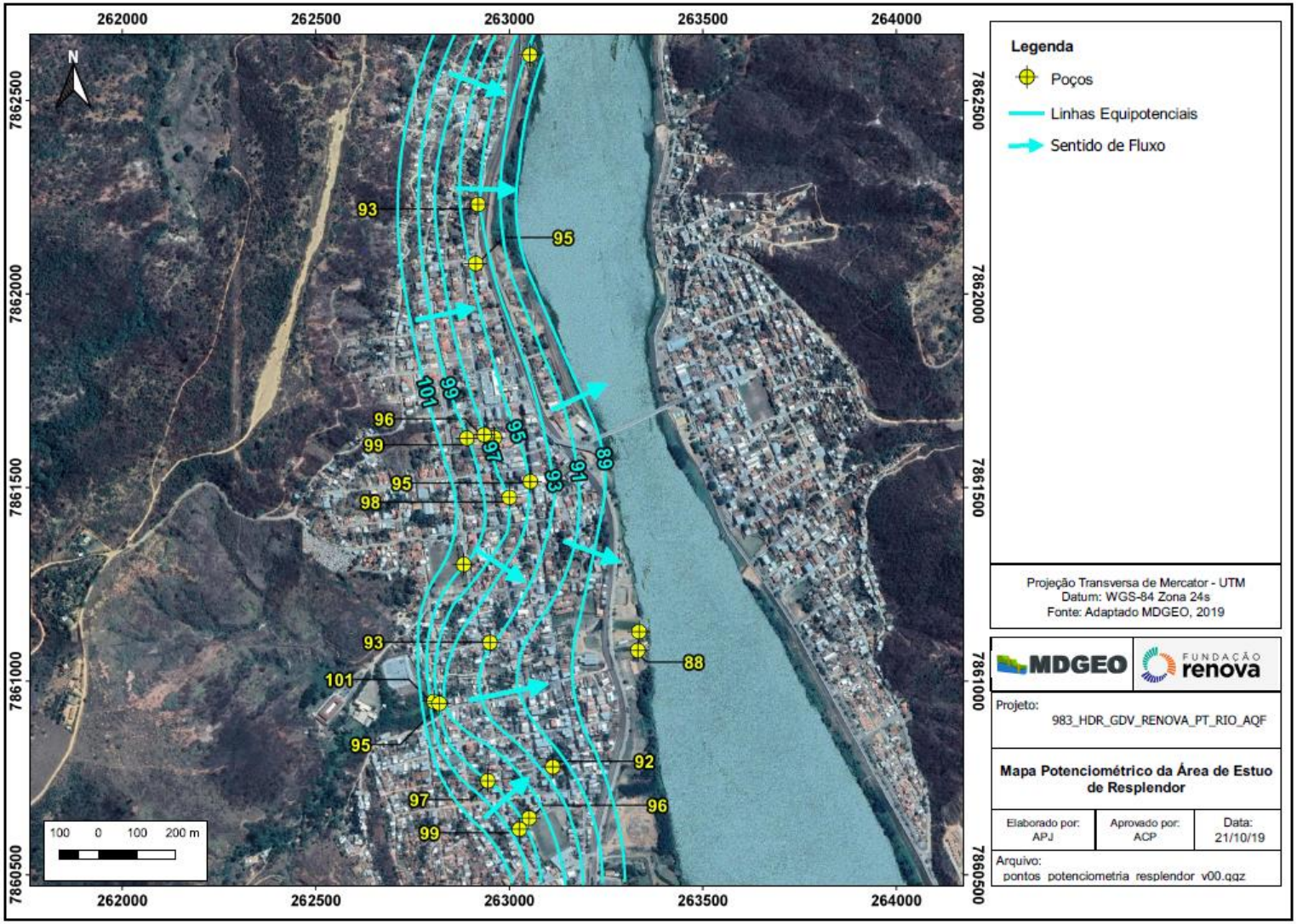


Figura 10.1: Mapa potenciométrico, com cota do <u>nível estático</u> dos poços, da região próxima aos poços C01 e C02.

11 CONCLUSÕES

Com o cadastro dos pontos d'água subterrâneos (poços e cisternas) na área próxima ao poço, foram encontrados 15 poços além dos Poço C01 e C02 que estão localizados nas ETAs de Resplendor. Ressalta-se mais uma vez que o objeto deste estudo é o Poço C01, porém conforme existência do Poço C02 (desativado), o mesmo foi utilizado apenas para as questões referentes ao modelo hidrogeológico conceitual da área.

Em termos hidrogeológicos o único sistema aquífero existente é o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) que se divide em dois subsistemas aquíferos, o mais superficial caracterizado por apresentar porosidade primaria originada pelos espaços vazios existentes entre os sedimentos inconsolidados, originados do intemperismo das rochas graníticas (manto de intemperismo). E o mais profundo, espesso mais e importante caracterizado por apresentar porosidade secundária, originada posteriormente a formação da rocha, por esforços sofridos pela rocha que geraram fraturas, falhas e juntas nos xistos e gnaisses da Formação São Tomé (Unidade 3).

Com os dados das cotas do nível d'água dos pontos subterrâneos e caracterização hidroquímica/isotópica foi possível estabelecer que as linhas equipotenciais têm menores valores mais próximos a calha do Rio Doce, indicando fluxo de oeste para leste.

Os resultados obtidos permitem determinar que na área de estudo o Rio Doce se comporta como um rio efluente, ou seja, o fluxo de água do rio é mantido devido a água cedida pelo aquífero. Logo pode-se concluir que a água que os poços captam não está vindo do Rio Doce e sim do aquífero cristalino que existe na região.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. (2010). *Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste*. Fonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx

Ab'Saber, A. N. (1972). Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro: Considerações finais, conclusão. *Geomorfologia*, 28:01-38.

ALMEIDA, F., & LITWINSKI, N. (1984b). *Província Mantiqueira: setor setentrional. In: ALMEIDA, F.F.M, HASUI, Y. (Eds.), O Pré-Cambriano do Brasil.* São Paulo: Edgar Blucher.

ALMEIDA, F.F.M, HASUI, Y. (1984a.). O Pré-Cambriano do Brasil. . *São Paulo: Edgard Blucher,*, 378p. .

CBH SUAÇUÍ/MG. (2013). *A BACIA*. Fonte: CBH SUAÇUÍ/MG: http://www.cbhsuacui.org.br/a-bacia

CBHRP. (2013). *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga*. Fonte: http://www.cbhpiranga.org.br/a-bacia

CONAMA. (2005). *RESOLUÇÃO No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63*. Fonte: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf

CONAMA. (2008). *Resolução CONAMA n°396, de 03/04/208 DOU de 07/04/08 p.66 seção 1 nº 66 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para oenquadramento das águas subterrâneas.*

CPRM. (2000). *Conselheiro Pena Folha SE.24-Y-C-II Estado de Mnas Gerais Escala 1:100000.* Belo Horizonte.

FUGRO; SAMARCO. (2018). *MAPEAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE - BACIAS B1 E B2 DA FAZENDA FLORESTA.* 73p: FRN-01-GFS-GRE-01.

FUNDAÇÃO RENOVA. (17 de maio de 2017). Fonte: Site da Fundação Renova: http://www.fundacaorenova.org/a-fundacao/

IBIO, CBH-MANHUAÇI/MG, & PREFEITURA MUNICIPAL DE RESPLENDOR - MG. (Junho de 2016). PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PMSB) DO MUNICÍPIO DE RESPLENDOR – MG. Resplendor, Minas Gerais, Brasil.

IGAM, & PIRH BACIA DO RIO DOCE. (Maio de 2010). PLANO DE AÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS MANHUAÇU PARH MANHUAÇU. Minas Gerais, Brasil.

INPE, I. N. (2015). *Índice de Desenvolvimento de Eduação Básica.* Brasília: IDBE.

MDGEO. (2017). *Relatório dos estudos hidrogeológicos na região da Fazenda Floresta. "Compilação de dados". Rio Doce - MG.* Belo Horizonte.

MDGEO; SAMARCO. (2018b). *PRAD GEOTECNICO - MODELO HIDROGEOLOGICO.*

NALINE JR, H., BILAL, E., & CORREIA-NEVES, J. (1998). Mineralogical, geochemical and isotopic constraints of neoproterozoic granitoids (Urucum and Galileia Suites) eastern Minas Gerais State, Brazil. *In: International conference on Basement Tectonics*, (pp. 44-56). Ouro Preto.

NALINE JR, H., BILAL, E., & PAQUETTE, J. (1997). U-Pb zircon geochronology and typology from Neoproterozoic granitoid suítes of the Rio Doce valley, eastern State of Minas Gerais, Brazil. *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITATES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS*.

PADILHA, A., VASCONCELLOS, R., & GOMES, R. (1991). *Evolução Geológica. In: PINTO, C.P. Projeto Barbacena: Folha Lima Duarte – SF.23-X-C-VI, escala 1:100.000.* Brasília: DNPM/CPRM.

PEDROSA-SOARES, A., DARDENE, M., HASUI, Y., & CASTRO, F. (1994). Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 1:1.000.000. Belo Horizonte, Minas Gerais: SEME-COMIG.

PEDROSA-SOARES, A., NOCE, C., & PINTO, C. (1998). Da litosfera oceânica ao arco magmático cálcio-alcalino: uma síntese das evidências de subducção – B no Orógeno Araçuaí – Oeste-Congo. *Congresso Brasileiro de Geologia* (p. 19). Belo Horizonte: SBG – Núcleo Minas Gerais.

Pedrosa-Soares, A., NOCE, C., WIEDEMAMM, C., & PINTO, C. (2001). The Araçuaí-West Congo Orogen In Brazil. *Na overwiew of a confined orogen formed during Gondwanaland Assembly. Precambrian Research*, pp. 307 - 323.

SBICS. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* Brasília: Embrapa.

UNIVERSIADE FEDERAL DE VIÇOSA, FUNDAÇÃO DENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, & FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. (2010). Mapa de solos do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais: Fundação Esadual do Meio Ambiente.

VAUCHES, A., EGYDIO-SILVA, M., BABINSK, M., TOMMASI, A., UHLEIN, A., & LIU, D. (2007). Deformation of a pervasely molten middle crust: insights from the neoproterozoic Ribeira-Araçuaí orogen (SE-Brazil)., (pp. 278-286).

VIEIRA, V., NOCE, C., SILVA, L., & PEDROSA-SOARES, A. (2006). Idade U-Pb SHRIMP de Áreas-fontes da Sedimentação do Grupo Rio Doce, Orógeno Araçuaí. *In: Congr. Bras. Geol., 43,* , (p. 313). Aracaju.

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005607868
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO C01 E DO POÇO C02 DE RESPLENDOR/MG.....
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

BELO HORIZONTE, 23 de OUTUBRO de 2019

BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **21/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005413371**

Via da Obra/Serviço
Página 1/1

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005607868
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

RELATÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO C01 E DO POÇO C02 DE RESPLENDOR/MG.....
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

BELO HORIZONTE, 23 de OUTUBRO de 2019

BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **21/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005413371**

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005607868
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

RELATORIO TECNICO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO PARA OUTORGA DO POÇO C01 E DO POÇO C02 DE RESPLENDOR/MG.....
.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

BELO HORIZONTE, 23 de OUTUBRO de 2019

BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$40.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **21/10/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005413371**

ANEXO II – FICHAS DE CAMPO

ANEXO III – DADOS DO ENSAIOS DE BOMBEAMENTO REALIZADOS PELA EMPRESA HIDROPOÇOS NO POÇO C01

ANEXO IV – INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DO TESTE DE BOMBEAMENTO DO POÇO C01

ANEXO V – ACERVO FOTOGRÁFICO

ANEXO VI – LAUDOS HIDROQUÍMICOS

ANEXO VII – LAUDOS ISOTÓPICOS

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

RELATÓRIO F

SAMARCO

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO
MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES – ES

NOVEMBRO DE 2016

MDGEO
HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Título do Projeto:	Estudo Hidrogeológico: Mapa Potenciométrico da Região de Linhares/ES.
Contrato:	4500170624
Vigência Contrato:	18/09/2016
Centro de Custo:	695
Local:	Linhares, Espírito Santo

DADOS DA CONTRATANTE

Contratante:	FUNDAÇÃO RENOVA
CNPJ:	016.628.281/0006-76
Endereço:	Rodovia do Sol ES 060 S/N Anchieta BR/ES CEP:29230-000
Gestor do Contrato:	Márcia Bragato
Contato:	28 9 9276 7092 - 28 3361 9714

RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

Razão Social:	MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.
CNPJ:	38.625.927/0001-90
Responsável Técnico:	Antônio Carlos Bertachini
Contato:	Rua Gararu, 389, Sagrada Família 31.035-470 – Belo Horizonte – MG Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602 Fax: (+55) 31-3481-8911 mdgeo@mdgeo.com.br
Anotação de Resp. Técnica – ART:	14201600000003093223

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Antônio Carlos Bertachini (ACB) CREA SP 70902/D	Consultor em Hidrogeologia	Responsabilidade técnica
Mauricio A. Bertachini (MAB) CREA/MG174644/D	Hidrogeólogo Pleno	Gerente do projeto/ Preposto, Confecção do relatório e interpretação dos dados hidroquímicos
Eduardo Araújo Fontana CREA ES 39213/D	Hidrogeólogo Júnior	Trabalho de campo Confecção do relatório
Daíla Aparecida Ferreira CREA MG 172159/D	Engenheira Hídrica	Confecção do relatório
Ana Carolina Ferreira Xavier (ACF) CREA MG 200851/D	Geóloga Junior	Revisão do relatório e interpretação dos dados hidroquímicos
Luana Martinez Amaral (LMA) CREA MG 200121/D	Geoprocessamento/Cartografia	Elaboração mapas
Luiz Felipe Hoffmann Lisboa	Técnico de Mineração	Acompanhamento da coleta de água
Pedro Henrique de Souza Marques	Auxiliar de geologia	Compilação dos dados

REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROVAÇÃO	FINALIDADE
V00	01/11/2016	DAF/ EAF/ PSM	-	No prelo
V00_RI	09/11/2016	DAF/ EAF/ PSM	ACF	Primeira revisão interna
V0_RIC	11/11/2016	ACF	MAB	Revisão Interna corrigida
R01	14/11/2016	MAB		Revisão Interna aprovada
R02	17/11/2016	MAB	-	1ª Revisão cliente
R05	2911/2016	MDGEO	Samarco	Revisão final

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6

2 OBJETIVO 7

3 LOCALIZAÇÃO 8

4 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO 10

4.1 CLIMA E PLUVIOMETRIA 10
4.2 HIDROGRAFIA 10
4.3 GEOMORFOLOGIA 12

5 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO 13

5.1 COMPLEXO PARAÍBA DO SUL 15
5.2 GRUPO BARREIRAS 15
5.3 FORMAÇÃO LINHARES (DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS) 15

6 CADASTRO DE PONTOS D'ÁGUA 16

7 AMOSTRAGEM HIDROQUÍMICA 25

7.1 MÉTODOS E PARÂMETROS 25

8 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA 30

8.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA 30
8.2 PARÂMETROS FISICO-QUÍMICOS AVALIADOS 40
8.2.1 Condutividade elétrica 40
8.2.2 Potencial de oxidação - redução 44
8.2.1 Potencial hidrogeniônico 44
8.2.2 Turbidez 46
8.3 CÁTIONS E ÂNIONS AVALIADOS 47
8.3.1 Alcalinidade de bicarbonatos 47
8.3.2 Boro total 48
8.3.1 Bário total 49
8.3.2 Cloreto total 51
8.3.3 Sódio total 52
8.3.4 Sulfato 53
8.3.5 Cálcio total 54
8.3.6 Magnésio total 55
8.3.7 Potássio total 56
8.3.8 Alumínio total 57
8.3.9 Coliformes termotolerantes 59
8.3.10 Ferro total 60
8.3.11 Manganês total 62
8.4 BALANÇO IÔNICO 63
8.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA 67

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL 75

9.1 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO 75
9.1.1 Aquífero 75
9.1.2 Aquitardo 76
9.1.3 Aquiclude 76
9.1.4 Aquifugo 76
9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 77
9.3 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS 79
9.4 FLUXO D'ÁGUA SUBTERRÂNEO 80
9.4.1 Condições de fluxo subterrâneo 80
9.4.2 Potenciometria 80

10 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES 83

11 BIBLIOGRAFIA 86

12 ANEXOS 88

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo na região do município de Linhares-ES. 9
Figura 4.1: Mapa hidrográfico da região de estudo (Linhares-ES). 11
Figura 5.1: Mapa geológico da região de estudo (Linhares-ES). 14
Figura 6.1: Localização dos poços e lagoas cadastrados na região de Linhares (SIRGAS2000) 24
Figura 7.1: Localização dos poços amostrados na região de Linhares. 29
Figura 8.1: Condutividade elétrica das amostras de água subterrânea analisadas. 40
Figura 8.2: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE)a partir da campanha hidroquímica de Ago/Set de 2016. 42
Figura 8.3: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE) a partir do cadastro de poços. 43
Figura 8.4: Eh das amostras de água subterrânea analisadas. 44
Figura 8.5: pH das amostras de água subterrânea analisadas. 45
Figura 8.6. Distribuição do Eh e pH das amostras de águas subterrâneas da região de Linhares. 46
Figura 8.7: Turbidez das amostras de água subterrânea analisadas. 47
Figura 8.8: Alcalinidade de bicarbonatos das amostras de água subterrânea analisadas. 48
Figura 8.9: Concentração de boro total nas amostras de água subterrânea analisadas. 49
Figura 8.10: Concentração de bário total nas amostras de água subterrânea analisadas. 51
Figura 8.11: Concentração de cloreto total nas amostras de água subterrânea analisadas. 52
Figura 8.12: Concentração de sódio total nas amostras de água subterrânea analisadas. 53
Figura 8.13: Concentração de sulfato total nas amostras de água subterrânea analisadas. 54
Figura 8.14: Concentração de cálcio total nas amostras de água subterrânea analisadas. 55
Figura 8.15: Concentração de magnésio total nas amostras de água subterrânea analisadas. 56
Figura 8.16: Concentração de potássio total nas amostras de água subterrânea analisadas. 57
Figura 8.17: Concentração de alumínio total nas amostras de água subterrânea analisadas. 58
Figura 8.18: Concentração de coliformes termotolerantes nas amostras de água subterrânea analisadas. 60
Figura 8.19: Concentração de ferro dissolvido nas amostras de água subterrânea analisadas. 61
Figura 8.20: Concentração de manganês total nas amostras de água subterrânea analisadas. 62
Figura 8.21: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas analisadas na campanha. 67
Figura 8.22: Diagramas de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 1 até 37. 70
Figura 8.23: Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 38 a 94. 71
Figura 8.24:Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 95 e SAAE. 72
Figura 8.25: Diagrama de Stiff para a amostra do Poço 27. 72
Figura 8.26: Mapa de distribuição dos Diagramas de Stiffem relação a Geologia 73
Figura 8.27: Diagrama de Schoeller para as águas subterrâneas analisadas na campanha. 74
Figura 9.1: Mapa hidrogeológico da região de estudo. Linhares-ES. 78
Figura 9.2: Mapa potenciométrico da região de Linhares. 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Poços cadastrados em campo (DATUM SIRGAS2000, FUSO 24). 17
Tabela 6.2: Lagoas cadastradas em campo (DATUM SIRGAS2000, FUSO 24) 22
Tabela 7.1: Relação dos pontos amostrados e características de rastreamento. 28
Tabela 8.1: Parâmetros contemplados nas análises e limites de usos preponderantes de águas subterrâneas de acordo com a norma 396/2008, CONAMA. 31
Tabela 8.2: Resultados analíticos para as amostras dos poços 1, 3, 4, 5 e 6. 32
Tabela 8.3: Resultados analíticos para as amostras dos poços 12, 13, 14, 15 e 17. 33
Tabela 8.4: Resultados analíticos para as amostras dos poços 27, 29, 31, 34 e 36. 34

Tabela 8.5: Resultados analíticos para as amostras dos poços 37, 38 , 42, 46 e 55. 35
Tabela 8.6: Resultados analíticos para as amostras dos poços 60, 64, 72, 77 e 78. 36
Tabela 8.7: Resultados analíticos para as amostras dos poços 81, 82, 83, 91 e 94. 37
Tabela 8.8: Resultados analíticos para as amostras dos poços 95 e SAAE. 38
Tabela 8.9: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Custodio e Llamas (1976). 64
Tabela 8.10: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Logan (1965)..... 64
Tabela 8.11: Resultados do balanço iônico das amostras de água subterrânea e o erro associado. 65
Tabela 8.12: Classificação de Piper para as águas subterrâneas analisadas na campanha..... 68

LISTA DE FOTOS

Foto 6.1: Etapa de campo. Cadastramento dos poços e coleta de amostras para análise..... 20
Foto 6.2: Etapa de campo. Cadastramento e amostragem das águas das lagoas da região. 23
Foto 7.1: Coleta das amostras do poços com o equipamento de baixa vazão..... 26

ANEXOS

ANEXO I - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
ANEXO II - ARQUIVO FOTOGRÁFICO
ANEXO III – LAUDOS LABORATORIAIS
ANEXO IV – CADASTRO DOS POÇOS DO ESTADO ESPÍRITO SANTO (CPRM, SIAGAS)

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório é parte integrante do contrato firmado entre a Fundação Renova e a MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente, e corresponde ao desenvolvimento de estudos hidrogeológicos na região de Linhares/ES e no distrito de Regência.

O trabalho realizado pela MDGEO consiste basicamente em conhecer o comportamento da água subterrânea na área de estudo localizada no entorno do Rio Doce, nas proximidades do município de Linhares. Para caracterizar com precisão o comportamento do Sistema Aquífero da região foram executadas as atividades de Inventário de Pontos de Água e Coleta Hidroquímica.

O inventário possibilitou determinar previamente o comportamento da água subterrânea através da elaboração do mapa potenciométrico, já a coleta hidroquímica, realizada posteriormente a etapa de cadastramento, foi utilizada para verificar e caracterizar com maior precisão a interação entre as águas do Rio Doce e os poços de abastecimento da população na área de estudo.

Essas informações foram fundamentais para determinar os sentidos e as direções de fluxo subterrâneo ao redor do Rio Doce (Linhares/ES) até seu desemboque no mar (Regência/ES.

2 OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo principal a elaboração do mapa potenciométrico no entorno do Rio Doce, abrangendo o município de Linhares - ES e distrito de Regência. Também fez parte da execução desta atividade a interpretação hidroquímica para 33 poços de abastecimento, com objetivo de caracterizar possíveis regiões de influência da lama de rejeito proveniente da Barragem de Fundão, que foi transportada pela calha do Rio Doce. Para tanto, a MDGEO realizou as seguintes etapas:

1. Checagem de campo e cadastramento dos pontos de água nas áreas pré-definidas;
2. Compilação e análise dos dados obtidos no cadastramento poços e lagoas;
3. Predefinição da rede de poços e lagoas (abastecimento para consumo humano, irrigação e outros) onde, possivelmente, aflora o nível d'água da região;
4. Elaboração do mapa potenciométrico da região de estudo;
5. Interpretação, no curto prazo, da direção do fluxo d'água subterrânea nas adjacências do Rio Doce, na região do município de Linhares/ES;
6. Definição dos principais pontos (poços) de amostragem da água subterrânea;
7. Acompanhamento/realização da amostragem subterrânea com o método de baixa vazão;
8. Interpretação dos dados de hidroquímica;
9. Elaboração do relatório final.

3 LOCALIZAÇÃO

O município de Linhares está localizado no norte do estado do Espírito Santo. O trajeto, saindo da capital Vitória, se dá pela rodovia federal BR-101 norte, percorrendo um total de 135 km, até a cidade de Linhares.

Para acessar a área de estudo definida neste trabalho foram utilizadas as rodovias ES-248, ES-245 e ES-440 e estradas vicinais não pavimentadas (Figura 3.1).

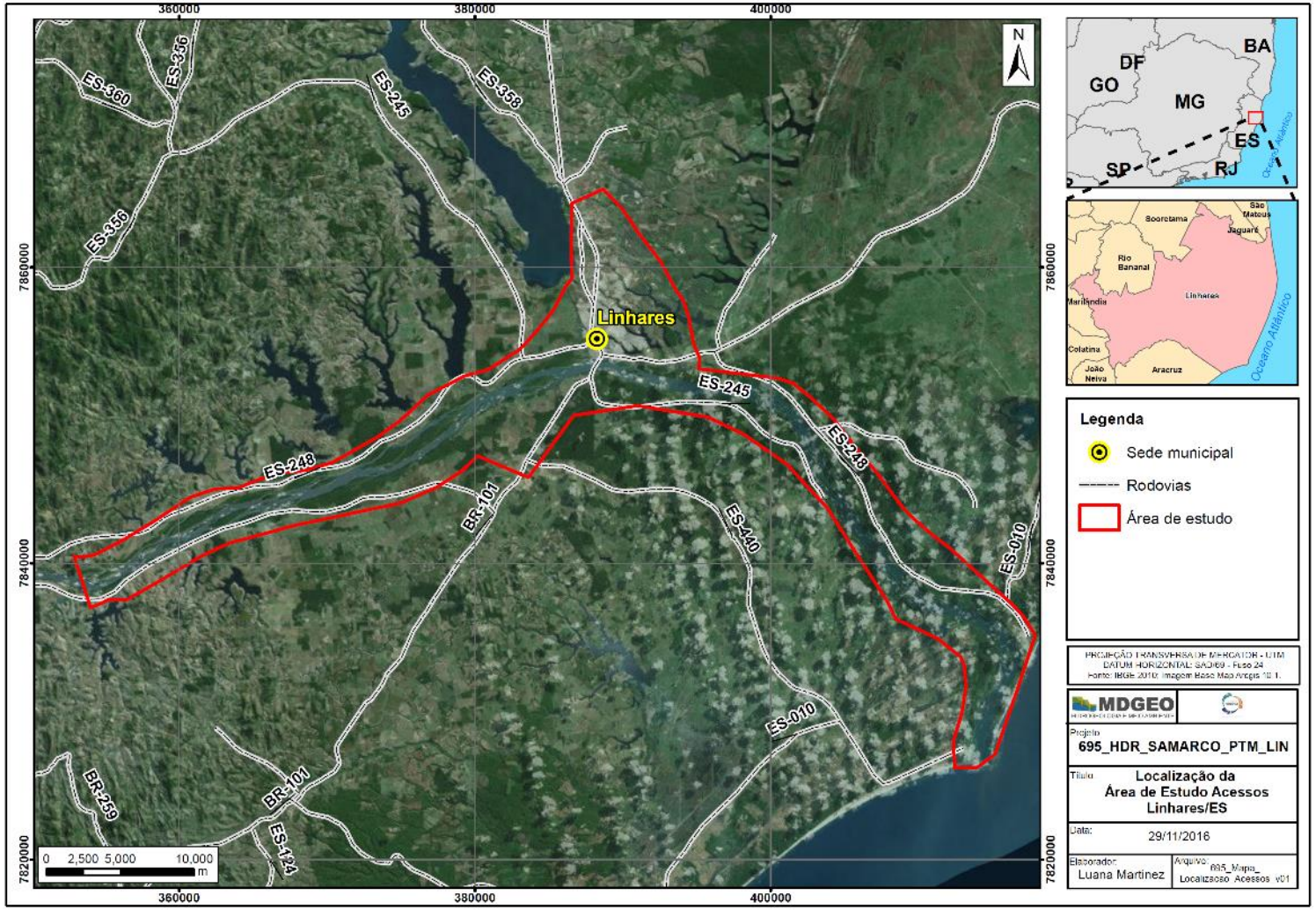


Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo na região do município de Linhares-ES.

4 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A seguir serão apresentadas informações referentes à fisiografia e geologia da região de Linhares - ES. Os dados foram retirados de trabalhos produzidos pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espirito Santo (IEMA, 2004), Instituto Capixaba de Pesquisa e Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2011), pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2010) e pela empresa Tintori LTDA (TINTORI, 2010).

4.1 CLIMA E PLUVIOMETRIA

O clima na região de Linhares, segundo a classificação de Koppen-Geiger, corresponde ao tipo tropical quente e úmido, caracterizado por apresentar verões chuvosos e inversos secos. A temperatura média anual é de 23,3°C, variando entre 14,8 e 34,2 °C (média das mínimas e máximas, respectivamente).

A precipitação pluviométrica média anual é de aproximadamente 1200 mm, caracterizada por uma forte variação entre anos. Em geral, as chuvas se concentram no período de outubro a março, e consequentemente, entre os meses de abril a setembro são considerados os períodos mais secos.

A umidade relativa média do ar é de 84%, com variações mínimas ao longo do ano. A evaporação varia do valor mínimo de 70 mm em junho a um valor máximo de 110 mm no mês de janeiro.

4.2 HIDROGRAFIA

A região deste estudo encontra-se na Bacia Sedimentar do Espírito Santo, no sistema de drenagem do Rio Doce, em seu baixo curso, próximo a foz.

Na área estudada é possível observar cursos ou drenagens perenes que convergem o fluxo d'água em direção ao Rio Doce ou diretamente para o oceano Atlântico. Nota-se também a presença de lagoas naturais (Juparanã, Lagoa do Meio, Lagoa Nova, dentre outras) (Figura 4.1).

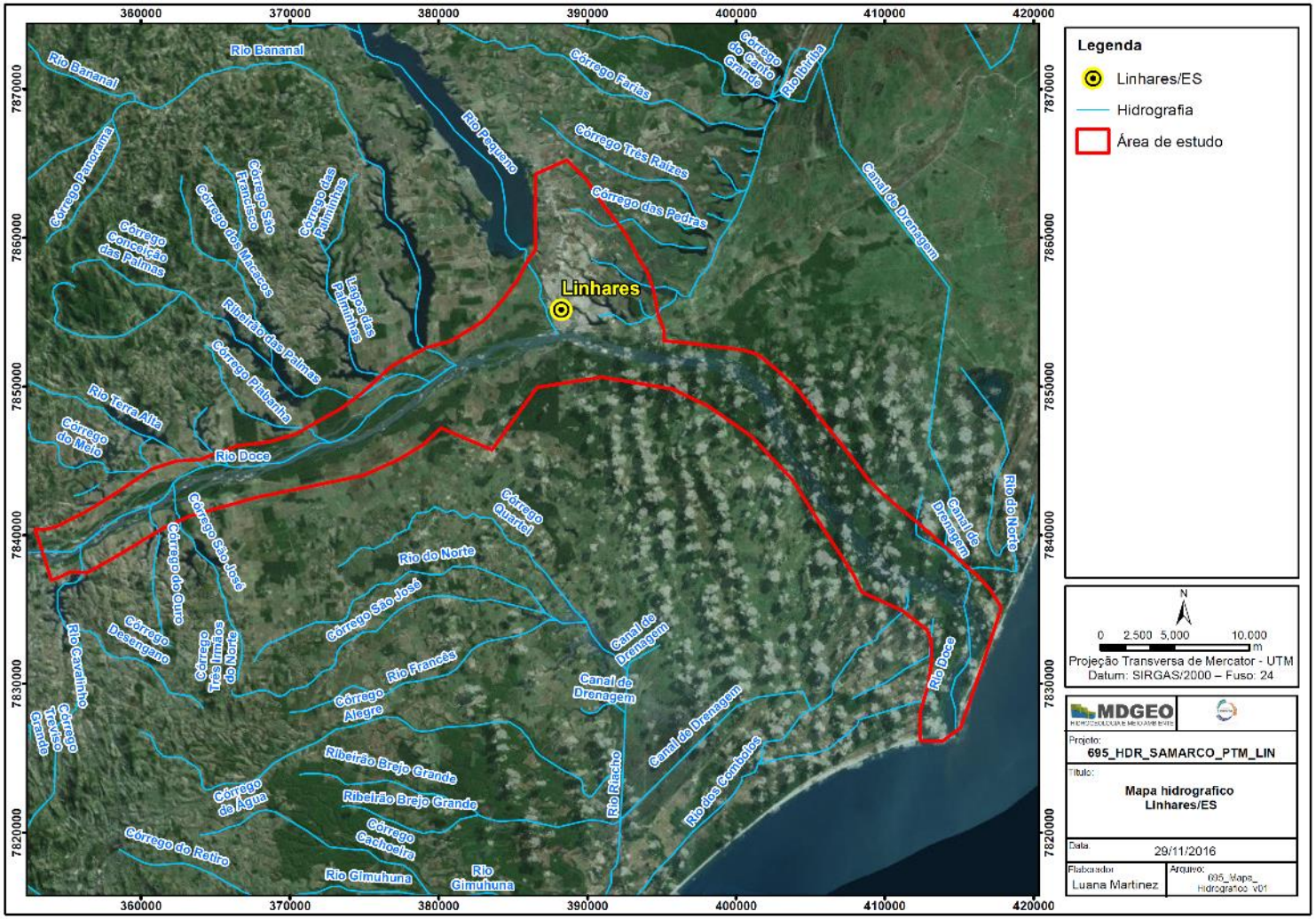


Figura 4.1: Mapa hidrográfico da região de estudo (Linhares-ES).

4.3 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia regional é marcada predominantemente pelos tabuleiros de sedimentos terciários da Formação Barreiras (baixo relevo), delimitados a oeste pelas colinas do Embasamento Cristalino (alto relevo). A área de estudo apresenta cotas topográficas que variam de 0 a 120 metros.

Em geral, a condição topográfica dos platôs predominantes corresponde, litologicamente, às camadas arenosas e areno-argilosas, moldadas por superfícies topográficas relativamente planas, dissecadas por um sistema de drenagem com leitos alinhados em direção à costa e drenagens secundárias subparalelas. Constituem relevos dissecados de topos aplainados com presença de vales correspondentes, em tamanhos proporcionais, às drenagens de canais largos que entrecortam os tabuleiros em direção ao mar.

A rede de drenagem implantada nos tabuleiros não segue um padrão definido, o que mostra que não há feições estruturais controlando a drenagem, que, geralmente, apresenta fundo chato com sedimentos quaternários.

5 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo Silva (SILVA et al, 1987), na região norte do Espírito Santo afloram rochas com idades distintas, abrangendo desde o Proterozóico, representado por metamorfitos de alto grau até sedimentos quaternários holocênicos de ambiência continental e marinha.

As unidades litológicas descritas por Silva (SILVA et al, 1987) no mapeamento da folha SE.24 Rio Doce, e aflorantes na região de Linhares, estão apresentadas na Figura 5.1 e sintetizadas a seguir.

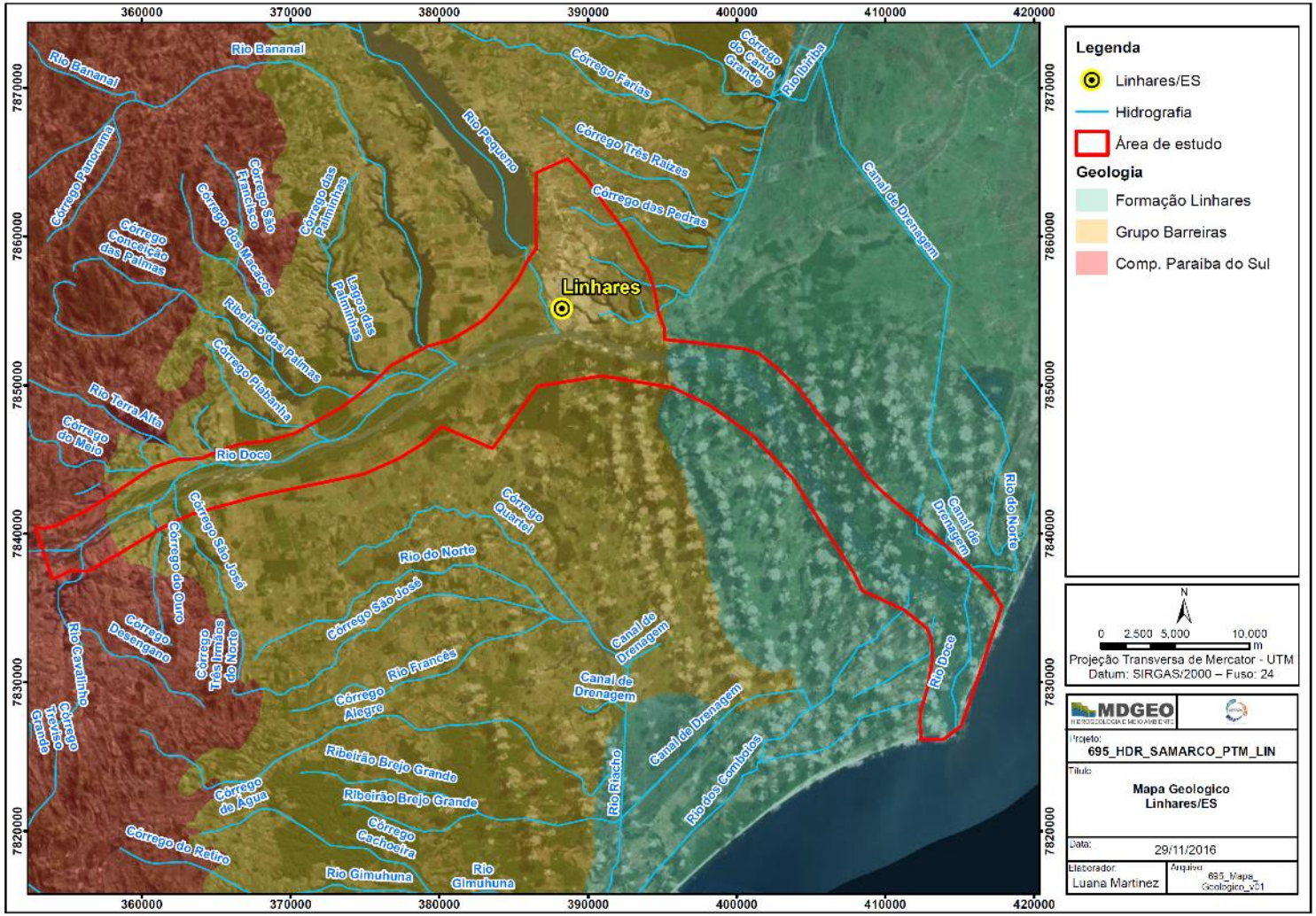


Figura 5.1: Mapa geológico da região de estudo (Linhares-ES).

5.1 COMPLEXO PARAÍBA DO SUL

É uma unidade de origem sedimentar, correspondente ao embasamento. Compreende principalmente sedimentos pelíticos transformados para biotita e/ou hornblenda granada gnaisses e metatexitos de composição kinzigítica, com granulação variando de fina a média. Subordinadamente, ocorrem rochas calcissilicáticas, anfibolitos e mármores.

Os biotita granada gnaisses do Complexo Paraíba do Sul constituem as rochas mais antigas encontradas. São gnaisses paraderivados, cujos sedimentos devem ter se depositado no Proterozóico Inferior. Interpreta-se que um importante evento tectônico compressional relacionado ao Ciclo Transamazônico, de 2.2 M.a., seja o responsável pela tectogênese dessas rochas de ocorrência contínua desde as margens do Rio Doce à Nova Venécia.

5.2 GRUPO BARREIRAS

Corresponde à unidade litológica predominante na área de estudo. Constitui-se por sedimentos argilo-siltosos de tonalidade variada, conglomerados polimíticos de matriz psamítica, arenitos imaturos de cores variadas e pelitos subordinados. É interpretado como resultante de deposição em leques aluviais.

5.3 FORMAÇÃO LINHARES (DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS)

Estes depósitos são bem individualizáveis na faixa costeira, enquanto que para o interior, ocorrem apenas ao longo da calha do Rio Doce. É dividida em depósitos quaternários marinhos e continentais. Os depósitos marinhos são divididos em terraços arenosos pleistocênicos e holocênicos e pântanos e mangues holocênicos. Os depósitos continentais são divididos em holoceno fluviolagunar e aluvionar.

6 CADASTRO DE PONTOS D'ÁGUA

Entre os dias 13 de junho e 06 de julho de 2016, foi realizada a etapa de cadastramento de poços e eventuais pontos d'água pelo geólogo Eduardo Araújo Fontana e pelo auxiliar de campo Ramon Aranda, ambos da MDGEO, por vezes acompanhados pelo Marcus Fillipe de Andrade, da FUNDAÇÃO RENOVA, e Michelle e Graziela da Matizes Comunicação LTDA.

Para esta etapa de campo utilizou-se os seguintes equipamentos:

a) Instrumento portátil da marca HACH, para medição *in situ* dos parâmetros físico-químicos, composto por eletrodos intercambiáveis, os quais foram calibrados em campo semanalmente com soluções padrão conforme especificado abaixo:

   - Eletrodo de pH – solução tampão pH 4,0 +/- 0,02 e pH7,0 +/- 0,02, calibração;
   - Eletrodo de condutividade elétrica – solução de 1.412/1.413 mS, calibração;
   - Eletrodo de potencial redox (Eh) – solução de 229 mV, verificação.

b) GPS da marca GARMIM modelo C60x, utilizando o Datum WGS 84 como convenção;

c) Medidor elétrico de nível d'água subterrâneo, modelo HSNA-200 da marca Hidrosuprimentos, com alcance de 150 metros de profundidade;

d) Máquina fotográfica digital e cadernetas de campo padrão MDGEO.

Em campo, foi possível cadastrar 95 poços (Tabela 6.1), dentre eles: poços de abastecimento, poços de bombeamento (irrigação), cisternas e poços paralisados. Também foram cadastradas 34 lagoas (Tabela 6.2) na região de estudo, sendo estas abastecidas por águas subterrâneas e/ou pluviais. Em relação aos poços, é importante salientar que não foram identificadas informações relevantes como nível dinâmico, vazão, bomba utilizada e dentre outras características. Também não existe nenhum documento referente à perfuração e instalação dos poços cadastrados (perfil geológico e construtivo).

Em relação a alguns poços, não foi possível identificar a profundidade dos mesmos, pois os superficiários não souberam responder o cadastro e não permitiam a medição. Em alguns casos os proprietários da terra se recusava a preencher o questionário referente ao poço de sua residência. Além disso, muitos poços estavam lacrados e alguns com a bomba queimada, impossibilitando a obtenção dos parâmetros físico-químicos. Como apresentado nas colunas de profundidade e parâmetros físico-químicos da Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Poços cadastrados em campo (DATUM SIRGAS2000, FUSO 24).

PONTO	E	N	COTA (m)	PROF. (m)	PROF. N.A. (m)	COTA N.A (m)	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
							pH	Eh[1]	C.E.[2]	T. ÁGUA[3]	T. AR[3]
Poço 01	402098	7843766	10	-	4,03	5,97	6,87	64,8	412	22,8	22,6
Poço 02	413499	7827554	7	200	Jorrante	7	6,5	-29,6	1152	27,1	23,5
Poço 03	412763	7834193	9	7	1,9	7,1	5,85	-49,6	377	25,9	20,6
Poço 04	413464	7829230	5	4	1,21	3,79	-	-	-	-	-
Poço 05	410596	7836572	10	50	1	9	7,17	59,4	869	22,7	23
Poço 06	411905	7833849	11	-	2,9	8,1	5,48	53,4	290	26,4	24,2
Poço 07	403827	7830507	7	5	2,64	4,36	4,67	68,7	664	23,4	27,2
Poço 08	400529	7832707	9	-	4,76	4,24	4,34	16,8	377	27,7	26,3
Poço 09	401241	7835763	6	-	2,74	3,26	6,14	19,7	238	25,3	25,9
Poço 10	400177	7839008	10	8	3,71	6,29	5,96	179,8	518	23,3	21,6
Poço 11	397834	7844947	13	-	3,75	9,25	6	177,4	392	26,3	21
Poço 12	405771	7841610	7	-	2,77	4,23	-	-	-	-	-
Poço 13	401699	7848214	13	-	1,92	11,08	6,44	-59,3	618	24,9	22,4
Poço 14	398366	7849646	15	6	4,48	10,52	6,07	86	454	24,8	23,7
Poço 15	397275	7851088	18	10	4,11	13,89	6,76	105,7	262	24,5	23,2
Poço 16	392310	7850857	17	7	3,78	13,22	5,8	69	277	27,8	25,3
Poço 17	388187	7847929	21	9	3,62	17,38	5,87	64,7	251	27,1	26,5
Poço 18	387393	7845848	20	6	4,82	15,18	5,86	-25	272	26,9	23,3
Poço 19	391141	7844894	18	6	4,94	13,06	5,86	143	249	26,6	24
Poço 20	397969	7840234	15	-	3,28	11,72	6,6	158,8	283	21,9	23,4
Poço 21	404705	7839414	10	8	3,35	6,65	5,95	158,2	351	24,1	20,6
Poço 22	407374	7839238	10	3,1	2,96	7,04	6,64	-69,9	366	25,1	23,5
Poço 23	388996	7852712	19	6	3,93	15,07	6,6	114,7	429	21,2	22,4
Poço 24	386061	7850653	22	6	4,39	17,61	5,7	97,9	611	23,1	25,3
Poço 25	416661	7834795	15	6	4,33	10,67	-	-	-	-	-
Poço 26	416946	7833291	8	6	4,21	3,79	5,93	105,2	154,2	29,9	25,3
Poço 27	415247	7829256	2	-	1,4	0,6	6,56	26,4	13810	25,9	30
Poço 28	392927	7853387	27	8	4,56	22,44	6,17	151,8	307	27,1	25,4

Nota: Eh – Potencial de oxidação-redução (redox);
CE –Condutividade Hidráulica;
T. Água – Temperatura da água;
T. Ar – Temperatura do ar.

PONTO	E	N	COTA (m)	PROF. (m)	PROF. N.A. (m)	COTA N.A (m)	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
							pH	Eh[1]	C.E.[2]	T. ÁGUA[3]	T. AR[3]
Poço 29	392680	7854506	25	120	5,5	19,5	5,45	218,8	236	23,4	24,2
Poço 30	397026	7854399	13	8	3,7	9,3	5,76	273	196,8	26,3	25,2
Poço 31	401786	7857512	14	9	3,5	10,5	5,73	134,8	416	26,6	24,7
Poço 32	398663	7852523	20	6	3,57	16,43	6,1	1,6	352	26,8	27
Poço 33	398671	7852614	19	150	-		6,8	-88,3	333	26,4	25
Poço 34	400835	7851313	12	120	4,41	7,59	7,2	-1,3	348	27,3	25,6
Poço 35	402689	7849090	19	6	3,32	15,68	6	109,7	179,1	27,1	24,5
Poço 36	405816	7844027	16	60	3,08	12,92	7,4	106	528	25,6	28,1
Poço 37	408020	7840334	13	100	4,1	8,9	-	-	-	-	-
Poço 38	415426	7836129	5	4,8	3,32	1,68	6,38	117,8	213,7	26,2	25,1
Poço 39	418997	7837039	2	-	1,94	0,06	7,8	151	16816	23,3	22,8
Poço 40	416550	7836045	13	6	4	9	5,4	186,4	158,1	26,4	24
Poço 41	415912	7837273	10	5,5	3,14	6,86	6,1	34,4	312	23,8	22
Poço 42	412680	7839058	8	8	4,31	3,69	5,94	63,7	150,3	27	25,6
Poço 43	412257	7837496	11	6	3,31	7,69	5,98	26	136	26,4	24,5
Poço 44	404608	7846582	16	-	3,78	12,22	5,8	157	213,7	25	27,8
Poço 45	414050	7845522	14	-	3,51	10,49	6,4	-36,1	1209	25	25,6
Poço 46	411455	7846202	6	60	4,54	1,46	7,1	-114,9	1582	25,6	23,3
Poço 47	406560	7848249	15	6	4,05	10,95	6,04	185	143,9	25,5	27,3
Poço 48	406980	7850166	18	5	2,9	15,1	6,2	156,7	183,3	27,1	28,8
Poço 49	402203	7852814	20	6	3,22	16,78	6,57	158,1	162,8	26,2	25,7
Poço 50	396955	7853214	18	5,5	4,12	13,88	6,05	34,9	178,4	25,6	24,3
Poço 51	394386	7854087	28	6	4,41	23,59	5,7	192,8	150,8	26	27,3
Poço 52	395787	7854228	23	-	3,72	19,28	6,4	2,8	293	26,4	25
Poço 53	404232	7853257	25	6	3,01	21,99	5,8	174	178,7	26	24,2
Poço 54	352901	7838113	35	32	2,85	32,15	6,42	-34,1	266	24,5	23,7
Poço 55	367543	7843614	28	10	8,66	19,34	6,32	154,6	243	26,6	32,2
Poço 56	373926	7844377	29	9	6,97	22,03	-	-	-	-	-
Poço 57	375037	7845709	26	10	7,5	18,5	5,9	158,1	167	26,7	27,3
Poço 58	376722	7844960	30	12	6,34	23,66	4,3	310	133,6	26,2	27,8
Poço 59	377223	7845991	23	-	5,95	17,05	5,5	153	132,1	26,5	27,3
Poço 60	381469	7844408	28	80	9,8	18,2	4,3	243	115,1	25,3	26,2
Poço 61	377419	7846894	25	40	5,8	19,2	6,4	136,7	190,7	26,3	24,3
Poço 62	380149	7849943	23	11	6,98	16,02	6,3	171,8	138,2	26	25,5
Poço 63	378245	7848472	23	7	4,95	18,05	6,48	25,2	141,3	27	25,1
Poço 64	372018	7841980	53	100	20,41	32,59	4,4	276,7	116,5	24,6	25,2
Poço 65	368453	7839937	57	30	16,71	40,29	4,3	287,5	239	25,7	26,4
Poço 66	384805	7849104	23	10	4,2	18,8	6,33	-39,5	251	24,2	24,6
Poço 67	381722	7850692	21	9	5,6	15,4	6,3	12,1	317	25,1	23

Nota: Eh – Potencial de oxidação-redução (redox);
CE –Condutividade Hidráulica;
T. Água – Temperatura da água;
T. Ar – Temperatura do ar.

PONTO	E	N	COTA (m)	PROF. (m)	PROF. N.A. (m)	COTA N.A (m)	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
							pH	Eh[1]	C.E.[2]	T. ÁGUA[3]	T. AR[3]
Poço 68	382146	7849717	22	9	6	16	5,6	122,1	149,7	25,1	23,6
Poço 69	383137	7847204	23	12	4,86	18,14	5,9	163	348	26,2	24,4
Poço 70	380785	7844271	27	8,5	7,16	19,84	7,38	127,1	436	25,1	24,4
Poço 71	380698	7844312	29	22	10,18	18,82	-	-	-	-	-
Poço 72	375180	7841590	41	150	18,19	22,81	4,7	268,3	106	23,6	22,4
Poço 73	375996	7839271	44	100	18,43	25,57	4,64	266,8	111,8	24,5	24,1
Poço 74	372424	7843437	29	30	6,16	22,84	-	-	-	-	-
Poço 75	369644	7843507	27	-	7,4	19,6	6,3	101,3	138,5	26,4	23
Poço 76	388408	7853754	30	12	13,1	16,9	-	-	-	-	-
Poço 77	391049	7863821	26	12	9,95	16,05	6,12	180,7	119,3	22,9	22,1
Poço 78	389235	7855894	26	8,1	7,4	18,6	-	-	-	-	-
Poço 79	388571	7855591	35	-	11,23	23,77	-	-	-	-	-
Poço 80	388438	7855012	36	60	12,69	23,31	4,9	221,8	134,2	26,2	25,6
Poço 81	388258	7858148	35	60	15,65	19,35	4,65	279,2	104,8	26,7	24,5
Poço 82	387664	7856551	40	30	11,99	28,01	4,36	271,7	264	25,8	24,5
Poço 83	388689	7854059	30	-	8,02	21,98	5,01	252,9	123,7	26,5	25,7
Poço 84	387060	7857596	37	28	17	20					
Poço 85	354544	7841610	105	40	20,69	84,31	5,02	234,1	114,9	25,6	26,5
Poço 86	356839	7841067	38	-	7,36	30,64	6,6	71,9	262	25,8	23,8
Poço 87	363758	7845160	29	4	0	29	6,5	139,7	155,9	22,2	23,6
Poço 88	368951	7845983	35	10,5	6,16	28,84	6,42	50,4	228	26,8	25,6
Poço 89	359458	7843606	35	-	6,63	28,37	-	-	-	-	-
Poço 90	371069	7852884	65	84	23	42	-	-	-	-	-
Poço 91	373993	7849275	25	6	1,72	23,28	6,5	32,5	196,1	24,5	21,6
Poço 92	375655	7859294	65	80	15,35	49,65	6,28	824,1	310	26,5	26
Poço 93	366082	7846844	65	60	26,32	38,68	-	-	-	-	-
Poço 94	360465	7843947	35	-	10,56	24,44	6,74	210,2	279	27,5	26,5
Poço 95	386404	7854623	25	7	5,36	19,64	-	-	-	-	-

Unidades: [1] mV [2]µS/cm [3]ºC

O registro fotográfico para ilustrar o cadastramento dos poços da região é apresentado na prancha de Foto 6.1, a seguir.

Nota: Eh – Potencial de oxidação-redução (redox);
CE –Condutividade Hidráulica;
T. Água – Temperatura da água;
T. Ar – Temperatura do ar.

Poço Tubular Profundo lacrado
(Impossibilitando a leitura do N.A).

Poço Tubular Profundo (medindo o N.A).

Poço Ponteira
(Análise dos parâmetros físico-químicos).

Leitura do N.A em Cisterna.

Leitura do N.A (Marcus – Samarco).

Cadastro de poço (Equipe Matizes).

Foto 6.1: Etapa de campo. Cadastramento dos poços e coleta de amostras para análise.

A respeito das lagoas cadastradas na área de estudo, Tabela 6.2, muitas são naturais e outras foram escavadas, ambas são utilizadas para fins de exploração de água (irrigação). Nelas, foi possível observar que a variação do nível d'água, diminui ao

ligar as bombas de captação e recupera quando estás são desligadas, evidenciando que a água é de origem subterrânea.

Tabela 6.2: Lagoas cadastradas em campo (DATUM SIRGAS2000, FUSO 24)

PONTO	PONTO DE ACESSO		DESCRIÇÃO	COTA N.A (m)	PARÂMETROS FISÍCO-QUÍMICOS				
	E	N			pH	Eh[1]	C.E.[2]	T. ÁGUA[3]	T. AR[3]
Lagoa 01	402633	7843802	Lagoa escavada	7	-	-	-	-	-
Lagoa 02	402310	7843760	Lagoa escavada	8	-	-	-	-	-
Lagoa 03	407847	7826144	Rio Doce	8	7,53	120,7	251	22,1	22,3
Lagoa 04	414227	7835549	Lagoa natural	5	7,33	106,4	347	20	21,9
Lagoa 05	414189	7831145	Lagoa natural	3	-	-	-	-	-
Lagoa 06	413168	7831480	Lagoa natural	7	-	-	-	-	-
Lagoa 07	412833	7833879	Lagoa escavada	8	7,27	92,9	255	22	23,3
Lagoa 08	394087	7850284	Lagoa natural	17	8,34	76,7	426	23,9	29,2
Lagoa 09	383233	7846278	Lagoa escavada /Captação SAAE	20	-	-	-	-	-
Lagoa 10	399883	7855799	Lagoa escavada	13	5,6	173,1	239	26	24,5
Lagoa 11	415655	7838463	Lagoa escavada	8	8,6	14,1	166,6	24,3	24,7
Lagoa 12	409892	7843501	Lagoa escavada	5	6,4	-120,4	598	23,7	23,9
Lagoa 13	417153	7840212	Lagoa escavada	4	7,3	142,7	239	23,5	27
Lagoa 14	389938	7854488	Lagoa escavada	15	7,6	97,4	748	24,8	24
Lagoa 15	357054	7839288	Lagoa escavada	34	8,99	47,5	188,7	24,5	26,5
Lagoa 16	359134	7839303	lagoa do Amarelo / natural	42	6,77	126,4	171	26,5	27,1
Lagoa 17	365340	7837775	Lagoa escavada	29	7,1	97,1	228	25,6	23
Lagoa 18	380345	7846549	Lagoa escavada	16	5,3	214,6	287	25,8	27,8
Lagoa 19	379674	7846279	Lagoa escavada	15	5,5	166,7	253	26	25,8
Lagoa 20	378629	7845819	Lagoa escavada	16	4,88	232	213,2	25,1	25,9
Lagoa 21	386020	7859691	Lagoa Juparanã / natural	16	8,23	115,5	148,9	25,4	24,4
Lagoa 22	389455	7859638	Lagoa natural	24	-	-	-	-	-
Lagoa 23	388944	7857175	lagoa do Meio / natural	20	-	-	-	-	-
Lagoa 24	361098	7846062	Lagoa escavada	27	7,3	109,6	152,2	24,5	23,4
Lagoa 25	364326	7845710	Lagoa natural	30	7	193,5	122,9	24,7	22,9
Lagoa 26	369103	7850369	Lagoa natural	37	6,9	94,9	127,9	26,3	25,7
Lagoa 27	375350	7850251	Lagoa natural	20	7,46	88,7	150,9	26	25,3
Lagoa 28	377561	7850623	Ribeirão Palmas	25	7,8	79,2	284	23	22,8
Lagoa 29	378654	7852563	Lagoa Nova / natural	20	8,28	312,7	138,1	27,3	27,9
Lagoa 30	383729	7855210	Lagoa escavada	23	6,6	366,5	115,9	26	25,5
Lagoa 31	371746	7846485	Rio Doce	24	-	-	-	-	-
Lagoa 32	375900	7848690	Rio Doce	23	7,68	284,3	113,9	25,5	24,6
Lagoa 33	369673	7847035	Lagoa Piabanha / natural	34	6,7	239,7	133,2	24,8	22,9
Lagoa 34	358201	7845780	Lagoa natural	37	7,4	188,1	99	25,8	28,3

Unidades: [1] mV [2]µS/cm [3]°C
Cota do N.A. = cota do nível de água em relação ao nível do mar.

O registro fotográfico das principais lagoas cadastradas pode ser observado na ficha de Foto 6.2, já a localização espacial de todos os pontos cadastrados pode ser visualizada na página adiante, na Figura 6.1. Nota-se que apesar de alguns poços estarem fora do limite da área de cadastro, este foram fundamentais para o levantamento de valores de referência sem qualquer influência do Rio Doce

Nota: Eh – Potencial de oxidação-redução (redox);
CE –Condutividade Hidráulica;
T. Água – Temperatura da água;
T. Ar – Temperatura do ar.

Lagoa de surgência natural.

Lagoa escavada para exploração d'água.

Lagoa escavada para exploração d'água.

Lagoa Juparanã (16 km x 3 km).

Lagoa Nova.

Lagoa escavada para exploração d'água.

Foto 6.2: Etapa de campo. Cadastramento e amostragem das águas das lagoas da região.

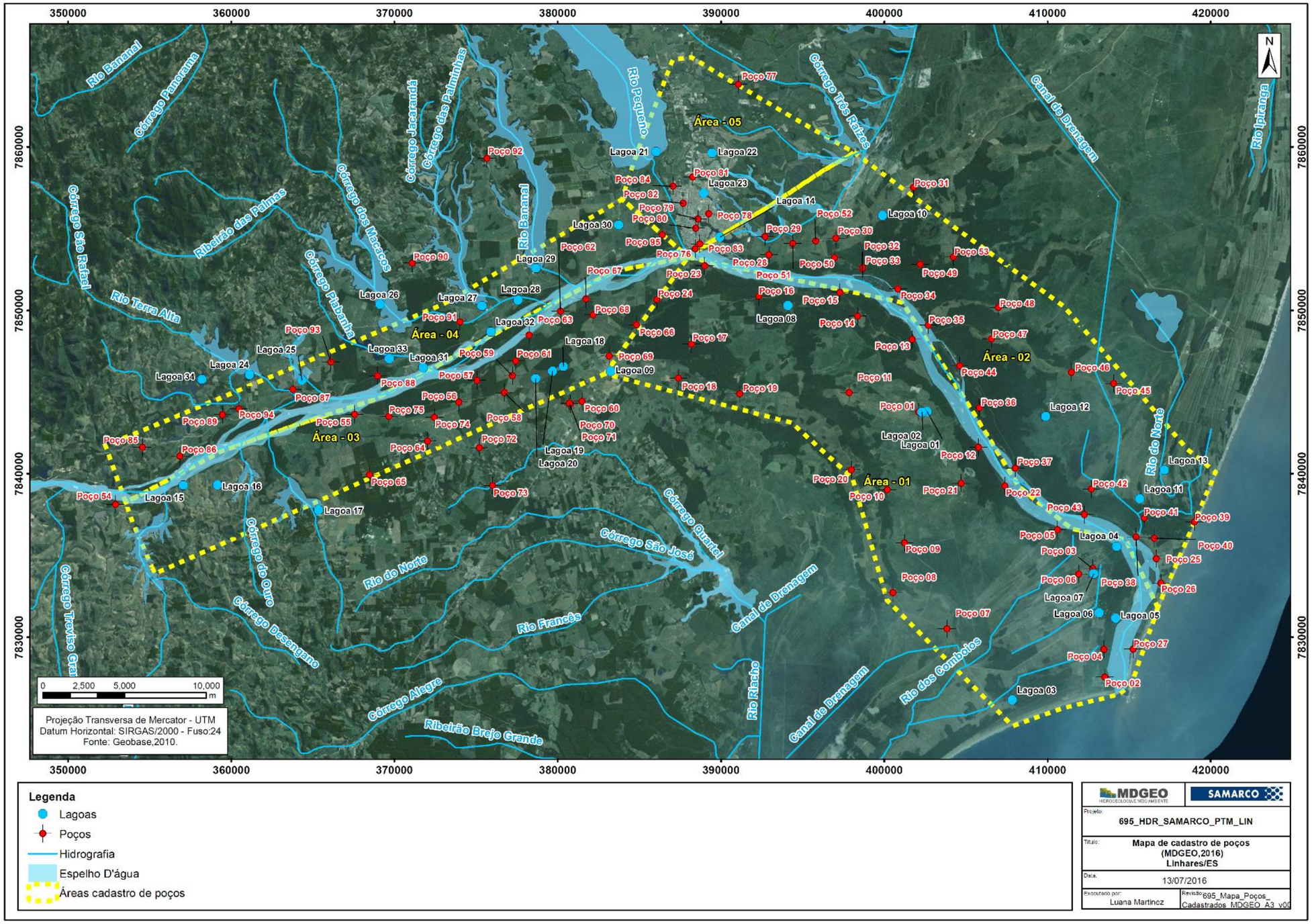


Figura 6.1: Localização dos poços e lagoas cadastrados na região de Linhares (SIRGAS2000)

7 AMOSTRAGEM HIDROQUÍMICA

Para definir quais dos 95 poços de água subterrânea cadastrados deveriam ser amostrados, foi estudado o mapa potenciométrico preliminar (9.4.2) da área e a partir deste, foram definidas as áreas onde o rebaixamento do nível de água, ocasionado pelo bombeamento dos poços, atingia ou estava a jusante do leito do Rio Doce. Além disso, foram definidos pontos de amostragem onde o rebaixamento ocasionado pelos poços não teria nenhuma conexão com a água proveniente do Rio Doce, como é o caso dos poços fora da área cadastrada e discutidos acima.

Portanto, foram selecionados 34 dos 95 poços cadastrados para a coleta hidroquímica executada pelo técnico do laboratório TOMMASI, Carlos Augusto, e acompanhada pela equipe técnica da MDGEO, Eduardo Fontana (geólogo) e Luiz Felipe Hoffman (técnico/amostrador) entre os dias 29 de agosto e 22 de setembro de 2016, quando também foram tomados os parâmetros físico-químicos em campo: temperatura do ar (à sombra) e da água, condutividade elétrica (μS/cm), potencial redox (Eh) em mV, potencial hidrogeniônico (pH), turbidez e oxigênio dissolvido (OD).

7.1 MÉTODOS E PARÂMETROS

A coleta e preservação das amostras foram realizadas com uso de técnicas adequadas, sem as quais os resultados podem não refletir as condições do momento em que a coleta foi realizada. As amostragens foram realizadas com o equipamento de bombeamento *low flow* (baixa vazão) nos poços de abastecimento não equipados. Para a amostragem nos poços de abastecimento equipados com bombas, devido a limitação do diâmetro de descida para a bomba de baixa vazão, a coleta foi realizada pela própria bomba do poço. A seguir será apresentada uma prancha de fotos (Foto 7.1) do momento da coleta de água subterrânea com o equipamento de baixa vazão.

Foto 7.1: Coleta das amostras do poços com o equipamento de baixa vazão.

Em todas as amostras foram analisados os principais íons a serem contemplados no balanço iônico, como descrito a seguir:

- 35 análises físico-químicas incluindo uma duplicata (a serem realizadas pelo laboratório contratado pela Fundação Renova) com os seguintes parâmetros:

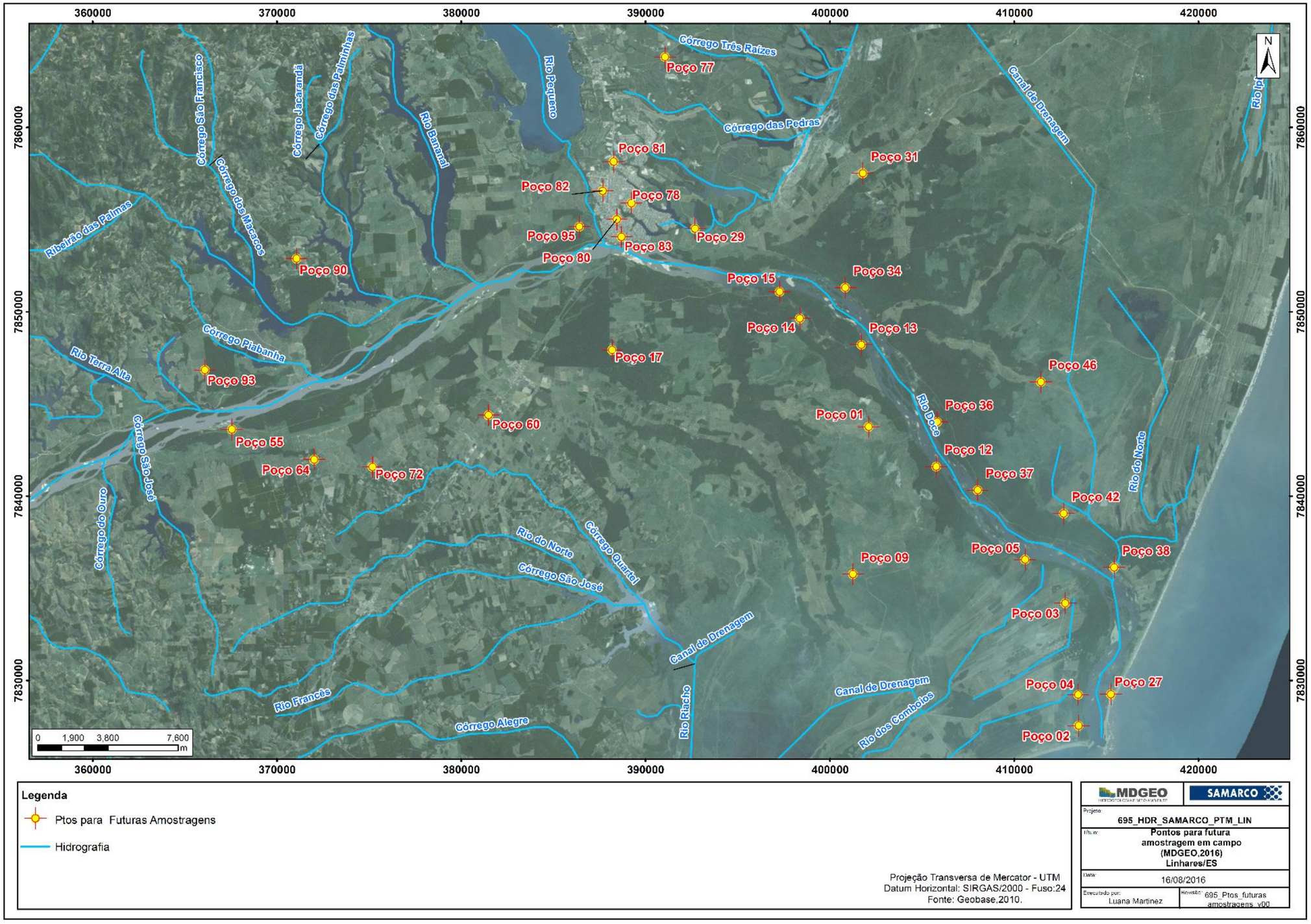
- Principais cátions – cálcio, magnésio, sódio e potássio.
- Principais ânions - Cloreto, Sulfato, nitrato, nitrito, fósforo, carbonato, bicarbonato, fluoreto e sulfeto.
- Metais totais - ferro, manganês.
- Metais dissolvidos – alumino, arsênio, bário, boro, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, mercúrio, níquel, prata, silício e zinco.
- Demais parâmetros: turbidez, condutividade elétrica, pH, Eh, Oxigênio dissolvido, temperatura, alcalinidade total, alcalinidade de carbonatos (se pH>8,3), alcalinidade de hidróxidos (se pH >9) e bicarbonatos.

Em campo, foram realizadas 35 amostragens de água subterrânea em poços de captação de água, sendo 1 amostra coletada em duplicata para teste dos resultados do laboratório. A Tabela 7.1 e a Figura 7.1, apresentam respectivamente a relação dos pontos amostrados e suas características de rastreamento e a localização dos mesmos na área de estudo.

Tabela 7.1: Relação dos pontos amostrados e características de rastreamento.

PONTOS	NÚMERO DO LAUDO	OBSERVAÇÃO	LOCAL DE COLETA	DATUM SIRGAS 2000 FUSO 24		COTA TERRENO (m)	N.A (m)	TIPO DE PONTO	USO	PROPRIETÁRIO	NÚMERO AMOSTRA	NOME LABORATÓRIO
				E	N							
Poço 01	002-64183-75	Mpo-018	Areal bebedouro	402098	7843766	10	4.03	Poço Tubular	Doméstico	Darly Moura	368308	Poço 30
Poço 02	002-64169-38	Mpo-024	Regência	413499	7827554	7	Jorrante	Poço Tubular	Abastecimento Público	SAAE	368305	Poço 27
Poço 03	002-64169-39	Mpo-022	Areal	412763	7834193	9	1.9	Poço Ponteira	Doméstico/Animal	Dona Conceição	368307	Poço 29
Poço 04	002-64182-81	Mpo-023	Entre Rios	413464	7829230	5	1.21	Poço Ponteira	Doméstico/Animal	João Antônio	368288	Poço 10
Poço 05	002-64183-63	Mpo-021	Frigorifico	410596	7836572	10	1	Poço Tubular	Doméstico	Valmir (Frigorífico)	368296	Poço 18
Poço 09	002-64183-64	Mpo-020	Fazenda Atlântica	401241	7835763	6	2.74	Poço Ponteira	Doméstico/Animal	Paulo Merlina	368291	Poço 13
Poço 12	002-64183-76	Mpo-019	Regência Rio Doce	405771	7841610	7	2.77	Poço Ponteira	Não usado	-	368306	Poço 28
Poço 13	002-64177-45	Mpo-017	Maria Bonita	401699	7848214	13	1.92	Poço Ponteira	Doméstico/Animal	José Roberto	368284	-
Poço 14	002-64170-92	Mpo-016	Sítio Santo Antônio	398366	7849646	15	4.48	Poço Ponteira	Doméstico/Animal	Jaílton	368292	Poço 14
Poço 15	002-64166-1	Mpo-015	Estrela do Sul	397275	7851088	18	4.11	Poço Ponteira	Doméstico/Animal	Luiz Ares	368297	Poço 19
Poço 17	002-64174-44	Mpo-014	Fazenda Jataipeba	388187	7847929	21	3.62	Poço Ponteira	Doméstico/Animal/Irrigação	Cleber Luiz	368309	Poço 31
Poço 23*	002-64177-44	Mpo-011	Fazenda Dulcelândia	388996	7852712	19	3.93	Poço Ponteira	Doméstico	-	368289	Poço 11
Poço 27	002-64161-71	Mpo-033	Pontalzinho	415247	7829256	2	1.4	Poço Ponteira	Não usado	José Carlos	368300	Poço 22
Poço 29	002-64176-43	Mpo-025	Condomínio	392680	7854506	25	5.5	Poço Tubular	Industrial	SAAE	368312	Poço 34
Poço 31	002-64163-44	Mpo-026	Fazenda São Jorge	401786	7857512	14	3.5	Poço Ponteira	Irrigação	Veronica Corona	368299	Poço 21
Poço 34	002-64162-17	Mpo-027	Fazenda Samará	400835	7851313	12	4.41	Poço Tubular	Doméstico	Raimundo Coelho	368283	Poço 05
Poço 36	002-64162-18	Mpo-028	Fazenda Pirajá	405816	7844027	16	3.08	Poço Tubular	Doméstico	Jairo	368294	Poço 16
Poço 38	002-64161-69	Mpo-032	Fazenda Império	415426	7836129	5	3.32	Poço Ponteira	Doméstico	Clevelan	368295	Poço 17
Poço 42	002-64176-44	Mpo-031	Povoação	412680	7839058	8	4.31	Poço Ponteira	Doméstico/Animal	Edmilso Correa	368310	Poço 32
Poço 80*	002-64176-45-S	Mpo-030	Sítio São Pedro / Linhares	388438	7855012	36	Tubular	Poço Tubular	Outros (lava jato)	-	368298	Poço 20
Poço 46	002-64163-43	Mpo-029	Fazenda Cananéia	411455	7846202	6	4.54	Poço Tubular	Animal	Eldir Secato	368282	Poço 04
Poço 55	002-64175-47	Mpo-001	Fazenda Piraquê	367543	7843614	28	8.66	Poço Escavado	Doméstico	Raimundo Xavier	368311	Poço 33
Poço 60	002-64166-2	Mpo-006	Haras VS	381469	7844408	28	9.8	Poço Tubular	Doméstico/Animal	Haras VS	368278	Poço 01
Poço 64	002-64175-46	Mpo-003	Chapadão do Piraquê	372018	7841980	53	20.41	Poço Tubular	Irrigação/Doméstico	Ponciano	368293	Poço 15
Poço 64 D	002-64175-45	Mpo-003	Chapadão do Piraquê 200	372018	7841980	53	20.41	Poço Tubular	Irrigação/Doméstico	Ponciano	368314	Poço 15
Poço 72	002-64174-45	Mpo-005	Fazenda Colorado	375180	7841590	41	18.19	Poço Tubular	Irrigação/Doméstico	Fábio Gama	368304	Poço 26
Poço 77	002-64169-16	Mpo-008	Fazenda Santa Helena	391049	7863821	26	9.95	Poço Ponteira	Doméstico	-	368281	-
Poço 78	002-64170-88	Mpo-013	Interlagos	389235	7855894	26	7.4	Poço Ponteira	Doméstico	-	368302	Poço 24
Poço 81	002-64177-105	Mpo-009	Palmital - BR 101	388258	7858148	35	15.65	Poço Tubular	Doméstico	-	368290	Poço 12
Poço 82	002-64170-87	Mpo-010	Bairro Conceição	387664	7856551	40	11.99	Poço Tubular	Outros (lava jato)	-	368301	Poço 23
Poço 83	002-64169-15	Mpo-012	Aviso	388689	7854059	30	8.02	Poço Ponteira	Outros (lava jato)	-	368280	-
Poço 91*	002-64167-44	Mpo-002	Fazenda Las Palmas	373993	7849275	20	1.72	Poço Ponteira	Irrigação	Fabricio	368285	Poço 7
Poço 94*	002-64167-43	Mpo-004	Fazenda Bom Retiro	360465	7843947	40	10.56	Poço Ponteira	Doméstico	-	368286	Poço 8
Poço 95	002-64170-147	Mpo-007	Saída p/ Colatina	386404	7854623	25	5.36	Poço Ponteira	Irrigação/Doméstico/Animal	-	368303	Poço 25
Poço A	002-64181-1	Mpo-034	Regência SAAE	413505	7827497	17	-	Poço Tubular	ETA	SAAE	368287	Poço 09

*Poços usados para substituir os poços 37, 44, 93 e 90, respectivamente.



Legenda

- Ptos para Futuras Amostragens
- Hidrografia

Projeção Transversa de Mercator - UTM
Datum Horizontal: SIRGAS/2000 - Fuso:24
Fonte: Geobase,2010.

MDGEO | SAMARCO

Projeto: 695_HDR_SAMARCO_PTM_LIN

Título: Pontos para futura amostragem em campo (MDGEO,2016) Linhares/ES

Data: 16/08/2016

Elaborado por: Luana Martinez

Nome: 695_Ptos_futuras amostragens_v00

Figura 7.1: Localização dos poços amostrados na região de Linhares.

8 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA

Para a caracterização das águas subterrâneas da região de Linhares levou-se em conta as análises químicas de 34 amostras colhidas em pontos distintos, sendo todos de caráter subterrâneo, retiradas de poços tubulares, escavados ou “ponteira”, alocados em aquíferos granulares do Grupo Barreiras e da Formação Linhares, cujas profundidades não ultrapassam 200 m.

As análises químicas contemplaram uma gama de elementos de interesse envolvendo os principais cátions, ânions, metais dissolvidos, totais e demais parâmetros físico-químicos (turbidez, condutividade elétrica, pH, eH, oxigênio dissolvido, temperatura, alcalinidade total, alcalinidade de carbonatos).

O relatório se baseou nas legislações dispostas pelo CONAMA, número 396, de três de abril de 2008 (Tabela 8.1), a fim de delimitar a qualidade das águas subterrâneas em classes para consumo humano, irrigação, dessedentação de animais ou recreação, de modo que a prevenção e controle estejam diretamente relacionados aos usos e classes de qualidade de água exigidas para um determinado corpo hídrico subterrâneo.

> *Resolução CONAMA Nº 396, de 3 de abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.*

Para o pré-tratamento dos dados e posterior análise hidroquímica e estatística foram adotados para os parâmetros que se apresentaram abaixo de seu limite de quantificação a metade do valor considerado pelo método; prática comumente aplicada neste tipo de avaliação (SCOPEL, TEIXEIRA, & BINOTTO, 2005). Assim, gráficos e cálculos não serão distorcidos quando utilizados estes valores exatos.

8.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os resultados da campanha hidroquímica de ago/set-2016 referentes aos 34 poços descritos na Tabela 7.1 acima serão explicitados logo abaixo (Tabela 8.2, Tabela 8.3, Tabela 8.4, Tabela 8.5, Tabela 8.6, Tabela 8.7 e Tabela 8.8). Vale lembrar que, os valores acima do permitido de acordo com o tipo de uso da Conama 396/2008 (Tabela

8.1) estão referenciados e destacados em vermelho nas tabelas abaixo, de acordo com a legenda que as seguem.

Tabela 8.1: Parâmetros contemplados nas análises e limites de usos preponderantes de águas subterrâneas de acordo com a norma 396/2008, CONAMA.

PARÂMETROS	L.Q.	CONAMA 396/2008			
		CONSUMO HUMANO	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS	IRRIGAÇÃO	RECREAÇÃO
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	-	-	-	-
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	-	-	-	-
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	-	-	-	-
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	-	-	-	-
Alumínio total (mg/L)	0,010	0,2	5	5	0,2
Antimônio total (mg/L)	0,0010	0,005	-	-	-
Arsênio total (mg/L)	0,0010	0,01	0,2	-	0,05
Bário total (mg/L)	0,010	0,7	-	-	1
Berílio total (mg/L)	0,0010	0,004	0,1	0,1	-
Boro total (mg/L)	0,010	0,5	5	0,5	1
Cádmio total (mg/L)	0,0010	0,005	0,05	0,01	0,005
Cálcio total (mg/L)	0,10	-	-	-	-
Chumbo total (mg/L)	0,01	0,01	0,1	5	0,05
Cloreto Total (mg/L)	0,1	250	-	100 - 700	400
Cobalto total (mg/L)	0,010	-	1	0,05	-
Cobre total (mg/L)	0,0010	2	0,5	0,2	1
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	Não se aplica	Ausentes	200	-	80
Condutividade (µS/cm)	0,1	-	-	-	-
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	0,05	1	0,1	0,05
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	0,05	1	0,1	0,05
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	0,3	-	5	0,3
Fluoreto total (mg/L)	0,4	1,5	2	1	-
Lítio total (mg/L)	0,010	-	-	2,5	-
Magnésio total (mg/L)	0,10	-	-	-	-
Manganês total (mg/L)	0,010	0,1	0,05	0,2	0,1
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	0,001	0,01	0,002	0,001
Molibdênio total (mg/L)	0,010	0,07	0,15	0,01	-
Níquel total (mg/L)	0,010	0,02	1	0,2	0,1
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	10	90	-	10
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	1	10	1	1
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	-	-	-	-
pH	2 a 12	-	-	-	-
Potássio total (mg/L)	0,10	-	-	-	-
Potencial redox (susp, a 50%) (MV)	-1000 à 1000	-	-	-	-
Prata total (mg/L)	0,0010	0,1	-	-	0,05
Selênio total (mg/L)	0,010	0,01	0,05	0,02	0,01
Sódio total (mg/L)	0,10	200	-	-	300
Sulfato total (mg/L)	2,0	250	1000	-	400
Temperatura da amostra (ºC)	1 a 60	-	-	-	-
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	-	-	-	-
Turbidez (NTU)	0,34	-	-	-	-
Urânio total (mg/L)	0,010	0,015	0,2	0,01	-
Vanádio total (mg/L)	0,010	0,05	0,1	0,1	-
Zinco total (mg/L)	0,010	5	24	2	5

Tabela 8.2: Resultados analíticos para as amostras dos poços 1, 3, 4, 5 e 6.

PARÂMETROS	L.Q.	AMOSTRAS				
		POÇO 1	POÇO 3	POÇO 4	POÇO 5	POÇO 9
		002-64183-75	002-64169-39	002-64182-81	002-64183-63	002-64183-64
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	55	50	25	45	35
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	0.021	0.25	0.021	0.124	0.033
Alumínio total (mg/L)	0,010	0.137	0.232(1,4)	< 0.010	0.265(1,4)	0.16
Antimônio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Arsênio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Bário total (mg/L)	0,010	0.227	0.026	0.013	0.074	0.196
Berílio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Boro total (mg/L)	0,010	0.04	0.046	< 0.0010	0.074	0.022
Cádmio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cálcio total (mg/L)	0,10	11.78	10.9	4.68	6.67	2.42
Chumbo total (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cloreto Total (mg/L)	0,1	15	2	3	5	8
Cobalto total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cobre total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	0.175	< 0.0010
Coliformes termotolerantes (ausentes/presentes) (NMP/100ml)	Não se aplica	AUSÊNCIA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	PRESENÇA EM 100 mL	PRESENÇA EM 100 mL	PRESENÇA EM 100 mL
Condutividade (µS/cm)	0,1	177	120	134	131	118
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	1.05(1,4)	1.107(1,4)	20.726(1,3, 4)	4.64(1, 4)	10.32(1, 3, 4)
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Litío total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Magnésio total (mg/L)	0,10	4.49	0.81	1.62	2.28	1.92
Manganês total (mg/L)	0,010	0.377(1, 2,3,4)	0.012	0.159(1,2, 4)	0.101(1, 2, 4)	0.035
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010
Molibdênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Níquel total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	0.39	< 0.23	< 0.23	0.53	0.43
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	0.035	< 0.015	0.019	< 0.015	0.016
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	0.18	0.24	0.08	0.35	0.1
pH	2 a 12	6.42	6.05	6.4	6.19	6.41
Potássio total (mg/L)	0,10	6.72	2.18	0.84	3.55	2.33
Potencial redox (susp. A 50%) (MV)	-1000 á 1000	-3.6	9.3	-57.8	-26.7	-66.8
Prata total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Selênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Sódio total (mg/L)	0,10	12.25	4.82	7.4	7.67	11.61
Sulfato total (mg/L)	2,0	16	10	2	5	< 2.0
Temperatura da amostra (ºC)	1 a 60	26	26.6	25.4	26	24.4
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	0,001	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.001
Turbidez (NTU)	0,34	86	< 0.34	0.44	7.91	10.39
Urânio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Vanádio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Zinco total (mg/L)	0,010	0.045	0.051	0.046	0.067	0.041

Nota: 1 – Consumo Humano, 2 – Dessedentação de animais, 3 – Irrigação, 4 – Recreação.

Tabela 8.3: Resultados analíticos para as amostras dos poços 12, 13, 14, 15 e 17.

PARÂMETROS	L.Q.	AMOSTRAS				
		POÇO 12	POÇO 13	POÇO 14	POÇO 15	POÇO 17
		002-64183-76	002-64177-45	002-64170-92	002-64166-1	002-64174-44
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	< 5.0	50	30	25	25
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	0.159	0.01	0.03	0.016	0.027
Alumínio total (mg/L)	0,010	1.294 (1,4)	1.117 (1,4)	0.091	0.045	0.066
Antimônio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Arsênio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Bário total (mg/L)	0,010	0.069	0.169	0.018	0.09	0.134
Berílio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Boro total (mg/L)	0,010	0.033	0.028	< 0.010	< 0.010	0.045
Cádmio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cálcio total (mg/L)	0,10	2.32	3.65	7	4.61	3.33
Chumbo total (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cloreto Total (mg/L)	0,1	7	21	28	8	23
Cobalto total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cobre total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Coliformes termotolerantes (ausentes/presentes) (NMP/100ml)	Não se aplica	PRESENÇA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	PRESENÇA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL
Condutividade (µs/cm)	0,1	67	224	190	115	120
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	2.65 (1.3)	26.07 (1,3,4)	0.223	9.29 (1,3,4)	5.405 (1,3,4)
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Litío total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Magnésio total (mg/L)	0,10	1.57	2.53	1.39	1.81	2.79
Manganês total (mg/L)	0,010	0.195 (1,2,4)	0.753 (1,2,3,4)	< 0.010	1.195 (1,2,3,4)	0.109 (1,2,4)
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010
Molibdênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Níquel total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	0.38	0.4	0.82	< 0.23	< 0.23
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	< 0.015	0.05	< 0.015	< 0.015	< 0.015
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	0.14	0.1	0.13	0.15	0.06
pH	2 a 12	6.38	6.4	5.86	6.46	6
Potássio total (mg/L)	0,10	2.23	1.86	2.41	2.39	3.25
Potencial redox (susp. A 50%) (MV)	-1000 á 1000	-12.8	-64.5	117.7	-49.6	70.5
Prata total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Selênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Sódio total (mg/L)	0,10	6.93	15.43	6.97	7.34	10.57
Sulfato total (mg/L)	2,0	4	< 2.0	4	< 2.0	6
Temperatura da amostra (ºC)	1 a 60	26.7	25.1	26.3	25	26.3
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	< 0.002	< 0.002	0.00344	< 0.002	< 0.002
Turbidez (NTU)	0,34	27.99	56.2	5.38	29.48	9.4
Urânio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Vanádio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	0.018
Zinco total (mg/L)	0,010	0.042	0.048	0.024	0.053	0.095

Nota: 1 – Consumo Humano, 2 – Dessedentação de animais, 3 – Irrigação, 4 – Recreação.

Tabela 8.4: Resultados analíticos para as amostras dos poços 27, 29, 31, 34 e 36.

PARÂMETROS	L.Q.	AMOSTRAS				
		POÇO 27	POÇO 29	POÇO 31	POÇO 34	POÇO 36
		002-64161-71	002-64176-43	002-64163-44	002-64162-17	002-64162-18
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	90	40	10	135	25
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	0.044	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Alumínio total (mg/L)	0,010	0.095	0.121	0.005	0.005	0.005
Antimônio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Arsênio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Bário total (mg/L)	0,010	0.062	0.14	0.068	0.176	0.092
Berílio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Boro total (mg/L)	0,010	1.886	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cádmio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cálcio total (mg/L)	0,10	200.18	0.99	21.7	16.86	6
Chumbo total (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cloreto Total (mg/L)	0,1	6922 (1,3,4)	5	26	4	5
Cobalto total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cobre total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Coliformes termotolerantes (ausentes/presentes) (NMP/100ml)	Não se aplica	< 1.8 (1)	AUSÊNCIA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	< 1.8 (1)	< 1.8 (1)
Condutividade (µs/cm)	0,1	35960	60	252	212	85
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	2.364	0.005	0.02	0.201	0.435 (1,4)
Fluoreto total (mg/L)	0,4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
Litío total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Magnésio total (mg/L)	0,10	812.82	0.86	3.2	5.89	1.47
Manganês total (mg/L)	0,010	0.768	0.018	0.053	0.094 (2)	0.636 (1,2,3,4)
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010
Molibdênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Níquel total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	< 0.23	0.47	6.87	0.24	0.26
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	< 0.015	< 0.015	< 0.015	< 0.015	0.02
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	0.19	0.2	0.1	3.4	0.09
pH	2 a 12	6.6	5.32	5.68	7.1	6.44
Potássio total (mg/L)	0,10	251.82	4.39	4.22	5	1.28
Potencial redox (susp. A 50%) (MV)	-1000 á 1000	-82	287.4	106.7	-113.2	187.8
Prata total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Selênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Sódio total (mg/L)	0,10	1504.6 (1,4)	6.78	11.27	8.84	7.09
Sulfato total (mg/L)	2,0	1772 (1,2,4)	< 2.0	23	3	4
Temperatura da amostra (ºC)	1 a 60	25.6	25.6	28.6	28.6	24.2
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Turbidez (NTU)	0,34	13.4	2.2	4.81	2.76	84
Urânio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Vanádio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Zinco total (mg/L)	0,010	0.039	0.062	0.052	0.048	0.087

Nota: 1 – Consumo Humano, 2 – Dessedentação de animais, 3 – Irrigação, 4 - Recreação.

Tabela 8.6: Resultados analíticos para as amostras dos poços 60, 64, 72, 77 e 78.

PARÂMETROS	L.Q.	AMOSTRAS				
		POÇO 60	POÇO 64	POÇO 72	POÇO 77	POÇO 78
		002-64166-2	002-64175-46	002-64174-45	002-64169-16	002-64170-88
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	45	30	10	< 5.0	30
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	0.037	0.102	0.067	0.292	1.332
Alumínio total (mg/L)	0,010	0.197	0.094	0.108	0.688 (1,4)	1.362 (1,4)
Antimônio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Arsênio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Bário total (mg/L)	0,010	< 0.010	0.015	< 0.010	0.021	0.013
Berílio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Boro total (mg/L)	0,010	0.032	0.036	0.028	0.055	0.051
Cádmio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cálcio total (mg/L)	0,10	0.3	0.68	0.48	1.18	1.72
Chumbo total (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cloreto Total (mg/L)	0,1	3	7	11	4	83
Cobalto total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cobre total (mg/L)	0,0010	0.0471	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Coliformes termotolerantes (ausentes/presentes) (NMP/100ml)	Não se aplica	Presença em 100 mL	Ausência em 100 mL	Presença em 100 mL	Presença em 100 mL	Presença em 100 ml
Condutividade (µs/cm)	0,1	73	56	58	123	439
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	0.027	0.011	0.02	0.567 (1,4)	0.036
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Litío total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Magnésio total (mg/L)	0,10	1.93	1.08	0.99	3.25	2.04
Manganês total (mg/L)	0,010	0.03	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010
Molibdênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Níquel total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	1.9	0.69	0.54	5.4	9.64
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	< 0.015	< 0.015	< 0.015	< 0.015	0.03
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	0.04	0.1	0.07	0.1	0.09
pH	2 a 12	4.3	4.68	4.47	5.1	3.94
Potássio total (mg/L)	0,10	0.6	0.66	0.72	2.45	1.48
Potencial redox (susp. A 50%) (MV)	-1000 á 1000	350.7	357.8	354.2	214.4	451
Prata total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Selênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Sódio total (mg/L)	0,10	6.46	6.69	7.19	8.67	78.28
Sulfato total (mg/L)	2,0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0
Temperatura da amostra (ºC)	1 a 60	25.4	24.5	24.7	26	26.9
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	0.00748	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Turbidez (NTU)	0,34	1.4	0.5	1.1	6.06	3.86
Urânio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Vanádio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Zinco total (mg/L)	0,010	< 0.010	0.06	0.052	0.05	0.056

Nota: 1 – Consumo Humano, 2 – Dessedentação de animais, 3 – Irrigação, 4 - Recreação.

Tabela 8.7: Resultados analíticos para as amostras dos poços 81, 82, 83, 91 e 94.

PARÂMETROS	L.Q.	AMOSTRAS				
		POÇO 81	POÇO 82	POÇO 83	POÇO 91	POÇO 94
		002-64177-105	002-64170-87	002-64169-15	002-64167-44	002-64167-43
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	< 5.0	25	< 5.0	20	50
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	0.124	0.882	0.774	< 0.010	0.022
Alumínio total (mg/L)	0,010	0.169	0.899 (1,4)	0.757 (1,4)	< 0.010	0.025
Antimônio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Arsênio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Bário total (mg/L)	0,010	< 0.010	0.011	0.02	0.037	0.358
Berílio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Boro total (mg/L)	0,010	0.049	0.034	0.067	0.029	0.053
Cádmio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cálcio total (mg/L)	0,10	0.43	3	1.06	3.49	22.51
Chumbo total (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cloreto Total (mg/L)	0,1	9	19	17	6	14
Cobalto total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cobre total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Coliformes termotolerantes (ausentes/presentes) (NMP/100ml)	Não se aplica	Ausência em 100 mL	Presença em 100 mL	Presença em 100 mL	Presença em 100 mL	Ausência em 100 mL
Condutividade (µs/cm)	0,1	87	343	216	95	291
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	0.012	0.032	0.014	0.037	0.005
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Litío total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Magnésio total (mg/L)	0,10	1.4	3.47	2.41	2.85	8.32
Manganês total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	0.027	< 0.010
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010
Molibdênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Níquel total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	1.75	9.45	9.52	0.115	9.21
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	< 0.015	< 0.015	< 0.015	< 0.015	< 0.015
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	0.09	0.09	0.09	< 0.02	0.35
pH	2 a 12	4.25	4.25	4.1	6.34	6.01
Potássio total (mg/L)	0,10	0.24	2.37	2.67	2.55	4.51
Potencial redox (susp. A 50%) (MV)	-1000 á 1000	424.7	294.1	463.2	151.9	152.5
Prata total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Selênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Sódio total (mg/L)	0,10	10.33	31.41	19.52	6.63	9.5
Sulfato total (mg/L)	2,0	< 2.0	4	< 2.0	5	< 2.0
Temperatura da amostra (ºC)	1 a 60	25.6	26.7	27.8	25.3	28.1
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	< 0.002	0.00405	< 0.002	< 0.002	0.001
Turbidez (NTU)	0,34	1.5	2.12	2.42	2.66	1.93
Urânio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Vanádio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Zinco total (mg/L)	0,010	0.049	0.053	0.128	0.043	0.041

Nota: 1 – Consumo Humano, 2 – Dessedentação de animais, 3 – Irrigação, 4 - Recreação.

Tabela 8.5: Resultados analíticos para as amostras dos poços 37, 38 , 42, 46 e 55.

PARÂMETROS	LQ	AMOSTRAS				
		POÇO 37	POÇO 38	POÇO 42	POÇO 46	POÇO 55
		002-64177-44	002-64161-69	002-64176-44	002-64163-43	002-64175-47
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	55	40	60	150	30
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	0.005	0.038	0.056	< 0.010	0.025
Alumínio total (mg/L)	0,010	0.07	0.512 (1,4)	0.145	< 0.010	0.131
Antimônio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Arsênio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Bário total (mg/L)	0,010	0.253	0.049	0.051	0.028	0.123
Berílio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Boro total (mg/L)	0,010	0.039	< 0.010	0.036	< 0.010	0.034
Cádmio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Cálcio total (mg/L)	0,10	8.12	3.23	4.71	45.7	9.7
Chumbo total (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cloreto Total (mg/L)	0,1	17	1	7	57	12
Cobalto total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Cobre total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Coliformes termotolerantes (ausentes/presentes) (NMP/100ml)	Não se aplica	AUSÊNCIA EM 100 mL	< 1.8 (1)	AUSÊNCIA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL
Condutividade (µs/cm)	0,1	217	80	99	456	157
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	5.347 (1,3,4)	0.327 (1,4)	2.566 (1,4)	0.061	0.017
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Litío total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Magnésio total (mg/L)	0,10	6.04	1.32	1.7	2.62	5.68
Manganês total (mg/L)	0,010	0.586 (1,2,3,4)	0.115 (1,2,4)	0.045	0.219 (1,2,3,4)	0.017
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010
Molibdênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Níquel total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	4.34	0.34	0.48	< 0.23	0.67
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	0.053	< 0.015	< 0.015	0.025	< 0.015
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	0.17	0.16	0.11	1.64	0.09
pH	2 a 12	6	6.56	6	7.67	6.1
Potássio total (mg/L)	0,10	7.42	2.85	1.33	5.31	5.92
Potencial redox (susp. A 50%) (MV)	-1000 á 1000	42.2	-15.4	72.7	-164.1	162.9
Prata total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Selênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Sódio total (mg/L)	0,10	17.06	5.73	10.15	22.41	10.05
Sulfato total (mg/L)	2,0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	11
Temperatura da amostra (°C)	1 a 60	27.3	27.4	26.2	25.7	27.2
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Turbidez (NTU)	0,34	2.9	5.73	2.6	3.75	2.3
Urânio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Vanádio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Zinco total (mg/L)	0,010	0.046	0.053	0.047	0.055	0.049

Nota: 1 – Consumo Humano, 2 – Dessedentação de animais, 3 – Irrigação, 4 - Recreação.

Tabela 8.8: Resultados analíticos para as amostras dos poços 95 e SAAE.

PARÂMETROS	L.Q.	AMOSTRAS					
		POÇO 95	POÇO SAAE	POÇO 02	POÇO 23	POÇO 80	POÇO 64 D
		002-64170-147	002-64181-1	002-64169-38	002-64177-44	002-64176-45-S	002-64175-45
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0	< 5.0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO3/L)	5,0	30	18	140	55	25	25
Alcalinidade hidróxida (mg/L)	5,0	< 5.0	< 5.0	2.5	2.5	2.5	2.5
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,010	0.024	0.03	0.014	0.005	0.005	0.053
Alumínio total (mg/L)	0,010	0.032	0.015	0.005	0.07	1.623 (1,4)	0.095
Antimônio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Arsênio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Bário total (mg/L)	0,010	0.13	0.037	1.137 (1,4)	0.253	0.058	0.015
Berílio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Boro total (mg/L)	0,010	0.017	0.02	0.048	0.039	0.086	0.033
Cádmio total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Cálcio total (mg/L)	0,10	5.98	12.05	45.8	8.12	3.25	0.68
Chumbo total (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cloreto Total (mg/L)	0,1	2	25	197 (3)	17	6	7
Cobalto total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cobre total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Coliformes termotolerantes (ausentes/presentes) (NMP/100ml)	Não se aplica	Presença em 100 mL	Ausência em 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	PRESENÇA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL
Condutividade (µs/cm)	0,1	126	299	1067	217	80	58
Cromo hexavalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo trivalente (mg/L)	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ferro dissolvido (mg/L)	0,010	0.055	4.02 (1,4)	5.256 (1,3,4)	5.347 (1,3,4)	0.005	0.005
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Litío total (mg/L)	0,010	0.005	0.005	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Magnésio total (mg/L)	0,10	5.14	4.15	10.22	6.04	2.3	1.04
Manganês total (mg/L)	0,010	< 0.010	0.756 (1,2,3,4)	0.268 (1,2,3,4)	0.586 (1,2,3,4)	0.027	< 0.01
Mercúrio total (mg/L)	0,00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Molibdênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Níquel total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Nitrato (como N) (mg/L)	0,23	0.57	3.45	0.115	4.34	0.37	0.63
Nitrito (como N) (mg/L)	0,015	< 0.015	< 0.015	0.0075	0.053	0.0075	0.0055
Ortofosfato (mg/LP)	0,02	0.12	0.12	0.3	0.17	0.15	0.07
pH	2 a 12	5.8	6.24	6.54	6	5.91	4.7
Potássio total (mg/L)	0,10	4.12	3.34	9.63	7.42	1.77	0.63
Potencial redox (susp. A 50%) (MV)	-1000 á 1000	168.5	49.6	-49.8	42.2	242	358
Prata total (mg/L)	0,0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Selênio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sódio total (mg/L)	0,10	6.16	35.99	73.12	17.06	9.14	6.72
Sulfato total (mg/L)	2,0	3	4	10	1	4	1
Temperatura da amostra (ºC)	1 a 60	26.3	28.1	28.7	27.3	24.9	24.6
Trihalometanos totais (mg/L)	0,002	0.00348	<0,002-	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Turbidez (NTU)	0,34	1.71	2.2	83	2.9	8	0.5
Urânio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Vanádio total (mg/L)	0,010	< 0.010	< 0.010	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Zinco total (mg/L)	0,010	0.049	0.051	0.037	0.046	0.05	0.058

Nota: 1 – Consumo Humano, 2 – Dessedentação de animais, 3 – Irrigação, 4 - Recreação.

Observa-se que dentro dos 47 parâmetros analisados, oito estão fora dos limites da legislação pertinente, o que caracteriza 17% de não conformidades encontradas nas análises subterrâneas referentes à campanha. Porém, a maioria dos parâmetros que ultrapassaram os valores estipulados pela norma, não ocorrem em altos teores.

Os elementos que apresentaram irregularidades, de acordo com a norma 396/2008 do CONAMA, foram alumínio, bário, boro, cloreto, manganês, sódio e sulfato totais, ferro dissolvido e coliformes termotolerantes. Os parâmetros nitrato, nitrito e zinco não atingiram os limites da norma para nenhuma classe de uso preponderante nos pontos analisados.

Os parâmetros não abrangidos pela norma 396/2008 do CONAMA, alcalinidade de bicarbonatos, alumínio dissolvido, cálcio total, condutividade, magnésio, ortofosfato, pH, potássio, potencial de oxirredução (Eh), temperatura, trihalometanos e turbidez, também foram analisados de forma que padrões anômalos sejam identificados e interpretados.

Antimônio, arsênio, berílio, cádmio, cobalto, cobre, cromo trivalente, cromo hexavalente, fluoreto, lítio, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, selênio e urânio apresentaram valores abaixo do limite detectável em todos os pontos analisados. O parâmetro vanádio foi identificado em apenas na amostra do Poço 17, cujo teor superou o limite de detecção (0,01 mg/L) com o valor de 0,018 mg/L.

Dentre as amostras com concentrações superiores às determinadas pela norma, destaca-se o Poço 27 (002-64161-71), que obteve níveis altos de boro, cloreto, coliformes termotolerantes, ferro dissolvido, manganês total, sódio e sulfato totais, onde as concentrações desses elementos ultrapassaram os limites dos tipos de uso apresentados na CONAMA396/2008. No cadastro atual dos poços, este poço encontra-se inutilizado pelo proprietário e ainda está localizado muito próximo da costa marítima, cuja a presença da cunha salina pode contribuir também para estes resultados elevados.

8.2 PARÂMETROS FISICO-QUÍMICOS AVALIADOS

Os parâmetros físico-químicos analisados neste relatório são relativos ao da campanha hidroquímica realizada em agosto e setembro de 2016. Portanto, segue abaixo descritivo de cada parâmetro envolvido.

8.2.1 Condutividade elétrica

Como forma de expressar o grau de salinização de uma água, o parâmetro condutividade elétrica (C.E.) pode ser de grande valia, uma vez que quanto maior a presença de íons, suas concentrações, mobilidade, valência e temperatura, maior será a condutividade elétrica da água (COSTA, 2002).

No gráfico da Figura 8.1, é possível observar os resultados obtidos para cada amostra coletada. Nota-se que o Poço 27 (002-64161-71) apresentou sua condutividade elétrica altíssima em relação aos demais pontos amostrados, que ocorrem em uma faixa homogênea com restritas variações entre 56 e 456 µS/cm.

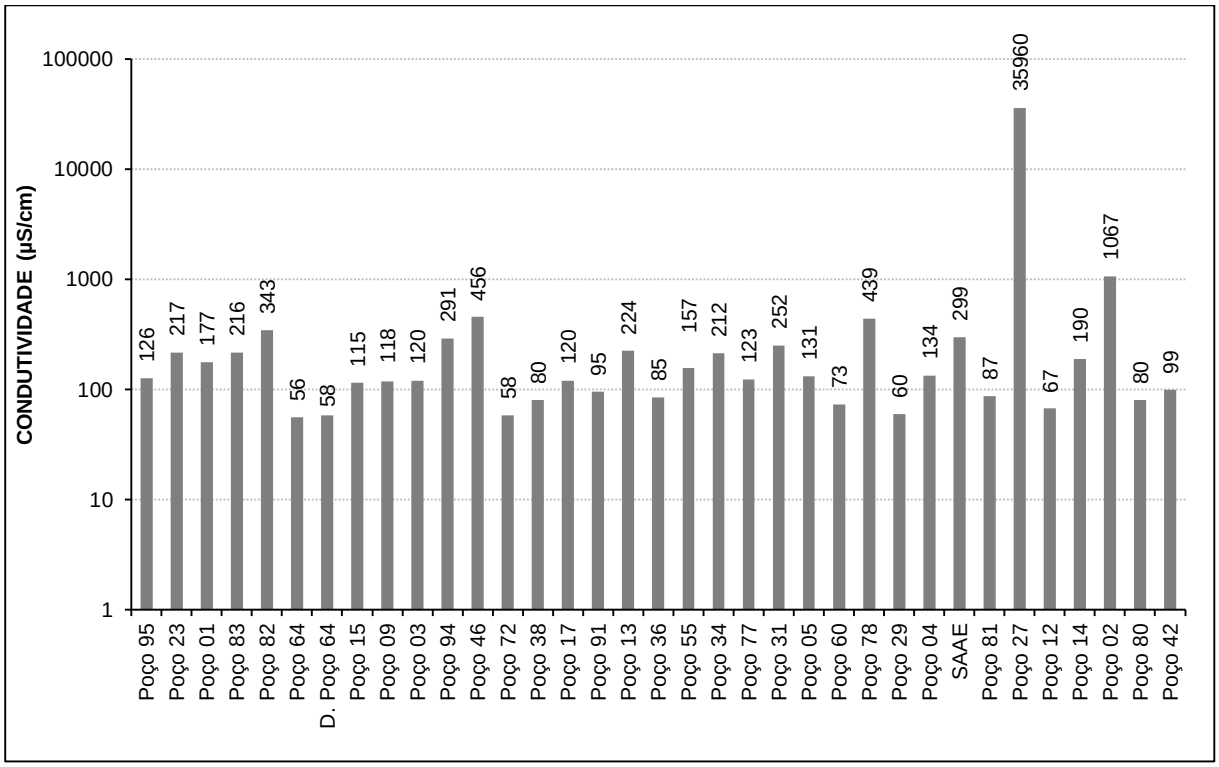


Figura 8.1: Condutividade elétrica das amostras de água subterrânea analisadas.

O mapa de disposição da condutividade elétrica dos poços amostrados apresentado na Figura 8.2 dispõe o aumento no valor da C.E. no sentido de oeste para leste, caracterizando assim um aumento na salinidade da água do aquífero em direção ao oceano. Concomitante a isso, o mapa da Figura 8.3 que ilustra o resultado da Condutividade elétrica medida no cadastro de poços também elude esta tendência, com alguns resultados isolados ou diferentemente do mapa das amostras em função da própria exclusão de alguns pontos, já que somente 34 foram amostrados, e do próprio método de Krigagem de estimativa de interpolação dos dados.

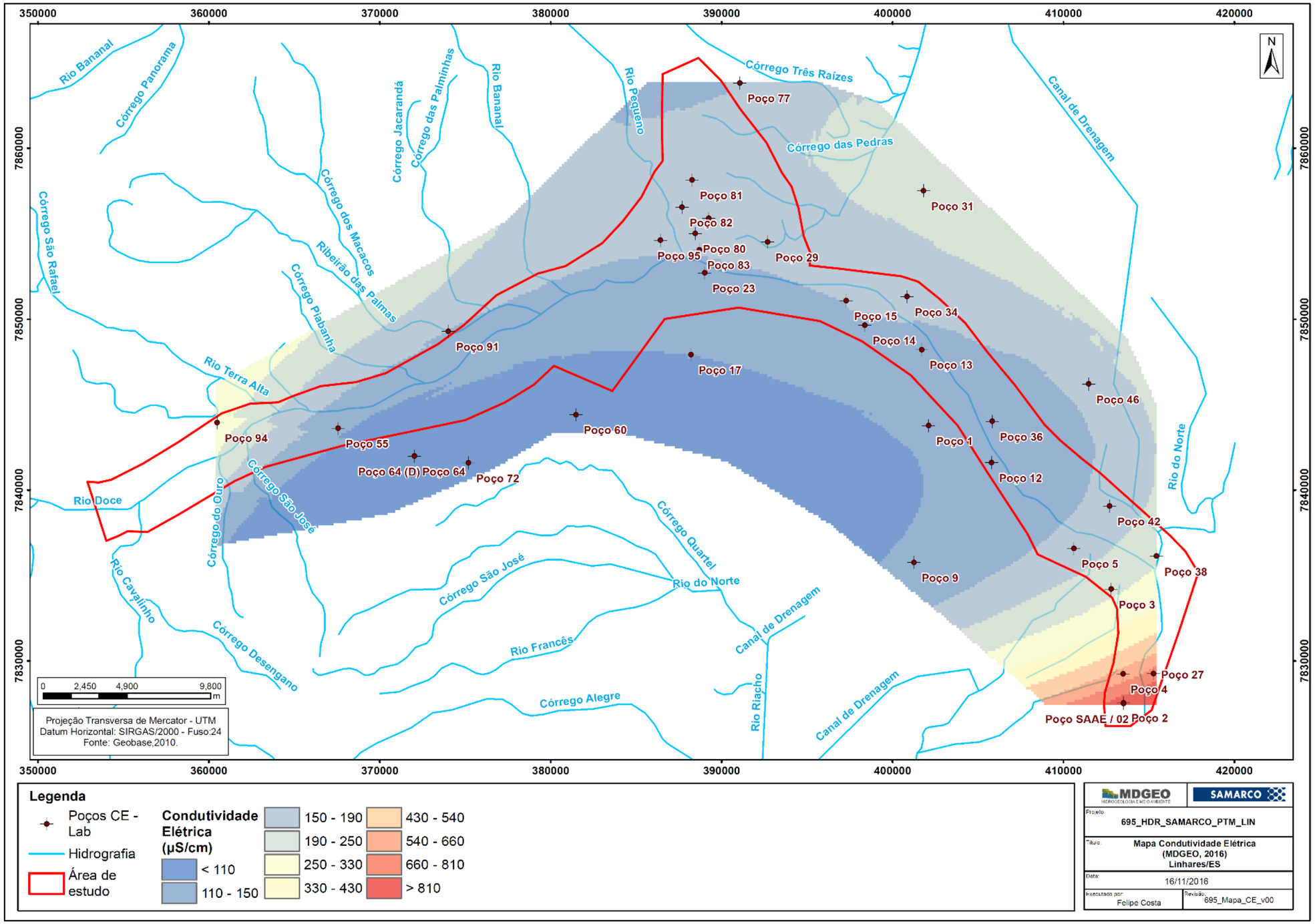


Figura 8.2: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE)a partir da campanha hidroquímica de Ago/Set de 2016.

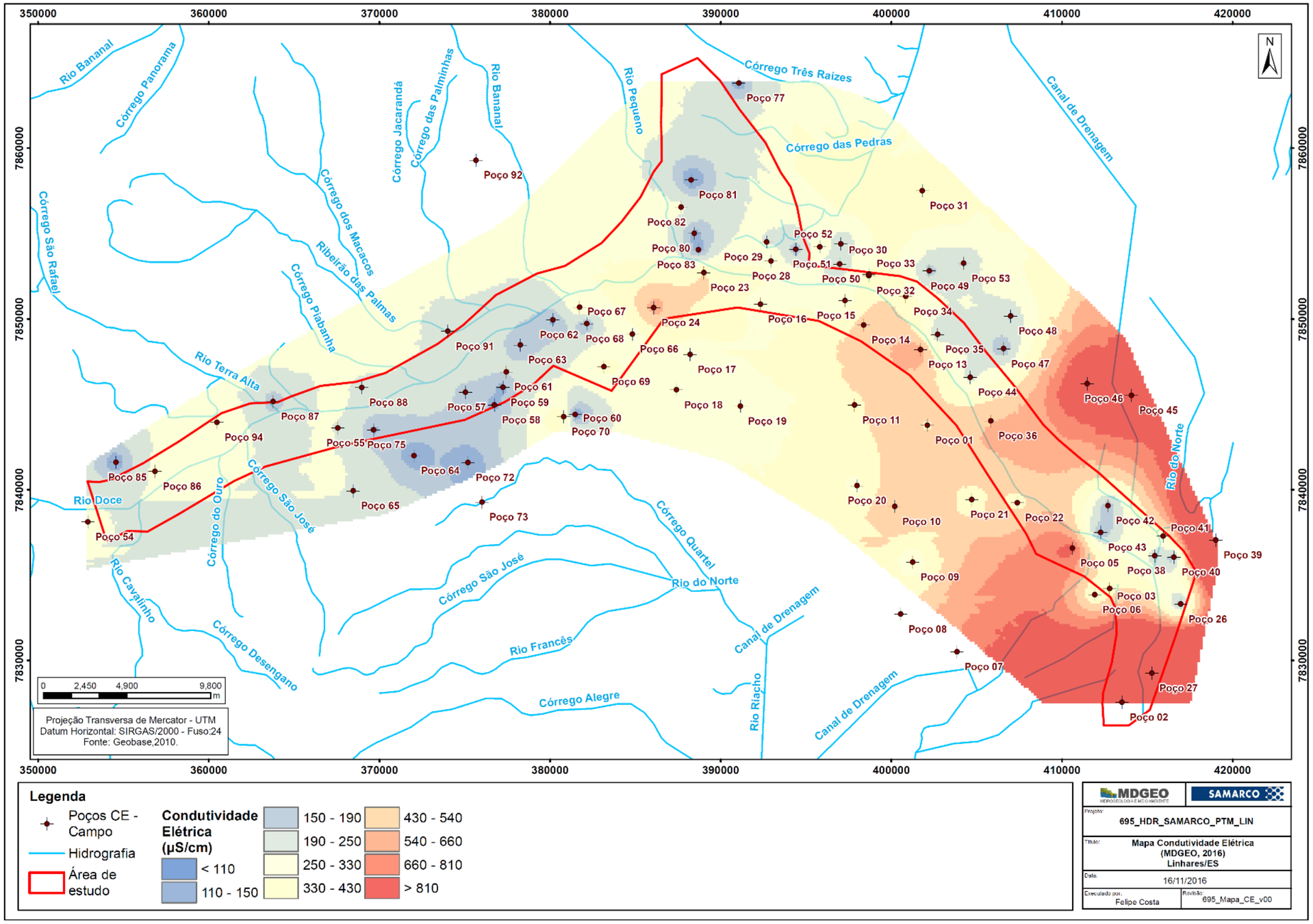


Figura 8.3: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE) a partir do cadastro de poços.

8.2.2 Potencial de oxidação - redução

O potencial de oxirredução (Eh) é de extrema importância no entendimento do transporte e destino de contaminantes químicos em sistemas de águas subterrâneas.

O processo de transferência de elétrons entre as espécies químicas pode definir condições de deficiência de elétrons (meio redutor) ou transferência de elétrons (meio oxidante). Os valores de Eh observados nas águas subterrâneas da região na campanha hidriquímica de Ago/Set de 2016 estão explicitados no Figura 8.4 com média de 136,9, sendo que o valor máximo, 463,2 mV, observado no Poço 83 e o valor mínimo, -164,1 mV, no Poço 46.

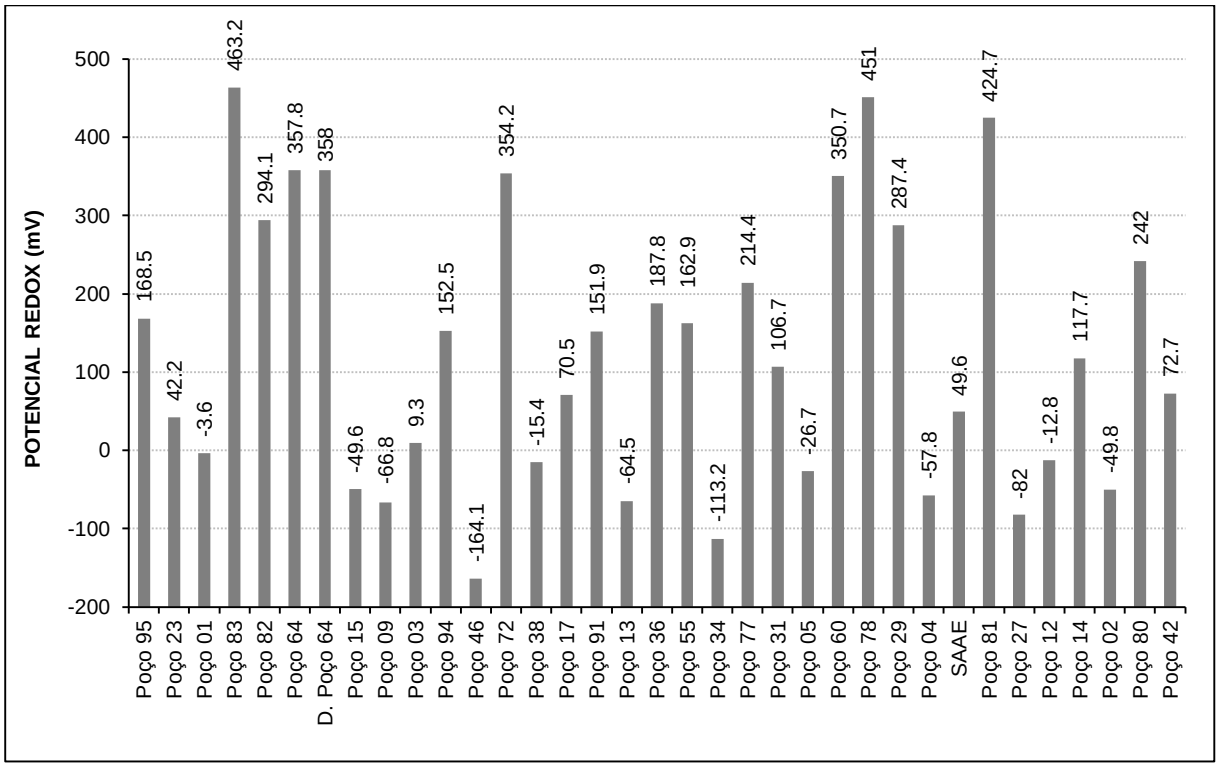


Figura 8.4: Eh das amostras de água subterrânea analisadas.

8.2.1 Potencial hidrogeniônico

O pH das amostras da campanha hidroquímica de Ago/Set de 2016 indicou um caráter levemente ácido na maioria das amostras. Apenas duas amostras indicaram valores de pH acima de 7, levemente básicos (Figura 8.5).

A média dos valores de pH para as águas da região de Linhares foi de 5,79, sendo que a amostra com o pH mais alto foi colhida no Poço 46, indicando 7,67; e a amostra cujo pH apresentou-se mais ácido foi a do Poço 78, com valor indicado de 3,94.

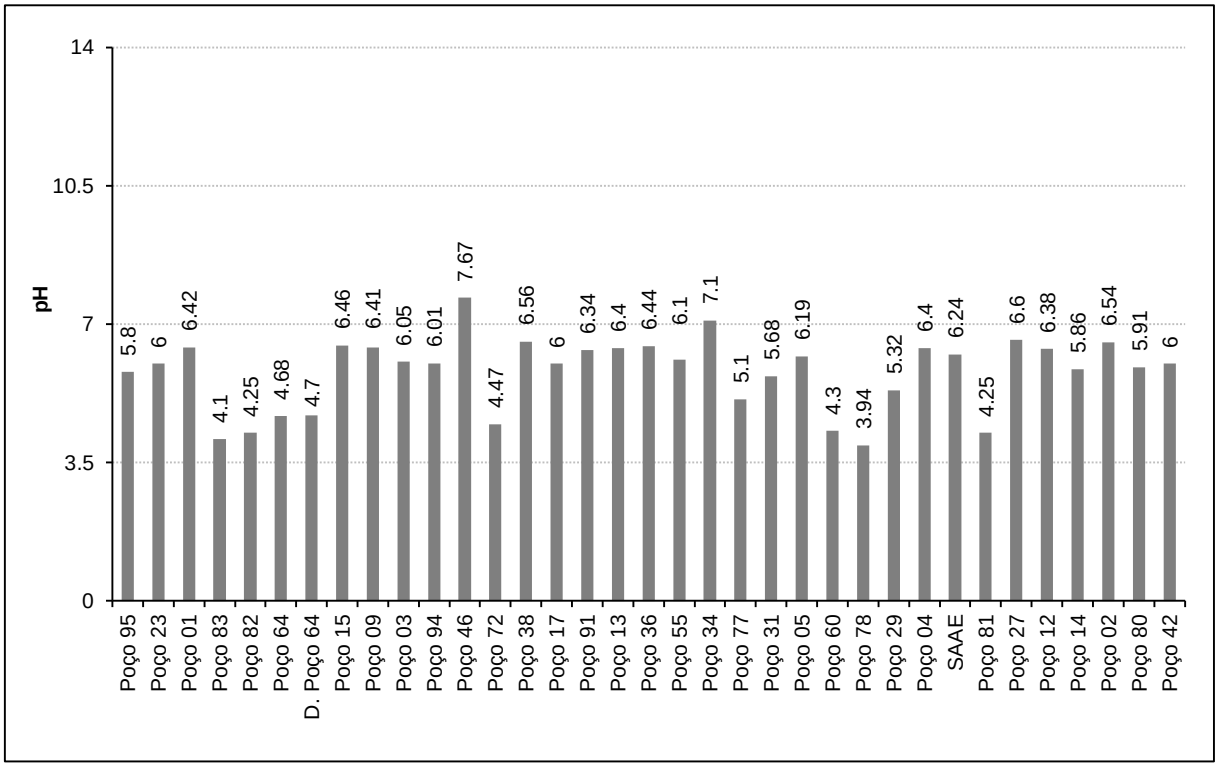


Figura 8.5: pH das amostras de água subterrânea analisadas.

É bastante usual utilizar os resultados de pH e eH, conjuntamente, para a caracterização das águas naturais, em uma abordagem preliminar. Tal metodologia fundamenta-se na capacidade do potencial redox (eH) em medir a estabilidade de um determinado íon quanto ao nível de oxidação de seu ambiente, e o pH está relacionado com a disponibilidade iônica dos íons H^+ e OH^- no meio. Assim, ambientes mais oxidantes são os típicos de água superficial em contato com a atmosfera, e os de menor concentração de oxigênio são os redutores, caracterizados pelas águas subterrâneas de circulação profunda (GARRELS & CHRIST, 1965). Entretanto, é sempre válido considerar a precisão e as incertezas na medição do Eh, evitando assim conclusões equivocadas.

A Figura 8.6, a seguir, ilustra o diagrama Eh *versus* pH ou Diagrama de Pourbaix para os resultados dos instrumentos amostrados nesta campanha hidroquímica.

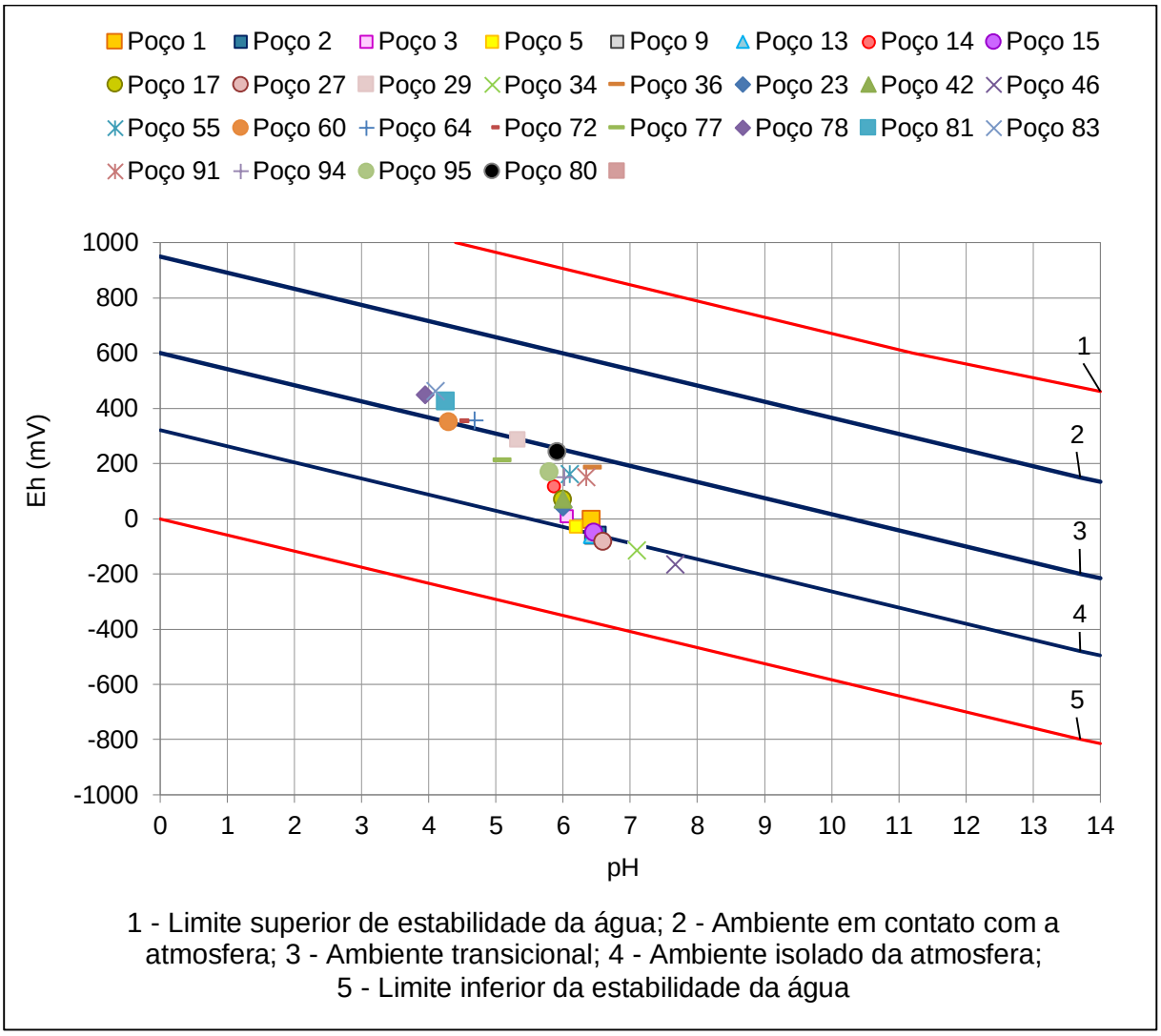


Figura 8.6. Distribuição do Eh e pH das amostras de águas subterrâneas da região de Linhares.

Em geral, nota-se que a maior parte dos pontos encontra-se entre um ambiente transicional e um ambiente isolado da atmosfera, que, segundo Wedepohl (WEDEPOHL, 1978), é representativo de águas subterrâneas ou até mesmo de águas estagnadas. As amostras dos poços 27, 34 e 46 tendem a um ambiente mais redutor (Limite 5), o que é característico de águas salinas ricas em matéria orgânica.

8.2.2 **Turbidez**

A turbidez é uma propriedade física indicadora da presença de sólidos em suspensão que, por sua vez, interfere na passagem de luz através de um fluido.

Para as águas subterrâneas, este parâmetro costuma-se ser baixo e em casos de altos valores, é importante que se avalie as condições de construção do instrumento, bem como seu desenvolvimento e limpeza (pós processo de construção). Outra questão a ser levantada é a emissão de esgotos domésticos e diversos efluentes industriais que também podem provocar elevações na turbidez das águas.

No gráfico da Figura 8.7, nota-se que sete amostras apresentaram valores superiores a 10NTU (Poços 01, 02, 12, 13, 15, 27 e 36), com valor máximo no Poço 01, que indicou 86 NTU.

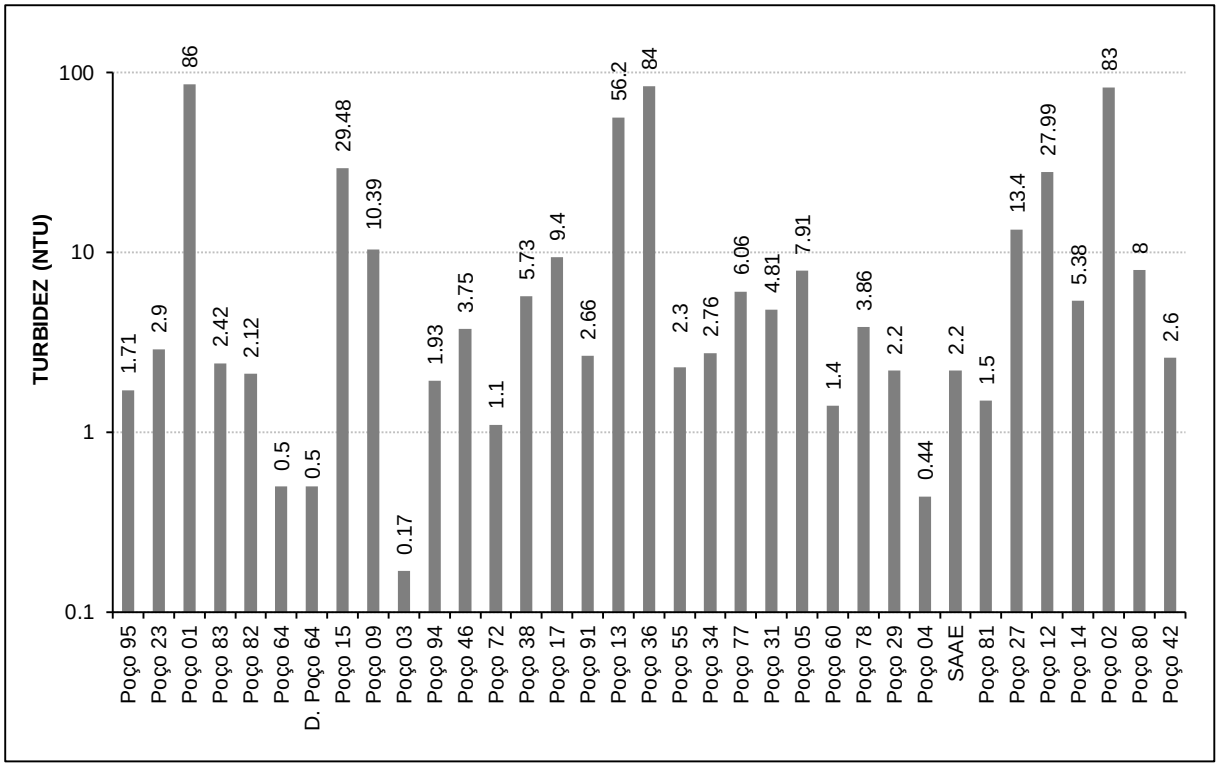


Figura 8.7: Turbidez das amostras de água subterrânea analisadas.

8.3 CÁTIONS E ÂNIONS AVALIADOS

8.3.1 Alcalinidade de bicarbonatos

A alcalinidade de bicarbonatos é o parâmetro alcalino indicado para as águas cujo pH engloba valores menores que 8,3, condições que são atendidas pelas águas subterrâneas da região de estudo. Para águas com pH entre 8,3 e 9,4, há a presença de carbonatos e bicarbonatos e para águas com pH acima de 9,4 os hidróxidos e carbonatos. Estes dois últimos casos citados apresentaram valores de alcalinidade

zerados no presente trabalho, uma vez que nenhuma amostra atingiu valores superiores a 8,3 em seu pH.

Os íons de bicarbonato de cálcio ($CaCO_3$) podem precipitar com certa facilidade, porém estes íons não sofrem oxidação e nem redução nas águas naturais. Nas águas analisadas, o maior valor foi observado no Poço 46, com concentração de 150 mg $CaCO_3$/L; em contrapartida quatro poços (Poços 12, 77, 81 e 83) apontaram valores menores que o limite de detecção (5,0 mg $CaCO_3$), interpretando-os assim com 2,5 mg $CaCO_3$ (Figura 8.8). A média dos valores de alcalinidade de bicarbonato das águas analisadas foi 40,94 mg $CaCO_3$/L.

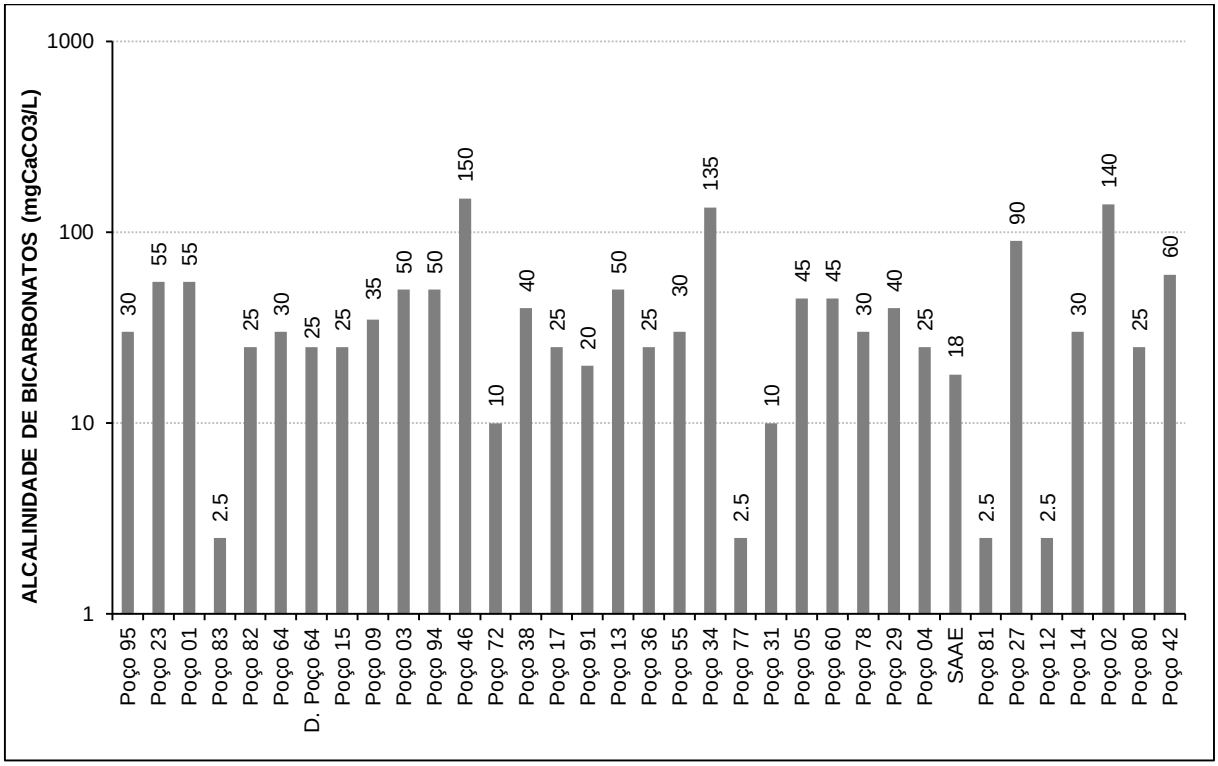


Figura 8.8: Alcalinidade de bicarbonatos das amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.2 Boro total

As concentrações de boro na água subterrânea da região são muito baixas, não ultrapassando 0, 074 mg/L em nenhuma amostra, exceto na amostra colhida no Poço 27 (003-64161-71), cuja concentração foi de 1,886 mg/L, mais de 25 vezes maior que na amostra de segunda maior concentração retirada no Poço 5 (Figura 8.9).

Não se estabeleceu relação com nenhuma unidade litológica em particular na região, embora este elemento possa ocorrer em alguns minerais presentes nas rochas

do Complexo Paraíba do Sul, como biotita e anfibólios e também como composto inorgânico em sedimentos e rochas sedimentares. Contudo, a presença do boro nesses minerais não justificaria valores tão altos, e é possível que haja incremento de boro nas águas por dois fatores distintos: a partir das atividades antrópicas, já que esse elemento é usado na composição de fertilizantes e pelo avanço da cunha salina em direção ao continente.

Além disso, no cadastro de poços realizado pela MDGEO foi registrado a presença de um povoado a montante do poço 27, o uso de ocupação no seu entorno foi predominantemente de pastagem e verificou-se ainda a ausência de proteção ao seu redor e da laje, apresentando somente tubo de boca. Vale lembrar também, que este poço 27 é do tipo escavado para exploração de água, mas que atualmente encontra-se desativado, estando também localizado numa região muito próxima ao mar, a aproximadamente 200 metros do mar.

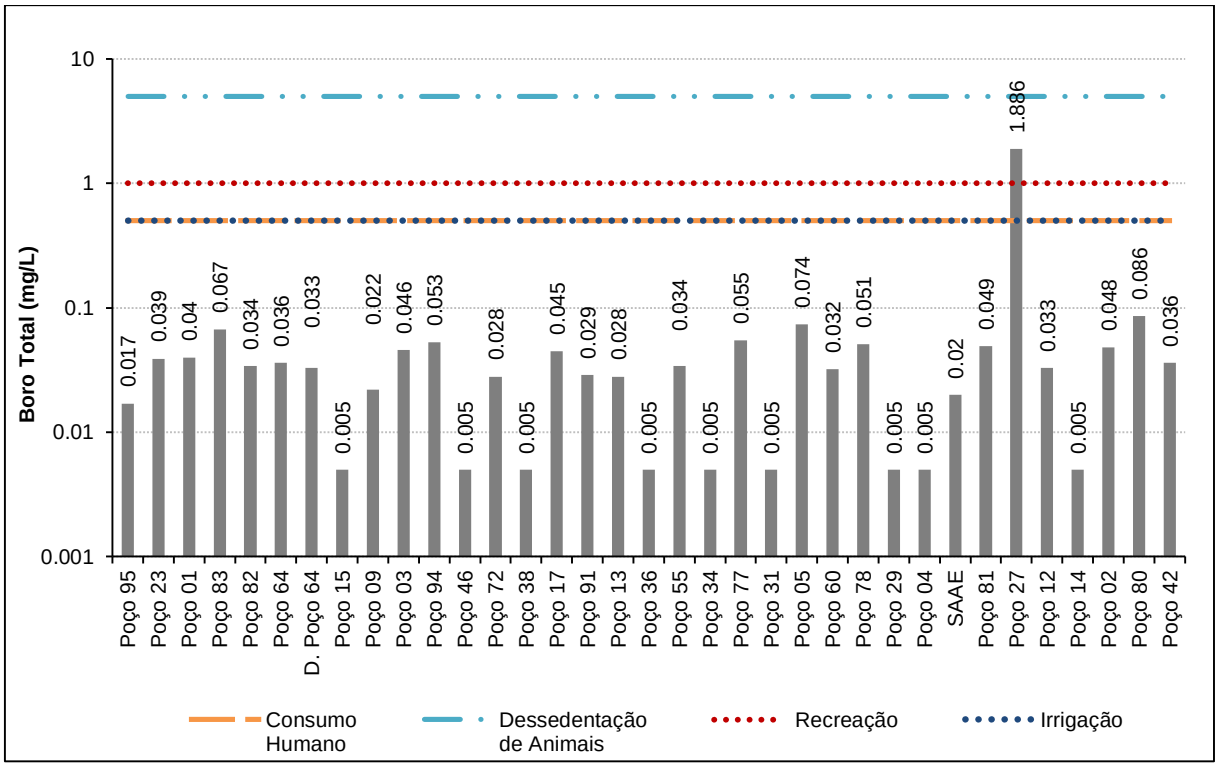


Figura 8.9: Concentração de boro total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.1 Bário total

O bário ocorre em condições naturais no meio ambiente em concentrações que variam de 0,0007 a 0,9 mg/L. Localmente as concentrações deste elemento não

ultrapassam 0,4 mg/L em nenhuma amostra, exceto na amostra colhida no Poço 02 (002-64169-38), cuja concentração foi de 1,137 mg/L o que pode ser visualizado na Figura 8.10.

Embora este elemento possa ocorrer em alguns minerais presentes nas rochas que contenham feldspatos, a sua presença nestas rochas não justificaria valores tão altos como o apresentado no Poço 02. Uma vez que este elemento também não apresenta valores elevados para demais poços próximos ao mar, a influência da cunha salina pode ser inicialmente descartada. Resta, portanto, a hipótese de que o impacto é decorrente de atividades antrópicas.

Vale destacar que o Poço 02 encontra-se localizado próximo a um povoado e que as fontes antrópicas mais comuns para o elemento bário estão relacionadas a disposição de resíduos provenientes da produção de fogos de artifício, pigmentos, vidros, uso de defensivos agrícolas e emprego deste elemento em lamas de perfuração de poços.

Portanto, com base em sua localização e ausência de valores análogos em demais poços, acredita-se que o alto conteúdo de bário no Poço 02 esteja relacionado a resíduos do fluido de perfuração. Sugere-se, entretanto, que o Poço 02 seja monitorado para melhor avaliação de seu impacto, principalmente por sua finalidade ser a de abastecimento público.

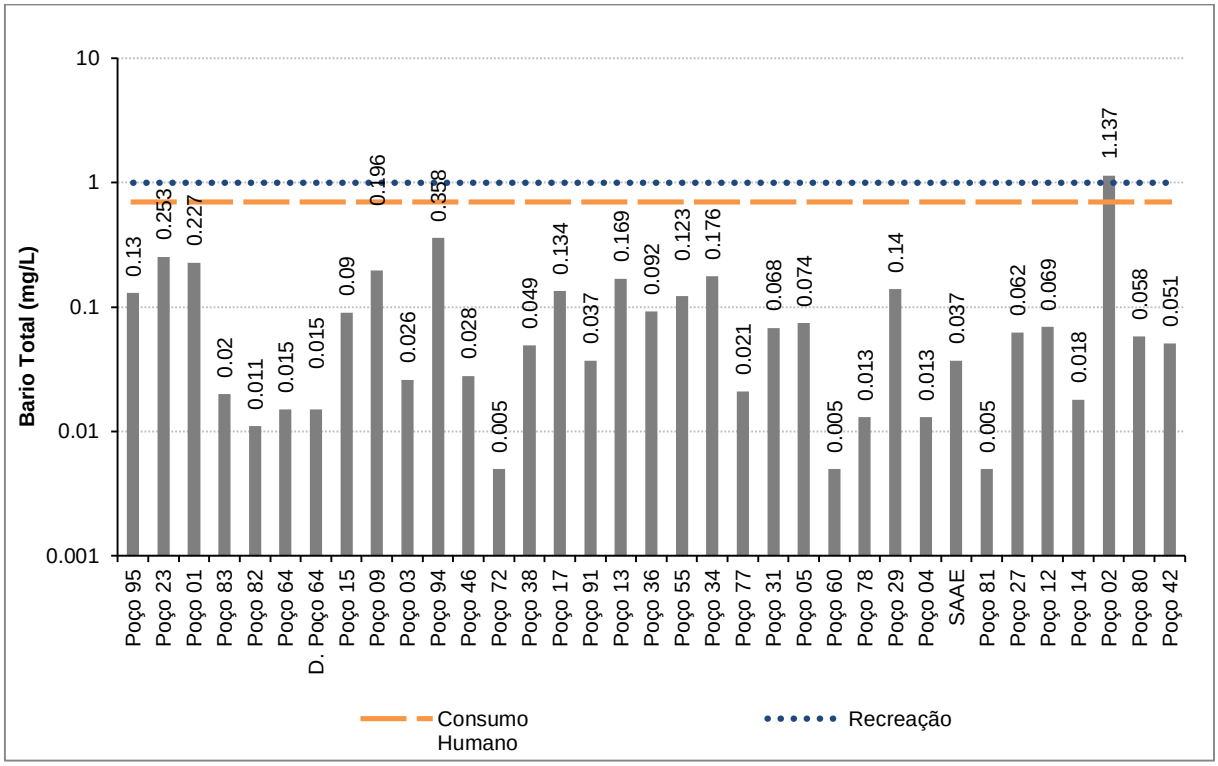


Figura 8.10: Concentração de bário total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.2 Cloreto total

Os íons cloreto são extremamente móveis e não são retidos em rochas permeáveis. Em formas de baixa solubilidade não se oxidam ou reduzem, não se adsorvem significativamente e não participam de processos bioquímicos, fazendo assim com que sejam traçadores extremamente eficientes.

A concentração de cloretos em águas subterrâneas é muito variável (10 – 3000 mg/L), com valores médios de 100 mg/L. Em águas mais salgadas, próximas à saturação de NaCl, os teores de cloretos podem atingir 200 g/L. A água do oceano caracteriza-se por ser a maior fonte de cloreto, através das cunhas salinas (CETESB, 2009), porém concentrações muito altas podem indicar contaminação antrópica por descargas de efluentes industriais.

A concentração de cloreto total nas águas do Poço 27 (003-64161-71) é exageradamente superior às demais analisadas, com teor de 6922 mg/L, enquanto que a maior concentração em seguida é na água do Poço 02 (002-64169-38), não ultrapassando os 197 mg/L (Figura 8.11). Ressalta-se que não existe limites definidos pela CONAMA 396 para dessedentação animal.

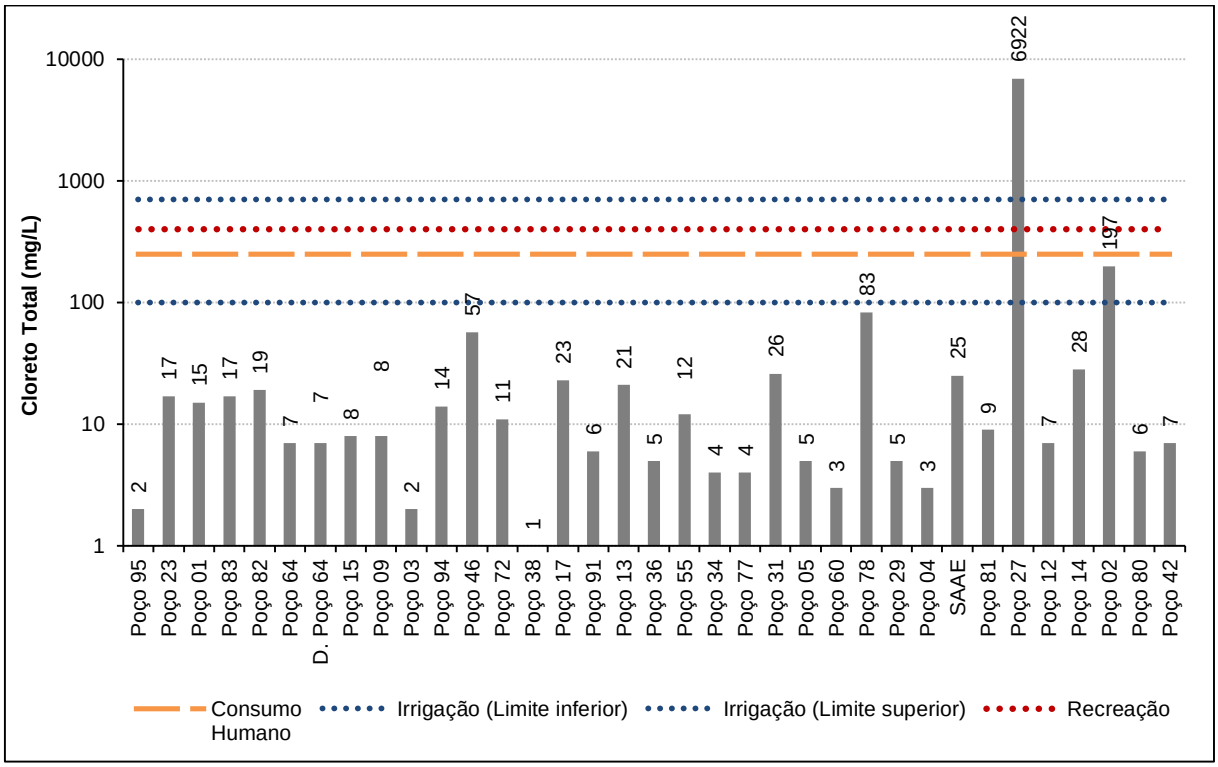


Figura 8.11: Concentração de cloreto total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.3 Sódio total

Para os valores de sódio total nas águas subterrâneas analisadas, os padrões seguiram os mesmos dos cloretos, com altíssima concentração no Poço 27 (003-64161-71), 1504,6 mg/L, seguido pelo Poço 78 (002-64170-88), com teor de 78,28 mg/L, mais relacionável aos demais poços (Figura 8.12). Ressalta-se que não existe limites definidos pela CONAMA 396 para dessedentação animal e irrigação.

Em áreas litorâneas, a intrusão de águas marinhas é a maior causa para níveis mais elevados de sódio em águas subterrâneas (CETESB, 2009). As características observadas pela anomalia, agregadas às informações bibliográficas, evidenciam forte avanço da cunha salina em direção a este ponto do aquífero (Poço 27), próximo ao Poço 78, com muitos íons presentes na água e em uma relação muito discrepante com as concentrações iônicas dos demais poços analisados.

Análises feitas pela CPRM entre o fim da década de 70 e início de 80 já indicavam algumas áreas na região leste do município de Linhares com alta salinização. Todas estas áreas evidenciavam deficiente circulação subterrânea e forte evaporação (CPRM, 1980).A tabela do ANEXO III apresenta todos os pontos cadastrados do estado do

Espirito Santo pela CPRM, com suas características construtivas, geológicas e hidrogeológicas, além de algumas análises hidroquímicas e medição de alguns parâmetros físico-químicos. No entanto, os poços LIN-110 e LIN-111 da CPRM que são os mais próximos do oceano não apresentaram análises quanto ao sódio, além disso os maiores teores amostrados deste elemento pela CPRM foi entorno de 5 a 10 mg/L na região próximo a Linhares (poços: LIN-139 e LIN-265).

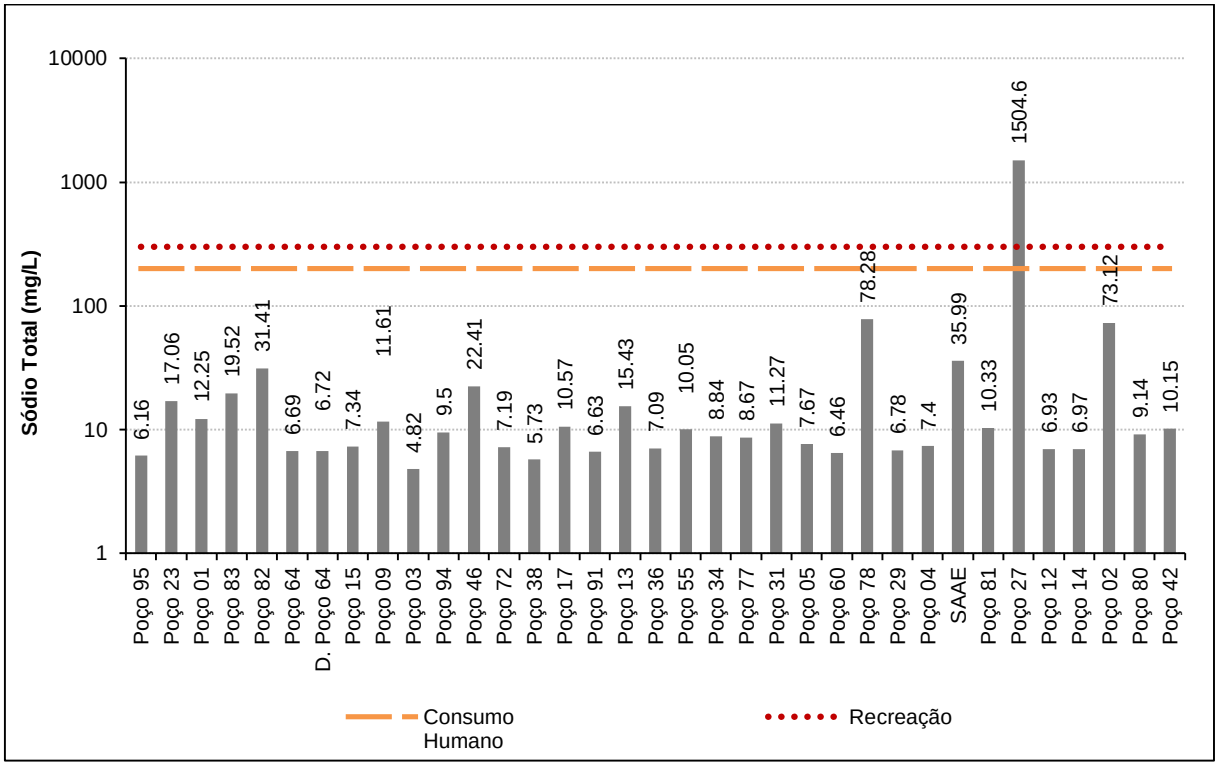


Figura 8.12: Concentração de sódio total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.4 Sulfato

Em águas sub-superficiais naturais, a fonte de sulfato se dá através da dissolução de solos e rochas, pela oxidação de sulfeto ou pela lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita. Já, como principal fonte antrópica de sulfato nas águas superficiais pode-se citar as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais.

Os sulfatos costumeiramente ocorrem associados aos cátions Mg, Ca e Na em águas salmouras ou que sofrem com salinização. Em águas subterrâneas circulantes a concentração é baixa (< 30 mg/L), porém com o aumento da salinização pode superar 5 000 mg/L (CELLIGOI, 1999).

Apesar da região não apresentar em sua geologia fontes de sulfatos e das águas observadas não serem muito sulfatadas, o Poço 27 (003-64161-71) apresentou uma forte anomalia de SO_4 em relação aos demais, cuja concentração majoritária não ultrapassa o limite de detecção (2,0 mg/L). Na água retirada do poço e posteriormente analisada a concentração do ânion foi de 1772 mg/L (Figura 8.13). Ressalta-se que não existe limites definidos pela CONAMA 396 para irrigação.

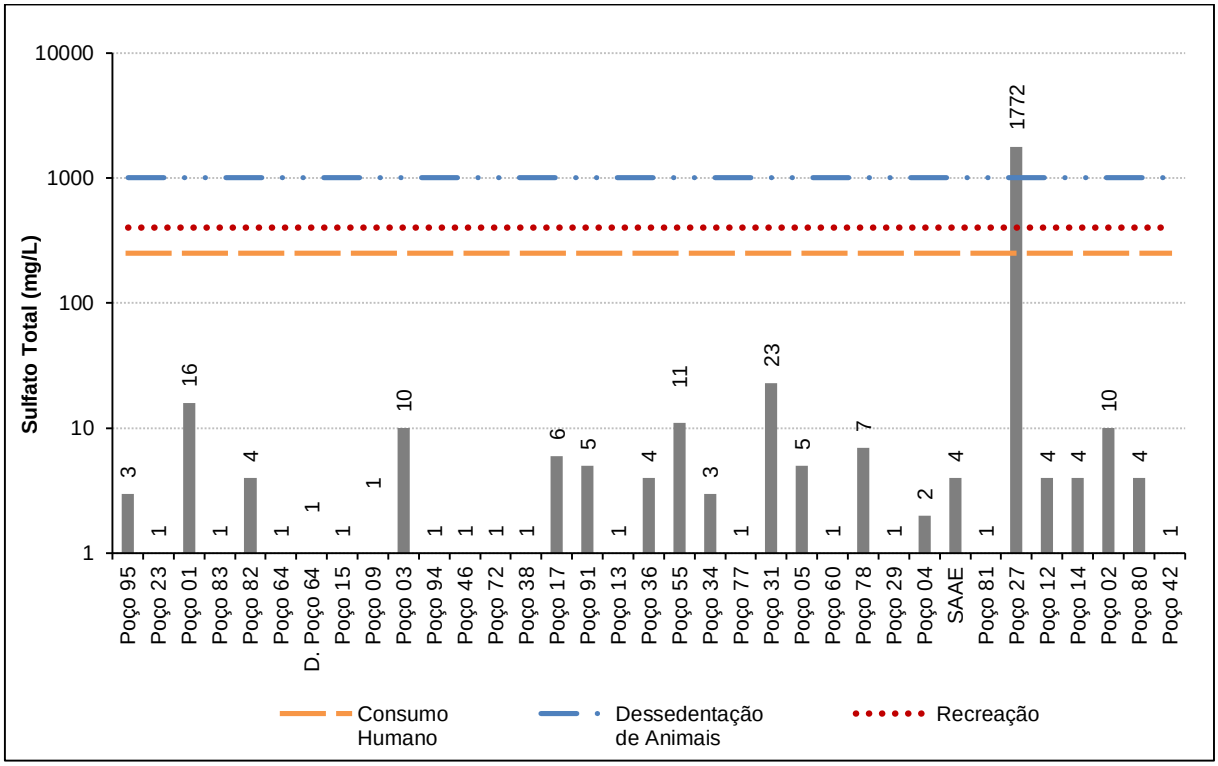


Figura 8.13: Concentração de sulfato total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.5 Cálcio total

A análise do cálcio indicou a concentração de 200,18 mg/L no poço 27 (003-64161-71) (Figura 8.14). O cátion tem forte afinidade química com os álcalis (Na+K). Portanto, sugere-se que as elevadas concentrações de cálcio, principalmente nos poços próximo a região marítima, estão associados a interferência existente da cunha salina nestes poços, elevando a concentração destes íons nas águas do aquífero analisado.

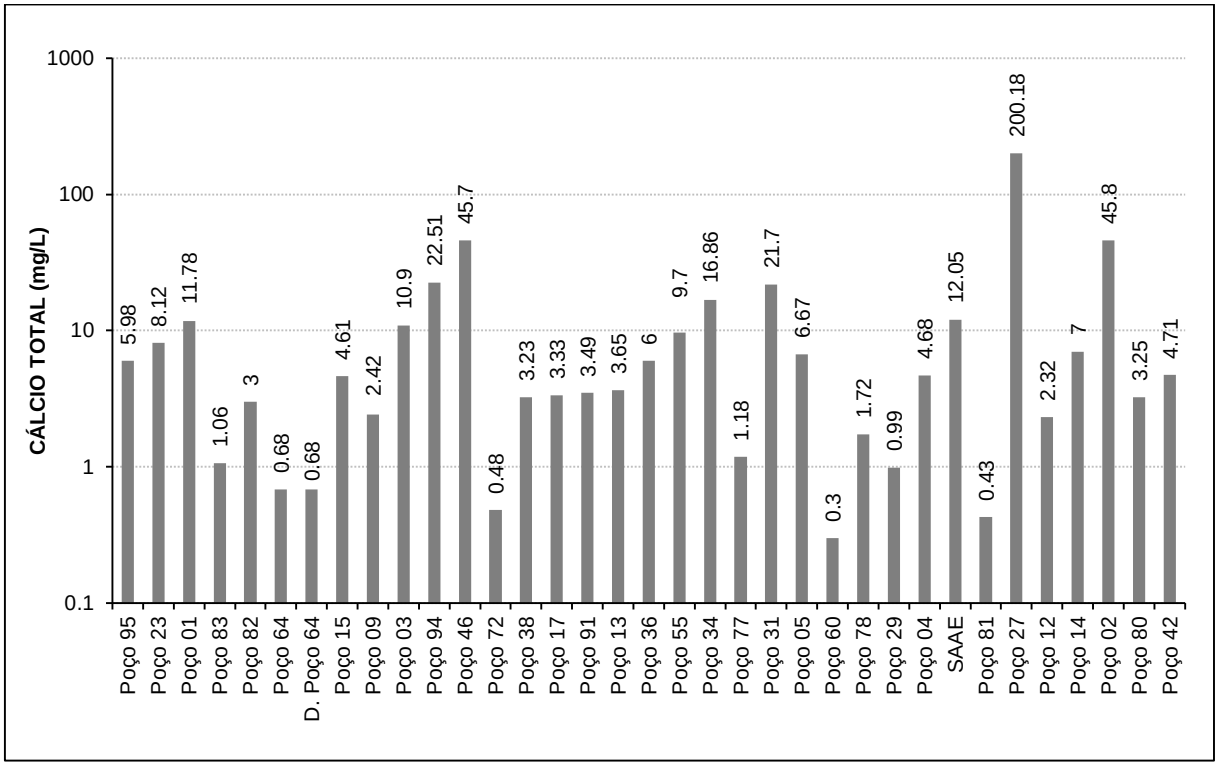


Figura 8.14: Concentração de cálcio total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.6 Magnésio total

O íon magnésio possui grande solubilidade, mas é encontrado em menores quantidades nas águas doces, provavelmente pela baixa abundância geoquímica do magnésio. Os processos de intercâmbio iônico também exercem grande influência nas concentrações de Mg.

Em águas naturais sua ocorrência é menos abundante que a do cálcio, sendo que suas concentrações não superam 40 mg/L em águas doces. O fato da amostra do Poço 27 (003-64161-71) obter a concentração de 812,82 mg/L (Figura 8.15) é mais um forte indício de salinização neste ponto do aquífero.

Os minerais cuja composição química indica fonte para o magnésio nas águas da região são biotita, anfibólios e piroxênios, principalmente.

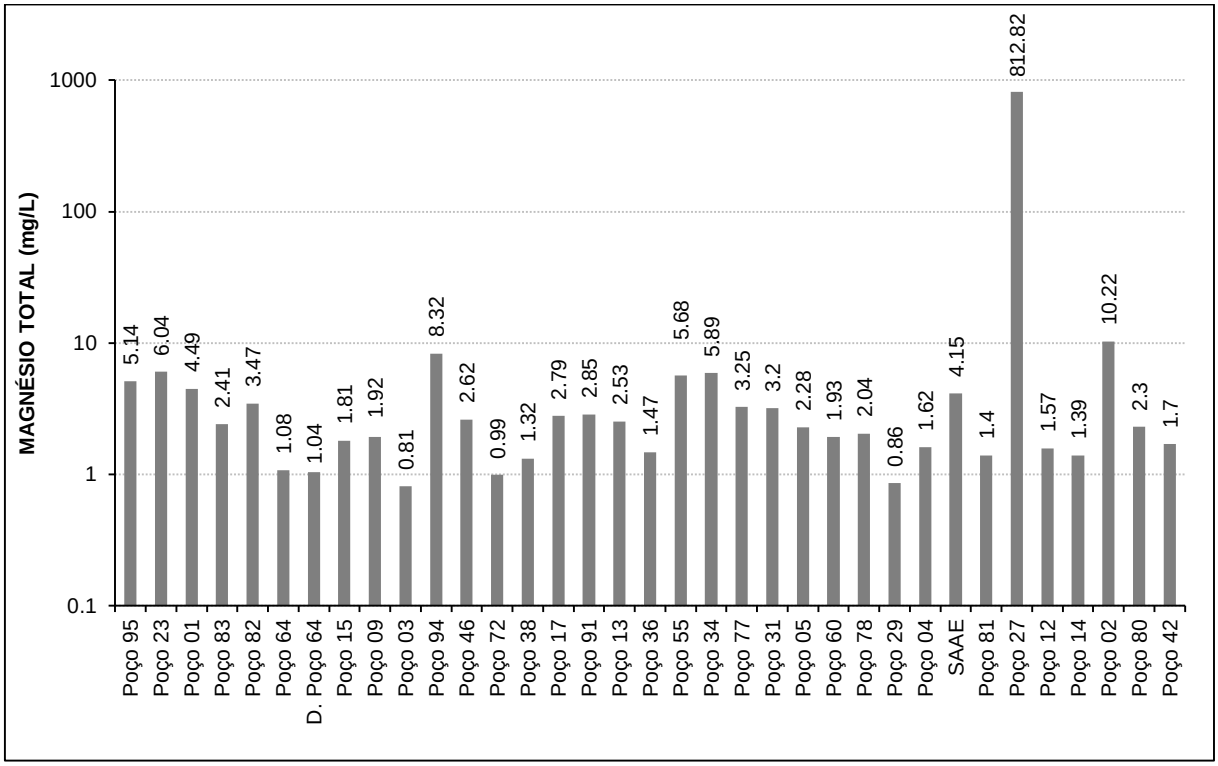


Figura 8.15: Concentração de magnésio total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.7 Potássio total

O potássio, devido a sua intensa participação em processos de troca iônica, à facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais, possui normalmente concentrações mais baixas nas águas quando comparadas com as de cálcio e de magnésio. Exemplos de minerais fontes de potássio, presentes na região, são feldspatos potássicos, seus produtos de alteração e micas.

Quantidades de potássio acima de 10 mg/L podem, em determinados casos, serem indicadoras de contaminação por descargas de águas residuais ou então em decorrência do uso de fertilizantes agrícolas (CETESB, 2009).

Na Resolução do CONAMA 396, não são definidos limites de concentração do potássio para nenhum uso especifico. Entretanto, é válido mencionar que, assim como os parâmetros discutidos anteriormente, o Poço 27 apresentou elevada concentração desse elemento (Figura 8.16).

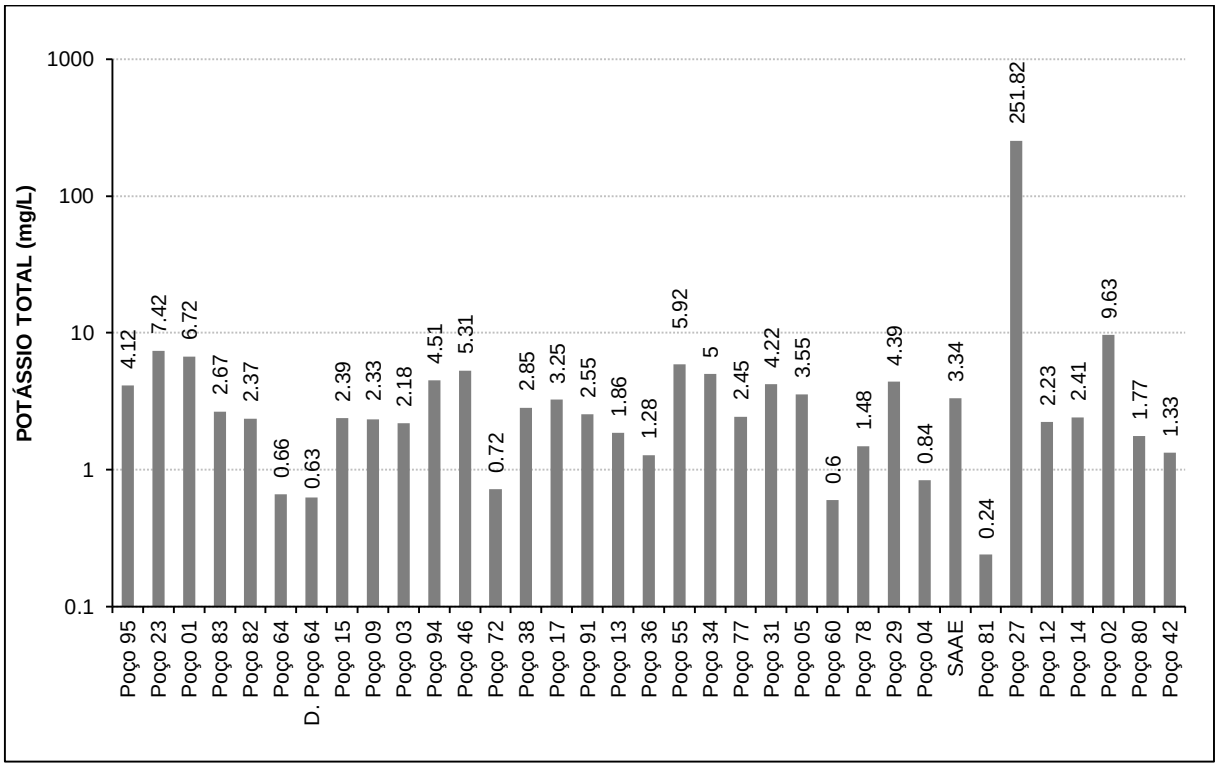


Figura 8.16: Concentração de potássio total nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.8 **Alumínio total**

As concentrações de alumínio total apresentam-se superiores a 0,2 mg/L em 10 amostras analisadas, ultrapassando assim os valores máximos permitidos pela CONAMA 396 para a recreação e consumo humano. Tais amostras correspondem aos poços 03, 05, 12, 13, 38, 77, 78, 80, 82 e 83 (Figura 8.17). Nenhuma das concentrações atingiu o limite estabelecido para irrigações e consumo de animais, que é de 5 mg/L.

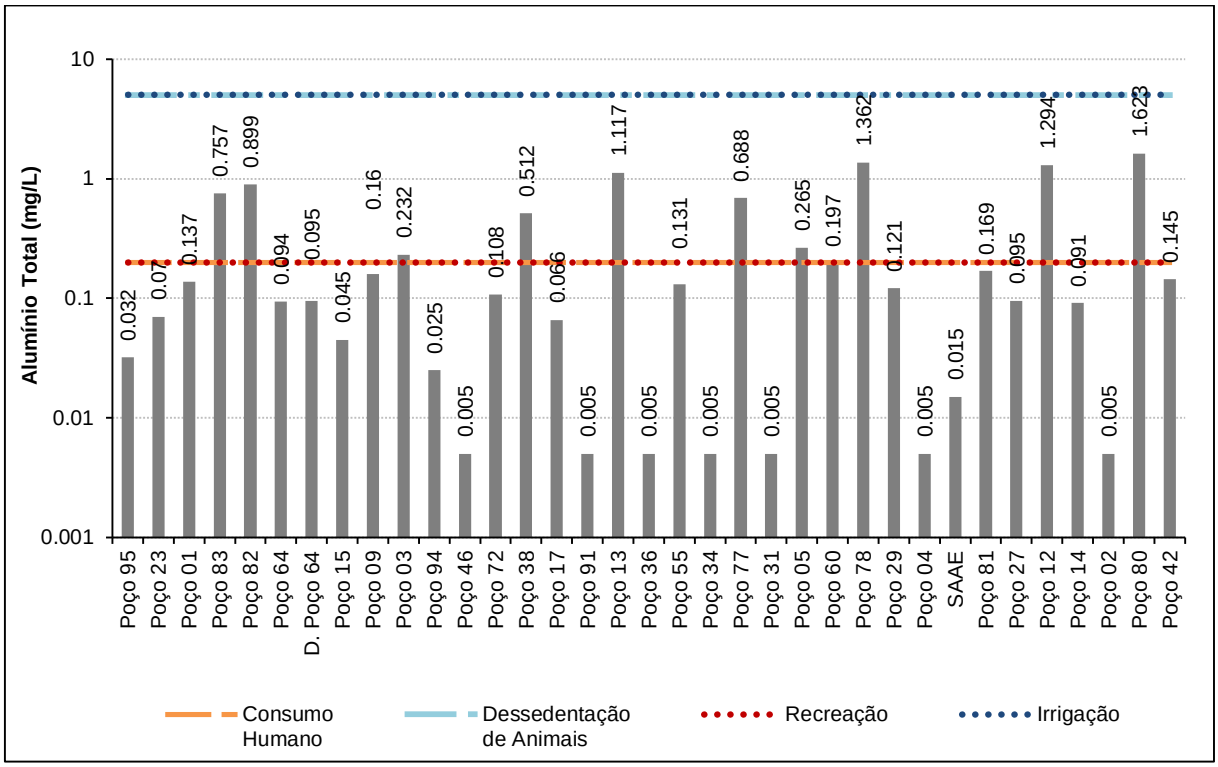


Figura 8.17: Concentração de alumínio total nas amostras de água subterrânea analisadas.

Os poços 77, 78, 82 e 83 ocorrem em meio à zona urbana do município de Linhares. Os poços 5, 12 e 13 estão próximos às margens do Rio doce e os poços 03 e 38 ocupam posição semelhante, próximos a afluentes do Rio Doce, em região de cordão litorâneo.

O metal supracitado pode ocorrer em diferentes formas e é influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. Sua solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0, porém aumenta para valores de pH mais ácidos, sendo que águas com extrema acidez, afetadas por descargas de mineração, as concentrações de alumínio dissolvido podem ser maiores que 90 mg/L (CETESB, 2009).

Portanto, em relação aos pHs analisados, para os poços localizados próximos a zona urbana de Linhares, os resultados foram os mais ácidos, variando de 3,94 para o Poço 78 a 5,1 para o Poço 77. Os poços ao longo da margem do rio Doce obtiveram resultados semelhantes e entorno de 6,3, assim como os mais litorâneos, Poço 03 e Poço 38, não ultrapassando o valor de 6,56.

8.3.9 Coliformes termotolerantes

Coliformes termotolerantes são representados principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella, Enterobacter* e *Citrobacter*. Dentre esses microrganismos, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal. Os demais podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição (CETESB, 2009).

Dentre as amostras avaliadas, 19 apresentam presença de coliformes termotolerantes em 100 mL de água, o que significa que que as mesmas são inadequadas para o consumo humano, uma vez que a Resolução CONAMA 396 menciona que para potabilidade é necessário que a quantidade de coliformes termotolerantes seja nula.

No que se refere à recreação, irrigação e dessedentação animal, não é possível estabelecer se as águas atendem ou não à legislação, uma vez que os resultados em certos poços, apesar de evidenciar a presença dessa variável microbiológica, mostrou-se abaixo do limite de detecção.

Os poços cujas amostras apresentaram traços de coliformes termotolerantes não possuem nenhuma correlação espacial, uma vez que ocorrem em inúmeras áreas do município de Linhares, evidenciando interferência antrópica, como por exemplo descarte indevido de esgoto sanitário. Dentre as áreas cita-se: centro urbano (poços 83 e 95); regiões rurais (poços 09 e 14), próximos ao curso do Rio Doce ou de seus afluentes (poços 03, 04,12 e também de seu delta (Poço 27), Figura 8.18.

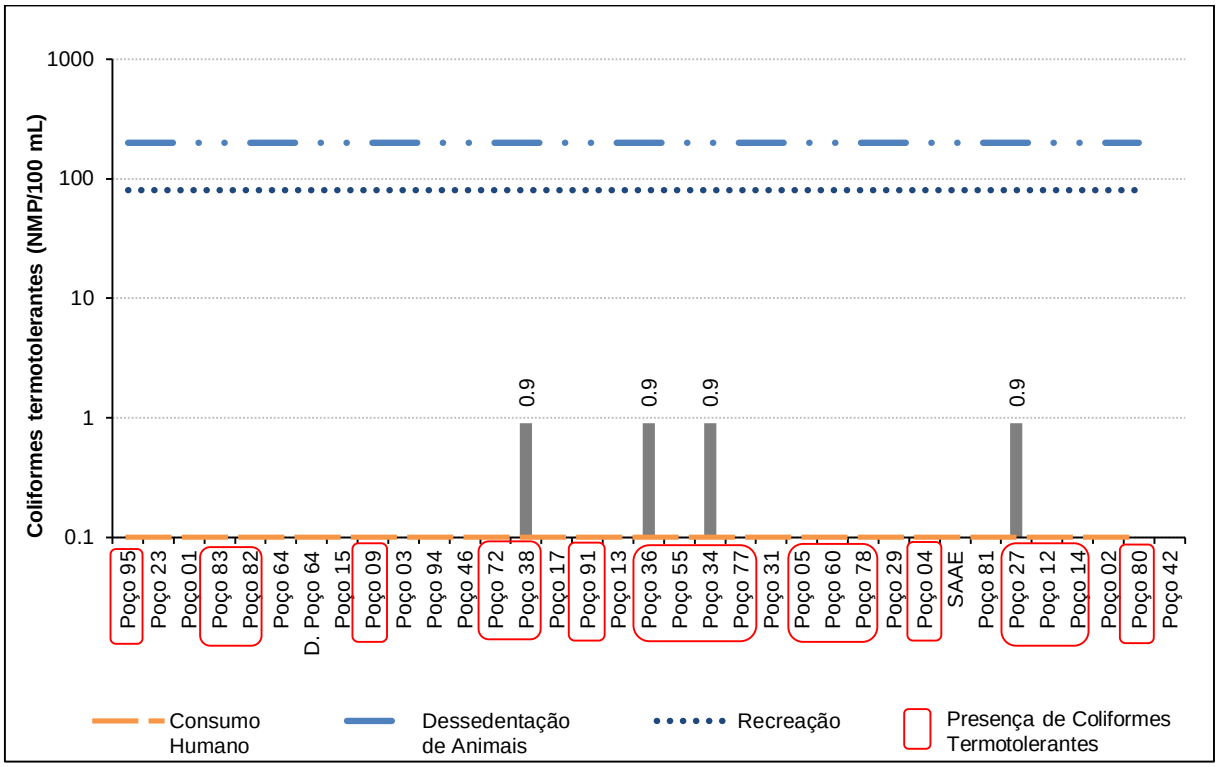


Figura 8.18: Concentração de coliformes termotolerantes nas amostras de água subterrânea analisadas.

8.3.10 Ferro total

Observando os valores de ferro dissolvido encontrados nesta campanha, identificam-se 16 amostras com concentrações superiores à norma 396/2008 do CONAMA, para consumo humano e recreação. Dessas, apenas seis amostras apresentaram também teores acima de 5,0 mg/L, valor máximo permitido para usos com irrigação (Figura 8.19).

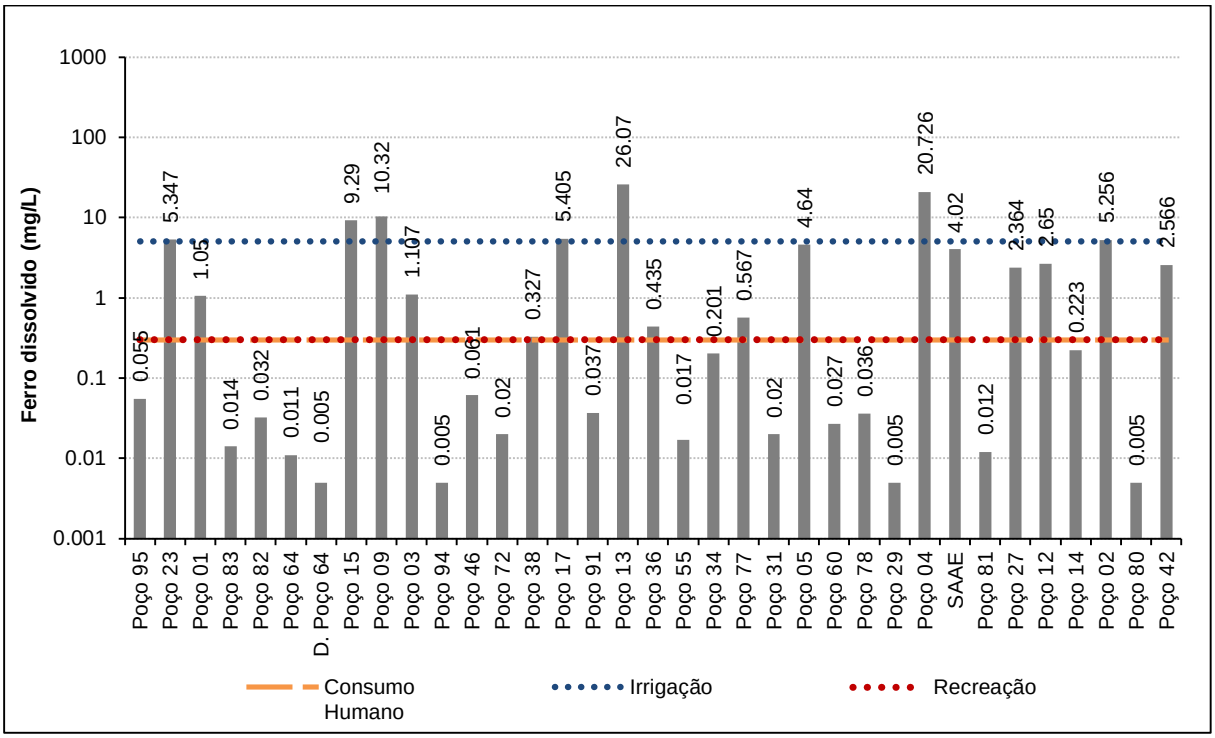


Figura 8.19: Concentração de ferro dissolvido nas amostras de água subterrânea analisadas.

As amostras do Poço 13 (002-64177-45) e Poço 04 (002-64182-81) apresentaram os maiores teores, 26,07 e 20,73 mg/L, respectivamente. Além destes dois poços, ressalta-se o teor muito elevado de ferro dissolvido nas águas dos poços 09 e 15, próximos de 10 mg/L e dos poços 05 e 17 com concentrações de 4,64 e 5,4 mg/L, respectivamente. Já o poço 55 bem a montante da área apresenta baixa concentração de 0,017 mg/L, assim como o poço 12 com 2,65 mg/L de Fe dissolvido.

Desta forma, verifica-se que os poços com maiores concentrações de ferro na região não ocorrem agrupados em uma única zona do terreno. O poço 13, com os maiores teores de ferro, localiza-se próximo ao curso do Rio Doce, à jusante da cidade de Linhares. O poço 15 apresenta localização semelhante, porém situa-se mais próximo do centro urbano. Já, o poço 4, cujos teores também superaram 20 mg/L, está alocado em região de cordão litorâneo, próximo à linha de costa e também ao delta do Rio Doce. Os poços 09 e 17 são os mais distantes e isolados do rio Doce.

De acordo com as análises de ferro dos poços cadastrados pela CPRM, as maiores concentrações obtidas foram de 4,90 mg/L (Poço LIN-102) e de 2,46 mg/L (Poço LIN-3A), cuja localizações são, respectivamente, nas proximidades da cidade de

Linhares (próximo ao poço 23) e a montante da mesma (15 km ao sul do poço 94, que é o poço amostrado mais próximo).

Portanto, é notável que caso haja uma contaminação do aquífero pelas concentrações elevadas de ferro, esta ocorre de forma pontual e isolada, o que, por sua vez, descaracteriza o efeito da pluma de contaminação em função do carreamento dos rejeitos da mineração ao longo do rio Doce.

8.3.11 **Manganês total**

As análises de manganês total evidenciaram teores superiores aos limites CONAMA 396/2008, para dessedentação animal, em 16 amostras, sendo que 14 destas encontram-se impróprias para consumo humano e recreação, cujos limites estabelecidos são de 0,1 mg/L e apenas 8, estão acima dos valores máximos permitidos para irrigação (Figura 8.20). As outras duas superam os 0,05 mg/L, limite para uso com dessedentação de animais, porém não ultrapassam 0,1 mg/L.

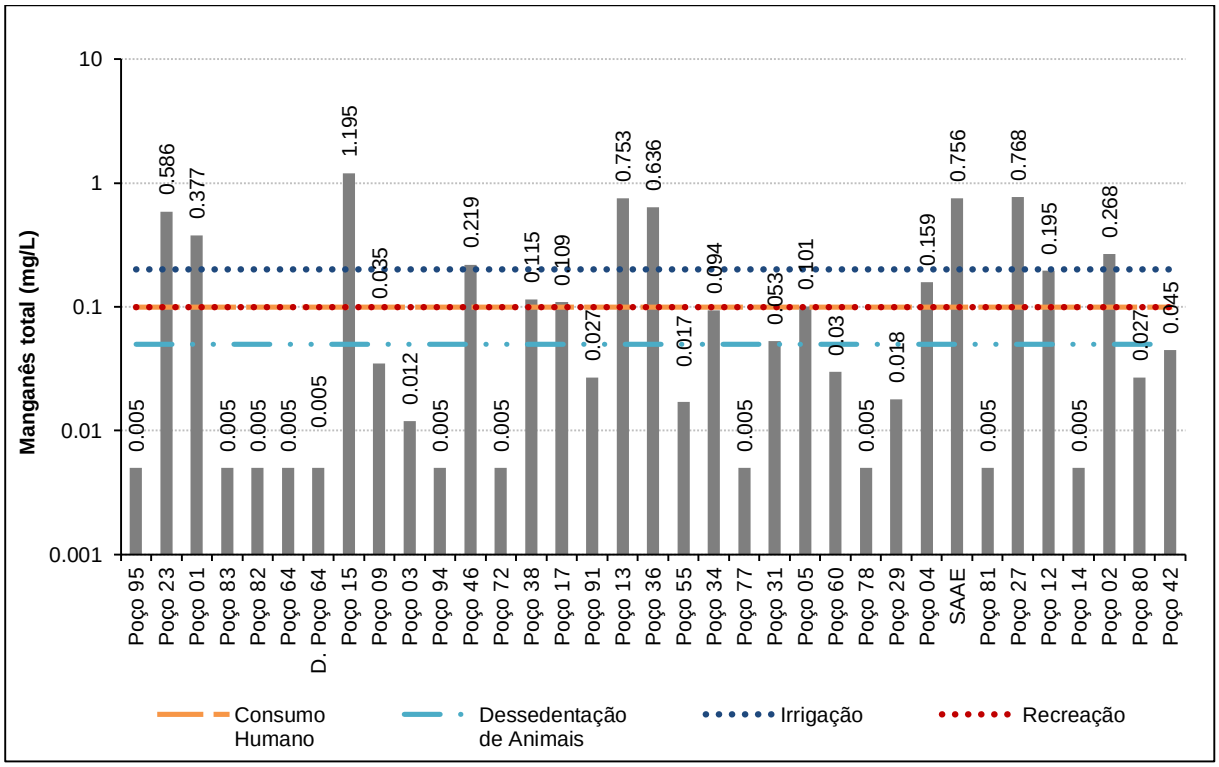


Figura 8.20: Concentração de manganês total nas amostras de água subterrânea analisadas.

Em geral, os teores elevados de manganês acompanham os teores de ferro (MOURÃO et al. 2002). Pode ser ainda que a origem desse metal esteja associada à ocorrência de colóides de manganês dissolvidos na água subterrânea, em partes, relacionados a problemas construtivos ou até de manutenção nos poços. Essa correlação pode ser corroborada pelos resultados das análises químicas, que mostraram teores elevados para ambos os elementos em 13 amostras (Poços, 01,02, 04, 05, 12, 13, 15, 17, 27, 36, 37, 38 e SAAE). Logo, apenas três amostras com concentrações altas de Mn, em relação à norma, não apresentaram altas concentrações relativas de ferro (Poços 31, 34 e 46).

Os maiores teores de manganês total foram encontrados nas amostras 002-64166-1 (Poço 15), com 1,195 mg/L; 002-64161-71 (Poço 27) com 0,768 mg/L; 002-64181-1 (Poço SAAE) com teor de 0,756 mg/L e 002-64177-45 (Poço 13) apresentando 0,753 mg/L. Os poços 13 e 15 apresentam os maiores teores de ferro e manganês combinados.

Em relação aos resultados de manganês amostrados pela CPRM, as maiores concentrações foram de 0,21 mg/L no poço CPRM LIN-229, localizado na zona urbana de Linhares, entre os poços 81 e 82, e de 0,10 mg/L no poço CPRM LIN-45, a montante do poço 77, em aproximadamente 7 km. No entanto, o resultado analítico de Mn destes poços citados e cadastrados pela MDGEO foram todos abaixo do limite de quantificação do método. Neste contexto, assim como no caso do ferro, a ocorrência de concentrações relevantes de Mn acontece de forma descontinua e pontual, podendo estar relacionada com eventos do próprio local amostrado.

8.4 BALANÇO IÔNICO

Em uma análise hidroquímica completa, a concentração total de íons positivos (cátions) deve ser aproximadamente igual à concentração de íons negativos (ânions). O desvio percentual dessa igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise que, por sua vez, é válido para verificar a qualidade dos resultados obtidos em laboratório.

Existem duas técnicas para o cálculo do erro prático máximo do balanço iônico das amostras. Segundo Custódio e Llamas (CUSTODIO & LLAMAS, 1976), o erro

teórico é o erro prático máximo permitido considerando a condutividade elétrica (C.E.), conforme mostra a Tabela 8.9.

Tabela 8.9: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Custodio e Llamas (1976).

CLASSIFICAÇÃO DE CUSTODIO E LLAMAS (1976)					
C.E.	50	200	500	2000	>2000
% Erro permitido	30	10	8	4.00	<4

Já, de acordo com Logan (LOGAN, 1965), a definição do erro máximo admissível considera somente a soma dos ânions ou então dos cátions, tal como mostra Tabela 8.10.

Tabela 8.10: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Logan (1965).

CLASSIFICAÇÃO DE LOGAN (1965)							
∑cátion ou ∑ ânions	< 1	1	2	6	10	30	> 30
% Erro permitido	15	10	6	4	3	2	1

Aplicando-se as duas metodologias acima nos pontos subterrâneos, observa-se que apenas sete amostras se apresentaram balanceadas, sendo a amostra do poço 15, a que obteve os melhores resultados em ambos os métodos. As outras amostras cujo erro foi menor que o erro admitido pelos autores são referentes ao poços 01, 04, 05, 09, 36 e 91 (Tabela 8.11). Tal alteração pode estar associada às causas naturais advindas da formação geológica, às causas antrópicas, relacionadas a indícios de contaminação, ao fato da análise contemplar apenas parâmetros totais ou ainda, a erros do próprio laboratório.

Vale ressaltar que no presente trabalho, o valor do erro prático foi obtido através do balanço entre os íons fundamentais (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, Cl^{-}, SO_4^{-}) apresentados em miliequivalentes (meq/L).

Tabela 8.11: Resultados do balanço iônico das amostras de água subterrânea e o erro associado.

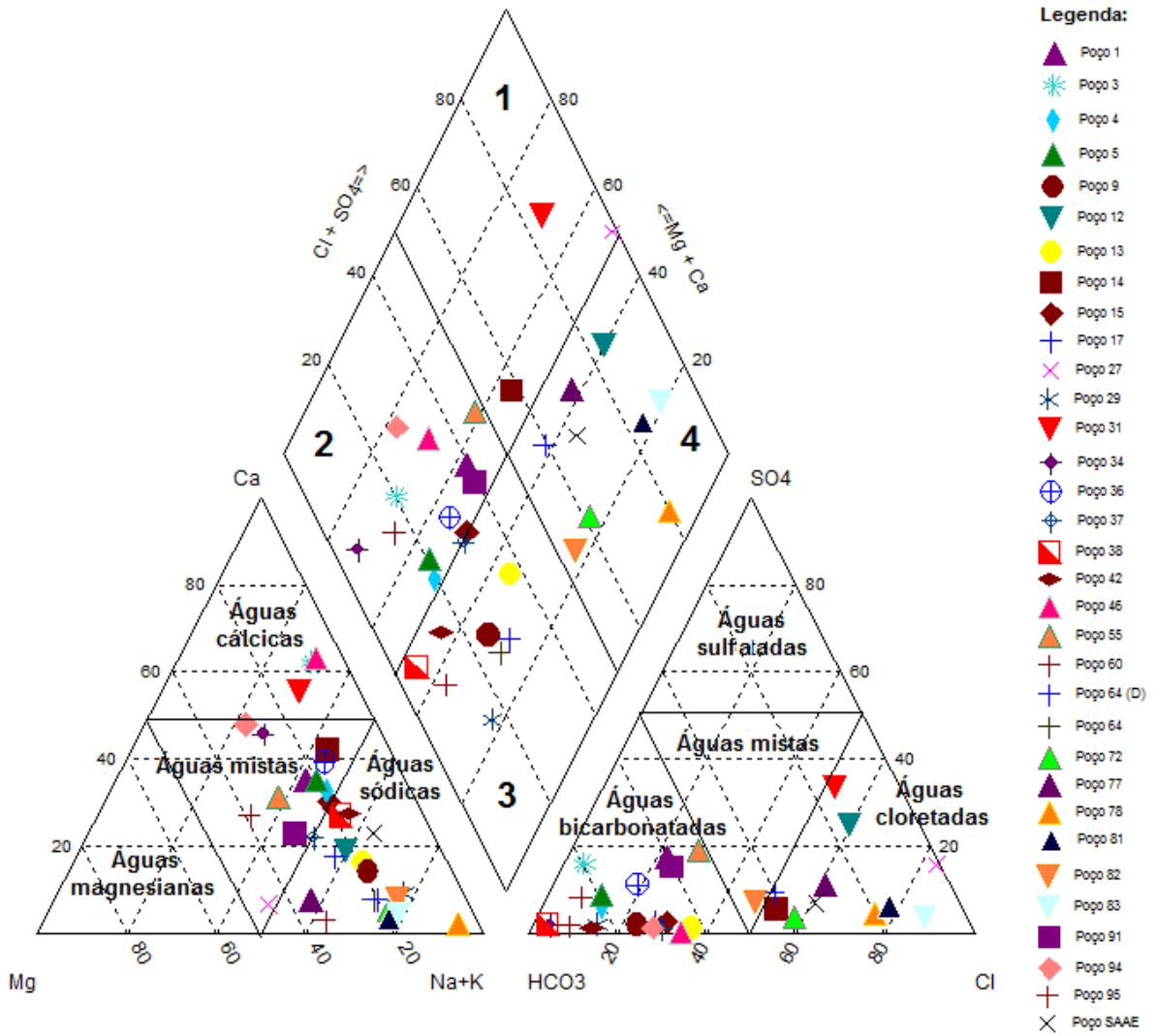
PONTO	REFERÊNCIA DA AMOSTRA	Na+K	Ca	Mg	Cl	CO_3+HCO_3	SO_4	∑ CÁTIONS	∑ ÂNIONS	C.E.	CUSTÓDIO E LLAMAS (1976)	LOGAN (1965)	OBS
		meq/L								µS/cm	% ERRO PRÁTICO		
Poço 01	002-64183-75	0.70	0.59	0.37	0.424	1.14	0.33	1.66	1.8965	177	13.09	6.55	Balanceado
Poço 03	002-64169-39	0.27	0.55	0.067	0.056	1.04	0.21	0.88	1.30068	120	38.90	19.45	Não balanceado
Poço 04	002-64182-81	0.34	0.23	0.133	0.085	0.52	0.04	0.71	0.64434	134	9.78	4.89	Balanceado
Poço 05	002-64183-63	0.42	0.33	0.188	0.141	0.93	0.1	0.95	1.17767	131	21.85	10.93	Balanceado
Poço 09	002-64183-64	0.56	0.12	0.158	0.226	0.73	0.02	0.84	0.97192	118	14.14	7.07	Balanceado
Poço 12	002-64183-76	0.36	0.12	0.129	0.198	0.05	0.08	0.60	0.33287	67	57.84	28.92	Não balanceado
Poço 13	002-64177-45	0.72	0.18	0.208	0.593	1.04	0.02	1.11	1.6499	224	39.19	19.59	Não balanceado
Poço 14	002-64170-92	0.36	0.35	0.114	0.791	0.62	0.08	0.83	1.4958	190	57.34	28.67	Não balanceado
Poço 15	002-64166-1	0.38	0.23	0.149	0.226	0.52	0.02	0.76	0.76475	115	0.64	0.32	Balanceado
Poço 17	002-64174-44	0.54	0.17	0.23	0.65	0.52	0.13	0.94	1.29264	120	31.69	15.85	Não balanceado
Poço 27	002-64161-71	71.87	10	66.9	195.5	1.86	36.9	148.78	234.318	35690	44.65	22.33	Não balanceado
Poço 29	002-64176-43	0.41	0.05	0.071	0.141	0.83	0.02	0.53	0.99076	63	61.00	30.50	Não balanceado
Poço 31	002-64163-44	0.60	1.09	0.263	0.734	0.21	0.48	1.95	1.4208	252	31.23	15.61	Não balanceado
Poço 34	002-64162-17	0.51	0.84	0.485	0.113	2.8	0.06	1.84	2.97229	212	47.04	23.52	Não balanceado
Poço 36	002-64162-18	0.34	0.3	0.121	0.141	0.52	0.08	0.76	0.7425	85	2.60	1.30	Balanceado
Poço 37	002-64177-44	0.93	0.41	0.497	0.48	1.14	0.02	1.84	1.64049	217	11.20	5.60	Não balanceado
Poço 38	002-64161-69	0.32	0.16	0.109	0.028	0.83	0.02	0.59	0.87776	80	38.83	19.41	Não balanceado
Poço 42	002-64176-44	0.48	0.24	0.14	0.198	1.24	0.02	0.85	1.46159	99	52.83	26.41	Não balanceado
Poço 46	002-64163-43	1.11	2.29	0.216	1.61	3.11	0.02	3.61	4.73855	456	27.00	13.50	Não balanceado
Poço 55	002-64175-47	0.59	0.49	0.467	0.339	0.62	0.23	1.54	1.18966	157	25.75	12.87	Não balanceado
Poço 60	002-64166-2	0.30	0.02	0.159	0.085	0.93	0.02	0.47	1.03784	73	75.30	37.65	Não balanceado
Poço 64	002-64175-46	0.31	0.03	0.089	0.198	0.62	0.02	0.43	0.84008	56	64.43	32.22	Não balanceado
Poço 72	002-64174-45	0.33	0.02	0.081	0.311	0.21	0.02	0.44	0.53874	58	20.96	10.48	Não balanceado
Poço 77	002-64169-16	0.44	0.06	0.267	0.113	0.05	0.02	0.77	0.18562	123	122.00	61.00	Não balanceado
Poço 78	002-64170-88	3.44	0.09	0.168	2.345	0.62	0.15	3.70	3.11198	439	17.14	8.57	Não balanceado
Poço 81	002-64177-105	0.46	0.02	0.115	0.254	0.05	0.02	0.59	0.32686	87	57.71	28.86	Não balanceado
Poço 82	002-64170-87	1.43	0.15	0.286	0.537	0.52	0.08	1.86	1.13798	343	48.27	24.13	Não balanceado
Poço 83	002-64169-15	0.92	0.05	0.198	0.48	0.05	0.02	1.17	0.55285	216	71.53	35.77	Não balanceado
Poço 91	002-64167-44	0.35	0.17	0.235	0.169	0.41	0.1	0.76	0.688	95	10.30	5.15	Balanceado
Poço 94	002-64167-43	0.5287	1.13	0.685	0.395	1.04	0.02	2.34	1.45216	291	46.78	23.39	Não balanceado
Poço 95	002-64170-147	0.3735	0.3	0.423	0.056	0.62	0.06	1.10	0.74051	126	38.67	19.34	Não balanceado

PONTO	REFERÊNCIA DA AMOSTRA	Na+K	Ca	Mg	Cl	CO_3+HCO_3	SO_4	∑ CÁTIONS	∑ ÂNIONS	C.E.	CUSTÓDIO E LLAMAS (1976)	LOGAN (1965)	OBS
		meq/L								µS/cm	% ERRO PRÁTICO		
Poço SAAE	002-64181-1	1.6504	0.6	0.342	0.706	0.37	0.08	2.59	1.16245	299	76.23	38.12	Não balanceado

8.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Após a verificação dos resultados analíticos, foram construídos: Diagrama Triangular de *Piper-Hill-Langelier*, Diagrama de *Stiff* e Diagrama de *Schoeller Berkaloff*. Para a elaboração desses, por meio do *software AquaChem* 2011.1, foram considerados apenas os íons maiores (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{-}) como referência para classificação.

O Diagrama Triangular de *Piper-Hill-Langelier* (Figura 8.21) é utilizado para classificar os distintos grupos das águas, separando-os nos campos de domínio dos cátions e ânions e no losango os principais tipos hidroquímicos.



1 - Águas sulfatadas ou cloretadas, cálcicas ou magnesianas. 2 – Águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. 3 – Águas bicarbonatadas sódicas. 4 – Águas sulfatadas ou cloretadas sódicas.

Figura 8.21: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas analisadas na campanha.

De acordo com o diagrama, nota-se que as águas amostradas se encaixam em campos distintos, apresentando um padrão bastante heterogêneo composicionalmente.

Na classificação de Piper, para os ânions, 21 amostras foram consideradas predominantemente bicarbonatadas, 12 cloretadas e apenas 1 que apresenta a concentração de sulfato, que no caso é o Poço 31, entretanto é predominantemente Cl. A classificação em relação aos cátions se deu por 8 amostras de composição majoritariamente cálcica, 6 apresentam Ca, Na e Mg. Outras tem só Ca e Na, que no caso são 9. Já 7 tem apenas Na, outras 6 Na + Mg e 1 Mg e Ca e. Dito isso, a maioria das amostras se encaixa na classe bicarbonatada mista (HCO_3+Mg+Ca+Na+K) e bicarbonatada sódica.

A classe de menor expressão no campo amostral foi a de águas sulfatadas ou cloretadas, cálcicas ou magnesianas, representando 9,1% com três amostras. As outras três classes ocorreram de forma mais homogênea entre si; águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas representam 33,3% do total, com 11 amostras, águas bicarbonatadas sódicas ocupam 30,3% do campo amostral com 10 amostras e águas sulfatadas ou cloretadas sódicas perfazem 27,3% das amostras, com nove indivíduos no campo amostral (Tabela 8.12).

Tabela 8.12: Classificação de Piper para as águas subterrâneas analisadas na campanha.

CLASSIFICAÇÃO DE PIPER					
AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO	SULFATADAS OU CLORETADAS, CÁLCICAS OU MAGNESIANAS	BICARBONATADAS CÁLCICAS OU MAGNESIANAS	BICARBONATADAS SÓDICAS	SULFATADAS OU CLORETADAS SÓDICAS
Poço 01	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl		X		
Poço 03	Ca-HCO_3		X		
Poço 04	Na-Ca-HCO_3		X		
Poço 05	Na-Ca-HCO_3		X		
Poço 09	Na-HCO_3-Cl			X	
Poço 12	Na-Mg-Ca-Cl				X
Poço 13	Na-HCO_3-Cl			X	
Poço 14	Ca-Na-Cl-HCO_3	X			
Poço 15	Na-Ca-HCO_3-Cl			X	
Poço 17	Na-Mg-Cl-HCO_3				X
Poço 27	Mg-Na-Cl	X			
Poço 29	Na-HCO_3			X	
Poço 31	Ca-Na-Cl-SO_4	X			
Poço 34	Ca-Mg-HCO_3		X		
Poço 36	Na-Ca-HCO_3		X		
Poço 37	Na-Mg-Ca-HCO_3-Cl			X	
Poço 38	Na-Ca-HCO_3			X	
Poço 42	Na-Ca-HCO_3			X	
Poço 46	Ca-Na-HCO_3-Cl		X		
Poço 55	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl		X		
Poço 60	Na-Mg-HCO_3			X	
Poço 64	Na-HCO_3-Cl			X	

Poço 64 (D)	Na-HCO_3-Cl			X	
Poço 72	Na-Cl-HCO_3				X
Poço 77	Na-Mg-Cl				X
Poço 78	Na-Cl				X
Poço 81	Na-Mg-Cl				X
Poço 82	Na-Cl-HCO_3				X
Poço 83	Na-Mg-Cl				X
Poço 91	Na-Mg-Ca-HCO_3-Cl		X		
Poço 94	Ca-Mg-Na-HCO_3-Cl		X		
Poço 95	Mg-Ca-Na-HCO_3		X		
Poço SAAE	Na-Ca-Cl				X

Para análise espacial da concentração dos principais cátions e ânions em cada amostra, os Diagramas de *Stiff* são bastante úteis, uma vez que facilitam a identificação de águas da mesma família, de acordo com as figuras geométricas formadas. Desta forma, as figuras Figura 8.25 Figura 8.22, Figura 8.23 e Figura 8.24 ilustram estes diagramas por pontos.

Figura 8.22: Diagramas de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 1 até 37.

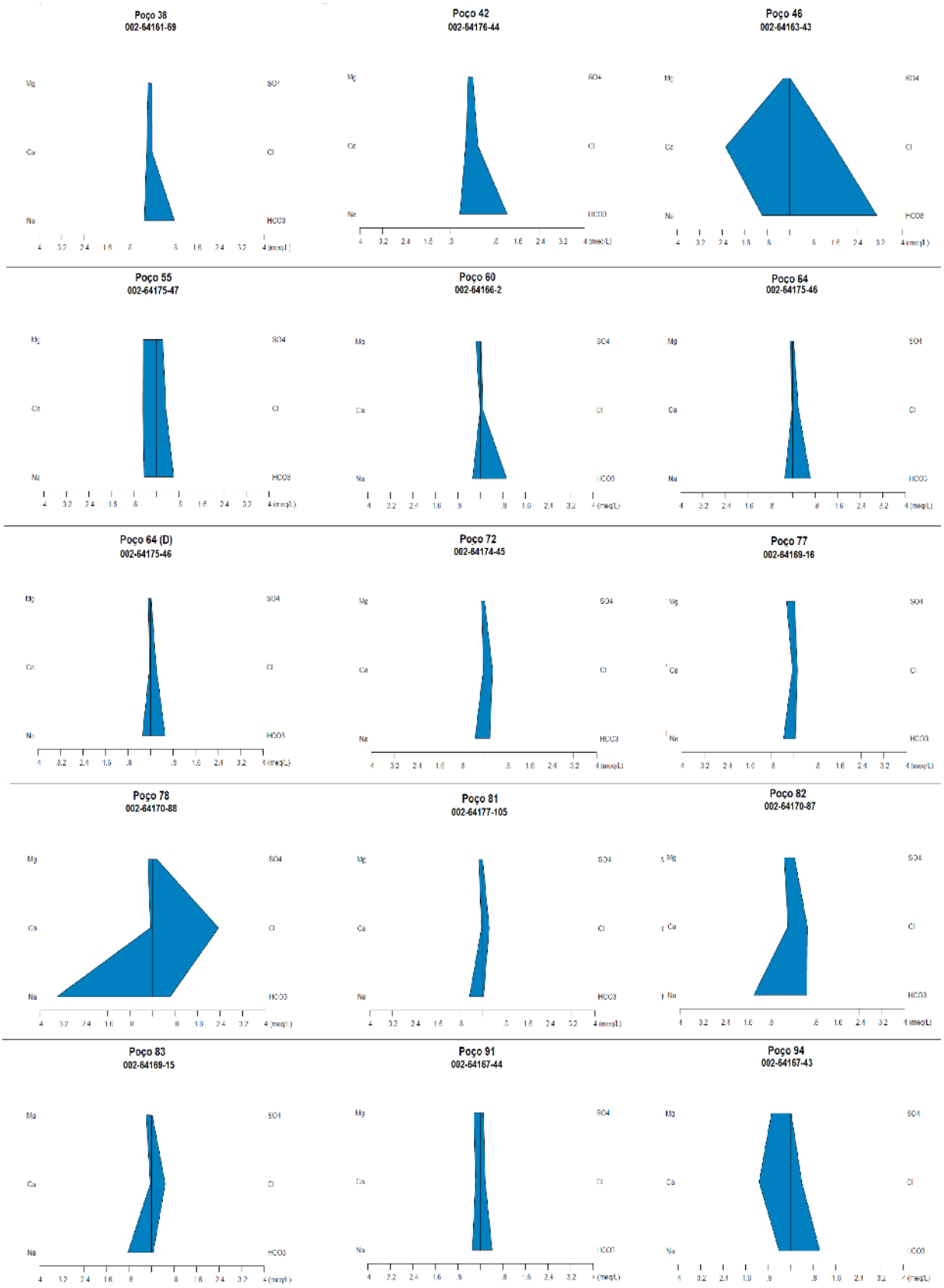


Figura 8.23: Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 38 a 94.

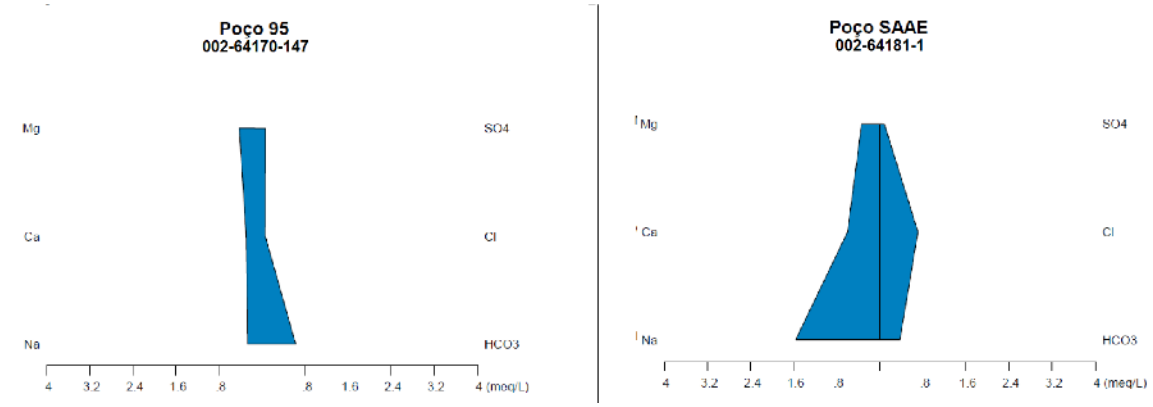


Figura 8.24:Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 95 e SAAE.

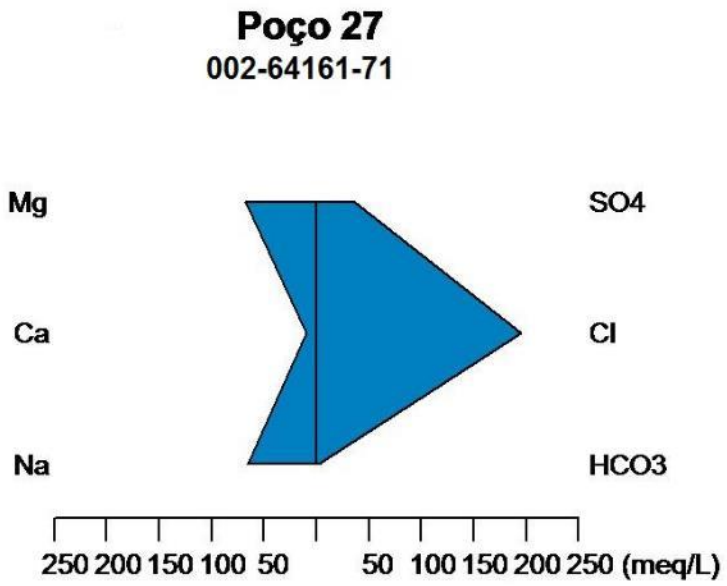


Figura 8.25: Diagrama de Stiff para a amostra do Poço 27.

Observa-se que os diagramas mais largos representam as amostras mais mineralizadas e os diagramas mais estreitos representam as amostras menos mineralizadas. De modo geral, a maior parte dos pontos analisados apresenta conteúdo iônico intermediário. As amostras dos poços 27, 78 e SAAE (Poço-02) se apresentam como as mais salinas. Observando o mapa da Figura 8.26, é possível verificar que as águas mais mineralizadas estão localizadas a leste e são mais próximas ao oceano.

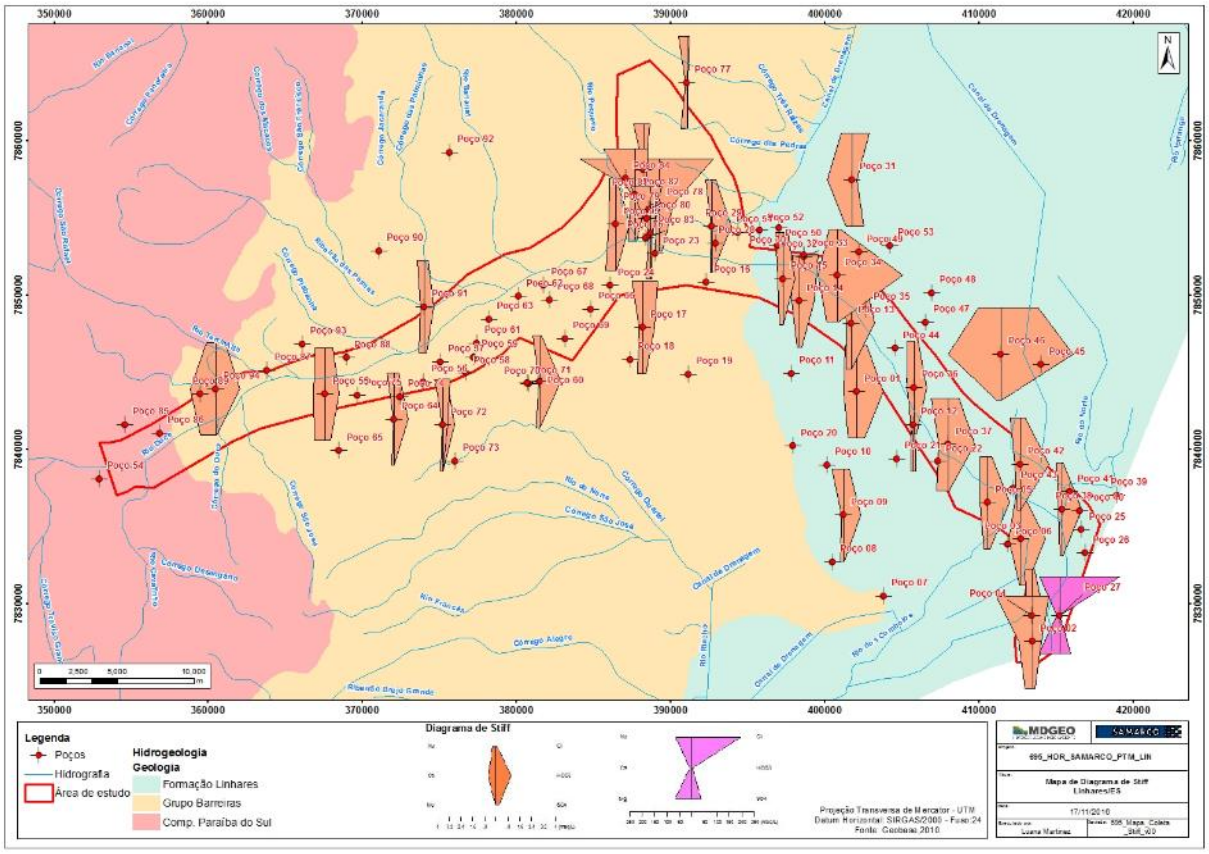


Figura 8.26: Mapa de distribuição dos Diagramas de Stiffem relação a Geologia

O poço 27 caracteriza um caso particular, cujas águas encontram-se muito mineralizadas, indicando contaminação pela entrada da cunha salina na região do aquífero onde está alocado. Devido a esta alta concentração iônica, no Diagrama de Stiff para este ponto, especialmente, definiu-se outra escala. As concentrações iônicas são as mais elevadas de todo o campo amostral para todos os cátions e ânions, mas especialmente para o ânion cloreto, que atinge 250 meq/L (Figura 8.25).

Para representar e observar a variação entre os íons associados e distinguir famílias de águas em mesmo padrão, o Diagrama de *Schoeller-Berkaloff* (Figura 8.27) é o mais recomendado. São colunas verticais em escala logarítmica onde são traçadas linhas unindo os pontos que representam os valores dos cátions e ânions (em meq/L).

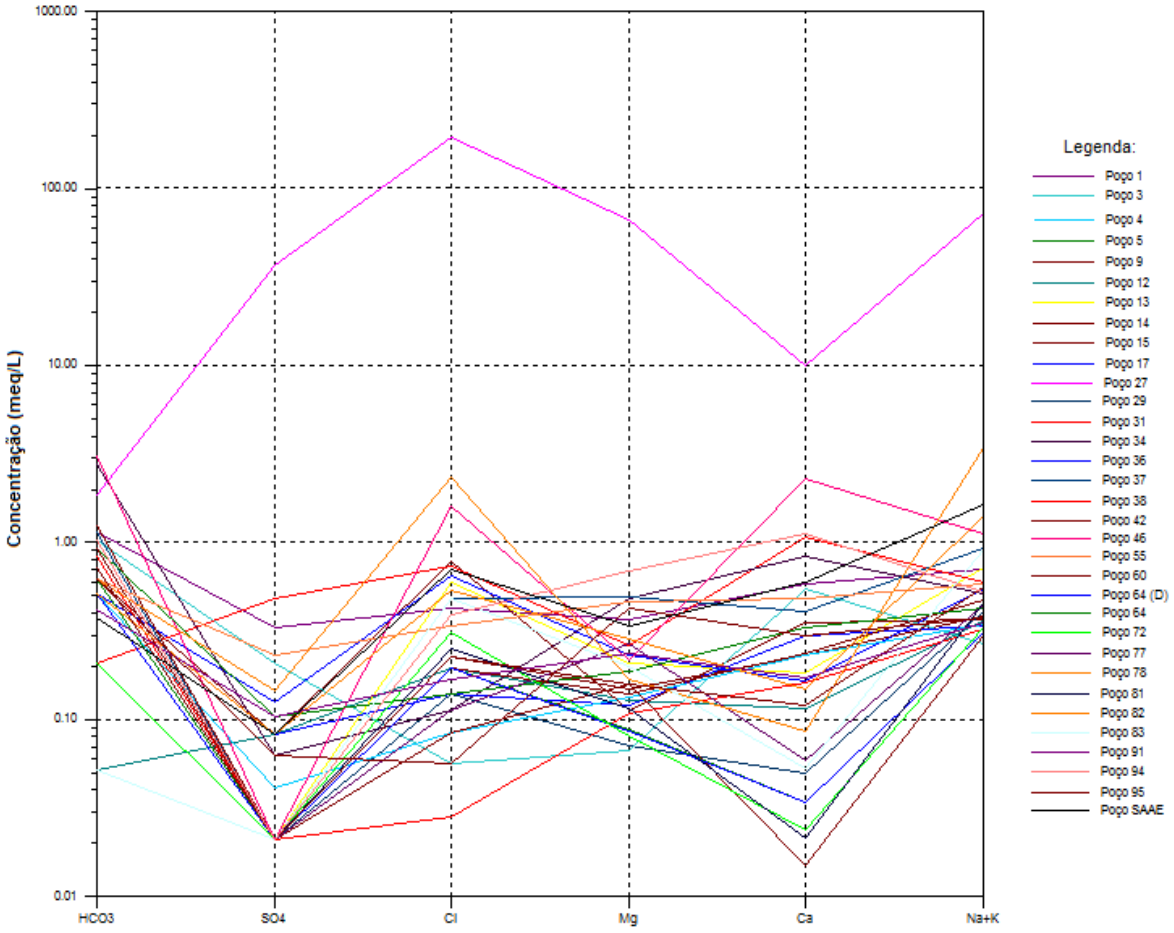


Figura 8.27: Diagrama de Schoeller para as águas subterrâneas analisadas na campanha.

De acordo com o Diagrama de Schoeller-Berkaloff ilustrado acima (Figura 8.27), é notável que o cátion cálcio das amostras seja apresenta maior amplitude em suas concentrações, em contrapartida, os resultados de magnésio, sódio e potássio registram menor variação,.

Em relação aos ânions, os mais variáveis em termos de concentrações são o cloreto e sulfato, enquanto que bicarbonatos são os resultados mais simulares entre os pontos.

O Poço 27 não foi levado em consideração na comparação iônica entre as amostras, por apresentar resultados discrepantes e não correlacionáveis às concentrações das demais amostras.

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

O modelo hidrogeológico conceitual consiste em uma representação das condições de circulação e armazenamento das águas subterrâneas desde a infiltração no solo até a descarga em surgências e demais estruturas. O propósito de se elaborar um modelo hidrogeológico conceitual é permitir futuras avaliações e prognósticos do comportamento do fluxo e potencial hídrico dos sistemas aquíferos em questão.

9.1 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

De maneira geral, o comportamento dos sistemas hidrogeológicos está relacionado com a composição litológica das formações constituintes, condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas e a geometria de seus respectivos litotipos. De acordo com a variação dessas propriedades as formações geológicas podem ser classificadas em diferentes tipos de sistemas aquíferos.

A seguir será apresentada uma breve revisão sobre tipos de sistemas aquíferos, segundo Custodio e Llamas (CUSTODIO & LLAMAS, 1976), e como as rochas descritas para a região de estudo se comportam quanto ao seu potencial para o armazenamento e a circulação da água subterrânea.

9.1.1 Aquífero

Denomina-se por aquífero aquele estrato ou formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a explotação desta em quantidades economicamente viáveis. Vale ressaltar que o conceito de aquífero está diretamente relacionado à necessidade local, sendo que um aquífero considerado pobre em uma região pode ser considerado como um aquífero razoável em outra.

A água contida em uma formação geológica qualquer pode estar ocupando tanto vazios intergranulares (porosidade primária/granular) como também pode estar ocupando espaços vazios relacionados a falhas, fraturas, diáclases e fissuras (porosidade secundária/fissural). Existem também os aquíferos cársticos, normalmente caracterizados por redes de condutos subterrâneos formados pela dissolução de

rochas, principalmente carbonáticas, que também configuram porosidade secundária, entretanto eles não são observados na área de estudo.

Em relação ao confinamento, pode-se dizer que aquíferos livres são aqueles no qual existe uma superfície livre de água que está em contato direto com o ar, portanto sob pressão atmosférica. Já, aquíferos confinados, a água contida em seu interior está submetida à certa pressão, superior a atmosférica, e ocupa a totalidade dos poros e vazios da formação, saturando-a totalmente. Os aquíferos confinados possuem uma superfície piezométrica ideal, que pode materializar-se considerando todos os níveis que alcançaria a água em poços distribuídos pelo aquífero. Uma variação dos aquíferos confinados constitui os aquíferos denominados semi-confinados, nos quais a camada superior ou inferior que os confine seja um aquitardo, ou seja, um material que permita a circulação vertical da água, muito lenta, que alimente um aquífero a partir de outro situado acima ou abaixo.

9.1.2 Aquitardo

O termo aquitardo faz referência a formações geológicas que, mesmo contendo água em seu interior a transmite muito lentamente. Entretanto, estas formações podem permitir, de maneira lenta, uma recarga ou drenagem vertical de outros aquíferos adjacentes.

9.1.3 Aquiclude

Um aquiclude trata-se de uma formação que mesmo contendo água em seu interior, inclusive até a saturação, não a transmite impossibilitando sua explotação.

9.1.4 Aquifugo

Denomina-se aquifugo aquelas formações geológicas que não contêm água, e portando não a podem transmitir. Podemos classificar como aquifugo aquelas rochas compactas desprovidas de porosidade e que não possuam fraturas ou falhas que permitam o armazenamento e a circulação de água.

9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Com base na geologia descrita é possível definir dois sistemas aquíferos distintos para a região de Linhares (Figura 9.1): o aquífero fraturado, representado pelas rochas do embasamento, e o aquífero granular que compreende sedimentos terciários da Formação Barreiras e quaternários da Formação Linhares. Esse último corresponde à unidade aquífera predominante na área de estudo e por isso será descrito a seguir.

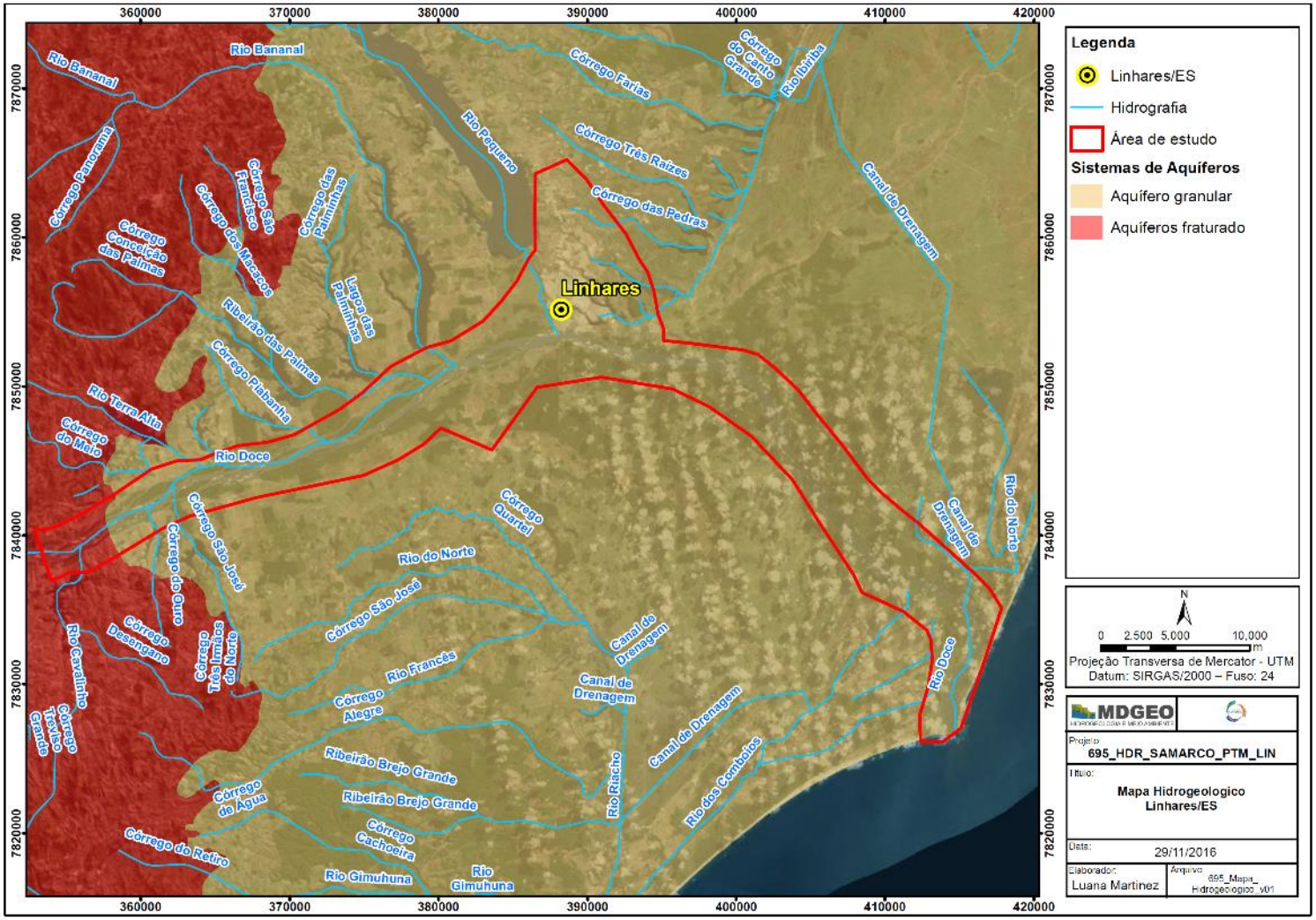


Figura 9.1: Mapa hidrogeológico da região de estudo. Linhares-ES.

O aquífero granular é representado pelos arenitos da Formação Barreiras, onde a água está contida nos espaços intergranulares dos sedimentos areno-síltico-argiloso de granulometria que varia desde argila até grânulos, conferindo certa heterogeneidade litológica ao sistema sedimentar. Esse sistema aquífero é do tipo livre, embora, localmente possa ocorrer certo grau de semi-confinamento, devido às intercalações de estratos menos permeáveis e de composição mais argilosa.

A recarga dos sistemas granulares ocorre pela infiltração das águas pluviais, principalmente em áreas onde a camada é mais espessa e o escoamento superficial se dá de forma mais lenta. Já, a descarga natural do aquífero ocorre nas nascentes, lagoas, córregos e/ou rios mais próximos, pela evapotranspiração e pela infiltração para os aquíferos adjacentes, como, por exemplo, o embasamento cristalino, quando o mesmo se encontra fraturado. Os poços de bombeamento também representam importantes pontos de descarga, entretanto, artificiais.

É um sistema importante do ponto de vista do aproveitamento hídrico, por ser constituído de material fácil de escavar ou perfurar, e também no processo da recarga de aquíferos subjacentes através da infiltração vertical.

9.3 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

Segundo TINTORI (TINTORI, 2010), testes de produção efetuados em poços tubulares perfurados no aquífero da Formação Barreiras, na zona costeira do Espírito Santo e sul da Bahia, indicaram valores médios de vazão específica igual a 0,579 l/s, com máximo de 12,2 l/s e mínimo de 0,009 l/s. De acordo com o autor, a transmissividade também registrou valores bastante variáveis, com média de 78 m²/dia. Tais variações indicam a grande heterogeneidade do aquífero.

9.4 FLUXO D'ÁGUA SUBTERRÂNEO

9.4.1 Condições de fluxo subterrâneo

De acordo com as unidades hidrogeológicas descritas, pode-se considerar que na maior parte da área de estudo existe apenas um regime de fluxo de água subterrânea, sendo ele subsuperficial. O regime de fluxo subsuperficial, associado aos depósitos cenozoicos das formações Linhares e Barreiras, ocorre por meio dos poros interconectados no pacote sedimentar.

9.4.2 Potenciometria

Com base nos dados obtidos durante a atividade de cadastro de poços realizada pela equipe da MDGEO, acrescidos das informações bibliográficas, foi possível estabelecer um mapa potenciométrico para a região de Linhares (Figura 9.2).

Portanto para análise do comportamento do fluxo d'água subterrâneo da região, utilizou-se as cotas de nível d'água dos poços cadastrados e das lagoas, associadas à água subterrânea. Em algumas áreas, a potenciometria foi inferida, devido à ausência de informações.

No mapa potenciométrico, as linhas equipotenciais, representativas da carga hidráulica na área de estudo, foram plotadas de 1 em 1 metro, entre as cotas 0 e 42 metros, orientadas, predominantemente, na direção SW-NE.

Nota-se que o fluxo subterrâneo, representado no mapa pelas setas verdes, ocorre preferencialmente de noroeste para sudeste, com tendência a convergir para o Rio Doce. Na porção sudoeste, é possível observar que o fluxo subterrâneo não apresenta direção preferencial para o Rio Doce, podendo ser explicado pela influência dos poços, que tendem a alterar a direção do fluxo diferença do gradiente hidráulico causado pelo bombeamento dos poços, dissipando o mesmo em outras direções.

A proximidade do mar também é um fator relevante no que se refere à mudança no sentido do fluxo, uma vez que, o mar passa a ser o principal ponto de descarga dos aquíferos. Podendo afirmar que a direção do fluxo regional, ocorre de acordo com a

topografia, e os principais pontos de descarga do aquífero são as lagoas, o Rio Doce, e o mar.

Visto isso, é possível afirmar que na região sudeste, que compreende grande parte das lagoas, consiste em uma importante estrutura de descarga do aquífero, antes que este desemboque no mar, uma vez que as lagoas correspondem às porções mais baixas, topograficamente, onde, mesmo em período de estiagem, ainda existe a interceptação do aquífero com o terreno.

Em relação à permeabilidade do sistema aquífero, pode-se notar que nas porções nordeste e sul da área, a água percola mais facilmente devido à maior permeabilidade, a qual é evidenciada pelo maior espaçamento entre as linhas potenciométricas. Nas porções noroeste e central da área, as linhas estão representadas com um menor espaçamento entre si, provavelmente em decorrência da redução de permeabilidade, o que resulta em na menor capacidade de transmissão da água subterrânea no meio.

A configuração do mapa potenciométrico pode variar ao longo do ano hidrológico, em função do período chuvoso ou de estiagem. Por isso, é importante ressaltar que o mapa da Figura 9.2 corresponde à potenciometria referente aos meses de junho e julho de 2016, que, de acordo com o item 4.1 deste relatório, associa-se ao período de menor índice pluviométrico (período seco).

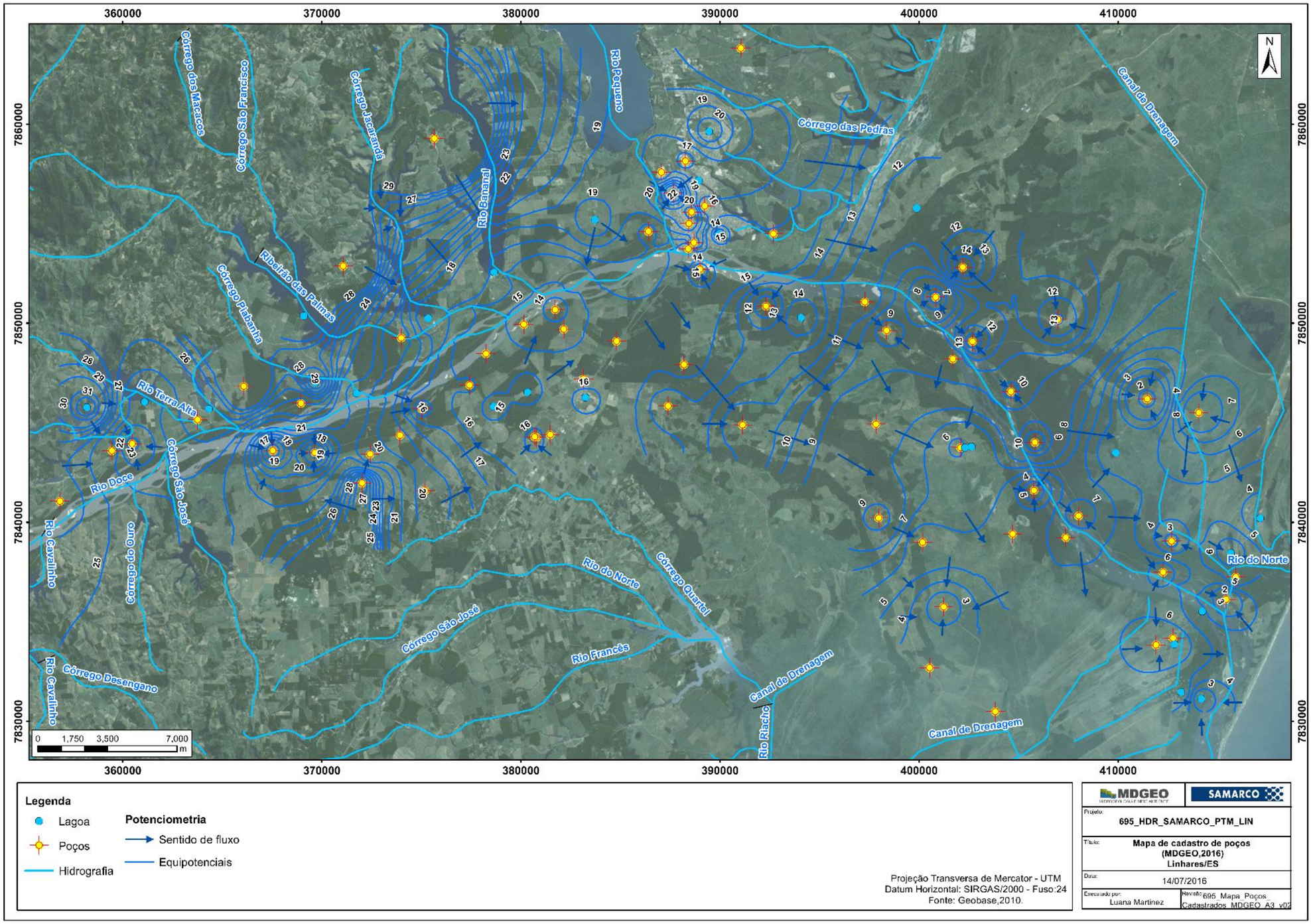


Figura 9.2: Mapa potenciométrico da região de Linhares.

10 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente relatório teve por objetivo a elaboração do mapa potenciométrico nas margens do Rio Doce, na região do Município de Linhares e distrito de Regência, Espirito Santo. Para determinar a dinâmica do fluxo subterrâneo foram realizadas as seguintes atividades: cadastramento dos poços e pontos d'águas, elaboração do modelo hidrogeológico conceitual, amostragem de água subterrânea validação e interpretação dos resultados da amostragem de água subterrânea na área de estudo.

No cadastro de pontos d'água, realizado entre os meses de junho e junho de 2016, a MDGEO identificou 95 poços, sendo esses de abastecimento, irrigação, cisternas e até poços paralisados, e 34 lagoas abastecidas por águas subterrâneas e/ou pluviais.

De posse das informações obtidas nesse cadastramento, acrescidas dos dados da compilação, foi possível definir as unidades hidrogeológicas e as condições de fluxo subterrâneo na região. Em relação ao fluxo, foi notado que este ocorre preferencialmente em direção ao Rio Doce, sendo, posteriormente, destinado ao oceano (oeste para leste). Localmente, em algumas porções, devido ao intenso bombeamento dos poços, verificou-se a convergência do fluxo em direção aos mesmos, ocasionando um rebaixamento local do nível de água.

Na sequência das atividades, foi realizada a amostragem de água subterrânea nos principais poços, determinados através da superfície potenciométrica. Para a validação dos resultados laboratoriais, foram calculados os erros práticos a partir das concentrações dos principais ânions e cátions presentes nas águas subterrâneas. Segundo as metodologias utilizadas, apenas algumas amostras apresentaram erros superiores aos valores máximos admissíveis, podendo estar associados às causas naturais advindas da formação geológica, às causas antrópicas relacionadas a indícios de contaminação, a erros laboratoriais ou ainda, ao fato das análises contemplarem apenas parâmetros totais, enquanto que para essa avaliação, faz-se necessário a utilização de parâmetros dissolvidos.

Para a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas foram elaborados os diagramas de *Piper*, *Stiff e Schoeller Berkaloff*. Correlacionando-os, foi possível verificar

que a maior maioria das águas amostradas apresentaram concentrações predominante dos ânions cloreto e bicarbonato e dos cátions sódio e cálcio. Apenas o Poço 27, registrou valores bastante anômalos em relação aos demais, possivelmente devido sua maior proximidade com a costa, indicando assim, a presença de uma pluma salina em direção do aquífero do continente.

Por fim, para avaliar a qualidade das amostras, os resultados analíticos foram também comparados aos valores máximos permitidos (VMPs) estabelecidos na Resolução CONAMA n°396, utilizada para águas subterrâneas para os usos preponderantes.

O Poço 27 registrou os mais elevados valores dentre os parâmetros avaliados, muitos deles excedendo os valores aceitáveis para potabilidade, como é o caso do alumínio, boro, cloreto, ferro, manganês, sódio e sulfato. Grande parte das amostras registraram valores elevados, discordantes à norma, de alumínio, ferro, manganês, além de coliformes termotolerantes.

No caso dos parâmetros inorgânicos que se apresentaram elevados, parte deles, como é o caso do alumínio, cloreto e sódio, possivelmente estão associados a própria geologia da área, devido à presença de sedimentos salinos, o avanço da cunha salina e o caráter ácido da formação. As concentrações de ferro e manganês, também aparentam ser frequentes na região de Linhares. Entretanto, para todos os parâmetros analisados, não se descarta a possibilidade de contaminação antrópica, seja associada ao uso de fertilizantes, a presença de industrias, a problemas construtivos e de manutenções nos poços e até mesmo a falta de saneamento básico, causa provável da grande presença de coliforme nas águas.

Ressalta-se que a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas é de suma importância em estudos hidrogeológicos, além de integrar uma obrigatoriedade dos estudos ambientais exigidos pelos órgãos competentes. Diante disso, caso seja de interesse da contratante, aconselha-se um diagnóstico mais detalhado dessas águas, contemplando isótopos ambientas e os parâmetros na forma total e dissolvida, em análises contínuas. Até o momento o estudo não apresentou nenhum contaminante nos poços oriundos do leito do Rio Doce devido ao deslocamento de lama da barragem do

Fundão. Porém, com um monitoramento frequente será possível realizar uma interpretação mais consistente dos dados.

11 BIBLIOGRAFIA

CELLIGOI. (1999). *CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. GEOGRAFIA. V. 8, N. 1, p. 91-97.* Londrina.

CETESB. (2009). *Qualidade das águas interriores no estado de São Paulo. Série Relatórios. Apêndice A. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e fos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.* São Paulo.

COSTA, W. D. (2002). *CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E PRESERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE-MG. SÃO PAULO, TESE DE DOUTORADO, IGC/USP.* São Paulo.

CPRM. (2010). *Projeto São Gabriel da Palha - Linhares - Estados do Espírito Santo e Minas Gerais.* Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil.

CUSTODIO, E., & LLAMAS, M. R. (1976). *HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA* (2 ed.). BARCELONA, ESPANHA: OMEGA.

FEITOSA, F. (Ed.). (2008). *HIDROGEOLOGIA: CONCEITOS E APLICAÇÕES* (3a ed.). RIO DE JANEIRO, BRASIL: CPRM: LABHID.

GARRELS, R. M., & CHRIST, C. L. (1965). *SOLUTIONS, MINERALS AND EQUILIBRIA. HARPER & ROW, LONDON, 450PP.*

IEMA. (2004). *Diagnóstico ambiental - Localização dos blocos ofertados na 6° rodada de licitações da Agência Nacional do Petróleo, em relação a áreas próximas ambientalmente sensíveis.* Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espirito Santo.

IICA, I. I. (Ed.). (2009). *MANUAL DE APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIO TÉCNICOS, PRODUTOS E CONSULTORIA* (1a ed.).

INCAPER. (2011). *Programa de assistência técnica e extensão rural PROATER - 2011-2013 - Linhares.* Instituto Capixaba de Pesquisa e Assistência Técnica e Extensão Rural.

LOGAN. (1965). *Interpretação das Análises Químicas da Água. US. Agency for International Development. .* Recife.

MOURÃO, M. A. (2012). *OS SISTEMAS AQUÍFEROS DO NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO: POTENCIAL DE EXPLOTAÇÃO E DIAGNÓSTICO ATUAL DE APROVEITAMENTO. 21p.*

Pereira, B., Cordeiro, V., & Filippo, M. d. (2012). *Modelo Relatório MDGEO.* MDGEO, Belo Horizonte.

SCOPEL, R. M., TEIXEIRA, E. C., & BINOTTO, R. B. (2005). *CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DE FUTURAS INSTALAÇÕES DE USINAS HIDRELÉTRICAS - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAQUARI-ANTAS/RS, BRASIL. QUÍM. NOVA, 28 (3): 383- 392.*

SILVA et al. (1987). *Folha SE.24 Rio Doce. Geologia - IBGE (Série Levantamento de Recursos Naturais, v.34).* Rio de Janeiro.

TINTORI. (2010). *Relatório de Pesquisa Geofísica - Prospecção de Água Subetrrânea - Método: Eletrorresistividade.* Linhares.

WEDEPOHL, K. H. (1978). *Handbook of geochemistry. Vol. II/2. Berlin/ Heidelberg/ Nova York, Springer.*

12 ANEXOS

ANEXO I - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201600000003093223

1. Responsável Técnico

ANTONIO CARLOS BERTACHINI

Título profissional: GEOLOGO;

RNP: 2605579352

Registro: 06.0.0000070902

Empresa contratada: MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA

Registro: 22580

2. Dados do Contrato

Contratante: SAMARCO MINERAÇÃO S/A — CNPJ: 16.628.281/0006-76
Logradouro: RODOVIA SOL — Nº: 000000
Complemento: S/N — Bairro: -
Cidade: ANCHIETA — UF: ES — CEP: 29230000
Contrato: 4500170624 — Celebrado em: 19/04/2016
Valor: 200.797,26 — Tipo de contratante: PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: RODOVIA SOL — Nº: 000000
Complemento: S/N — Bairro: -
Cidade: ANCHIETA — UF: ES — CEP: 29230000
Data de início: 19/04/2016 — Previsão de término: 18/09/2016
Finalidade: AMBIENTAL
Proprietário: SAMARCO MINERAÇÃO S/A — CNPJ: 16.628.281/0006-76

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	8.00	h/d
2 - EXECUÇÃO		
EXECUÇÃO DE INSTALAÇÃO, MINERAÇÃO, LEV:GEOFIS/GEOLOG/GEOQUI/GEOT/HIDRO (ESPECIFICAR)	8.00	h/d

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

ELABORAÇÃO DE MAPA POTENCIOMÉTRICO, PARA A REGIÃO DE LINHARES - ES.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SIND. DOS GEOLOGOS NO EST. DE MINAS GERAIS-SING

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo Horizonte de 22 novembro de 2016

ANTONIO CARLOS BERTACHINI — RNP: 2605579352

SAMARCO MINERAÇÃO S/A — CNPJ: 16.628.281/0006-76

9. Informações

- A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.
- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br
- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

VALOR DA OBRA: R$ R$200.797.26. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA,

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais
www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

Valor da ART: 195,96 — Registrada em: 04/05/2016 — Valor Pago: 195,96 — Nosso Número: 0000000003076546

ANEXO II - ARQUIVO FOTOGRÁFICO

ANEXO III – LAUDOS LABORATORIAIS

ANEXO IV – CADASTRO DOS POÇOS DO ESTADO ESPÍRITO SANTO (CPRM, SIAGAS)

RELATÓRIO G

FUNDAÇÃO renova

reparar, restaurar, reconstruir

RELATÓRIO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO DE DEGREDO, LINHARES/ES

MAIO DE 2020

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Título do Projeto:	ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO DE DEGREDO, LINHARES– ES.
Contrato:	PEDIDO Nº 4800015316 – OS-02
Vigência Contrato:	30/12/2020
Centro de Custo:	982
Local:	Rio Doce/MG

DADOS DA CONTRATANTE

Contratante:	FUNDAÇÃO RENOVA
CNPJ:	25.135.507/0001-8
Endereço:	Avenida Getúlio Vargas, 671, Sala 400, 4º Andar, Belo Horizonte/MG, CEP: 30.112-021
Gestor do Contrato:	Maurício Soares
Contato:	(31) –98434 2916
Fiscal projeto:	FUNDAÇÃO RENOVA
Contato fiscal:	25.135.507/0001-8

RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

Razão Social:	MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda.
CNPJ:	38.625.927/0001-90
Responsável Técnico:	Antônio Carlos Bertachini
Contato:	Rua Gararu, 389, Sagrada Família 31.035-470 – Belo Horizonte – MG Tel: (+55) 31-3482-9959 / 3466-1602 Fax: (+55) 31-3481-8911 mdgeo@mdgeo.com.br
Anotação de Resp. Técnica – ART:	5001235 – Breno Pereira – Responsável Técnico – Geólogo CREA MG 81028/D

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Antônio Carlos Bertachini (ABT) – Geólogo, Msc. CREA SP 70902/D	Consultor em Hidrogeologia	Consultor em Hidrogeologia Responsabilidade técnica
Breno Alexandre Pereira (BAP) – Eng. Geo. CREA MG 81028/D	Hidrogeólogo sênior	Responsabilidade técnica Gerente do Projeto
Antônio Carlos Pedrosa Júnior (APJ) - Eng. Geológico.	Analista de Hidrogeologia	Atividades de campo Elaboração do relatório
Marcos Henrique Santos Oliveira (MHO) Geografo	Analista de Geoprocessamento	Geoprocessamento/cartografia
Ramirys Lima dos Santos (RLS) Geólogo	Auxiliar de Campo Hidrogeologia	Atividades de campo Elaboração do relatório

REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROV.	FINALIDADE
V00	26/08/2019	APJ/RLS	BAP	Elaboração relatório
V01	02/09/2019	APJ/RLS	BAP	Elaboração relatório
V02	28/04/2020	RLS	BAP	Incluído capítulo de Hidroquímica
R01	26/05/2020	MDGEO	RENOVA	1ª versão enviada para revisão do cliente
R02	28/05/2020	MDGEO		2ª versão enviada para revisão do cliente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7

2 OBJETIVO 8

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO 9

4 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA 10

4.1 CLIMA 10
4.2 HIDROGRAFIA 13
4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 13

5 GEOLOGIA 15

5.1 GEOLOGIA REGIONAL 15
5.1.1 SUÍTE INTRUSIVA MEDINA 17
5.1.2 COMPLEXO PARAÍBA DO SUL 17
5.1.3 FORMAÇÃO RIO DOCE 17
5.1.4 FORMAÇÃO BARREIRAS 17
5.1.5 DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS 20
5.2 GEOLOGIA LOCAL 20

6 METODOLOGIA DE TRABALHO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES 21

6.1 COMPILAÇÃO DE DADOS 21
6.2 CADASTRAMENTO DE POÇOS SUBTERRÂNEOS E PONTOS D'ÁGUA 21
6.2.1 Equipamentos utilizados durante o trabalho de campo 23
6.3 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA 23
6.3.1 Água Subterrânea 24
6.3.2 Água Superficial 25
6.4 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO 26

7 INVENTÁRIO DE POÇOS 27

7.1 POÇOS RASOS 32
7.1.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS 36
7.1.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS 44
7.2 POÇOS PROFUNDOS 54
7.3 PONTOS D'ÁGUA 60

8 ANÁLISE HIDROQUÍMICA 68

8.1 COLETA DE AMOSTRAS 68
8.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA 71
8.2.1 Controle de qualidade dos resultados analíticos 71
8.2.1.1 Branco de Campo 71
8.2.1.2 Avaliação de duplicatas 74
8.2.1.3 Cálculo do Balanço Iônico 76
8.2.2 Classificação e tratamento dos dados hidroquímicos 81
8.2.2.1 Diagramas de Piper Hill-Langelier 81
8.2.2.2 Diagramas de Stiff 81
8.2.3 Avaliação da qualidade da água subterrânea 82
8.2.3.1 Diagrama de Piper e Stiff de amostra Subterrânea. 95
8.2.4 Avaliação da qualidade da água superficial 99
8.2.4.1 Diagrama de Piper e Stiff de amostra Superficial 109
8.2.5 Discussão hidroquímica 113
8.2.5.1 Sulfato 113
8.2.5.2 Análise de cluster 115
8.3 CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA (^{18}O E ^{2}H) 117
8.3.1 Método isotópico 118
8.3.1.1 Isótopos estáveis ^{18}O e ^{2}H 118
8.3.1.2 Tratamento de dados isotópicos 121

8.3.1.3 Aplicação dos isótopos estáveis ^{18}O e D na hidrogeologia 122
8.3.2 CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA 122
8.3.3 Assinatura de isótopos estáveis (18o e 2h) 122

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL 128

9.1 CONCEITOS 128
9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 129
9.3 FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA 130

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS 133

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 136

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Localização da área de estudo (Comunidade de Degredo). 9
Figura 4.1: Localização da estação pluviométrica utilizada no estudo. 10
Figura 4.2: Precipitação média, máxima e mínima da Estação de Povoação (1939002). 12
Figura 4.3: Pluviometria plurianual. 12
Figura 5.1: Mapa geológico regional. Modificado de CPRM (1991). 16
Figura 5.2: Perfis faciológicos representativos das associações de fácies descritas para as formações Rio Doce (A – associação de fácies I) e Barreiras (B, C e D – associações de fácies II, III e IV). 19
Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados. 31
Figura 7.2: Perfil esquemático dos poços da região. 40
Figura 7.3: Número de poços por profundidade. 41
Figura 7.4: Número de poços rasos por diâmetro. 43
Figura 7.5: Distribuição dos valores de NA. 44
Figura 7.6: Distribuição dos valores de CE nos poços. 50
Figura 7.7: Distribuição dos valores de pH nos poços. 51
Figura 7.8: Correlação entre os valores de Condutividade Elétrica e pH. 52
Figura 7.9: Distribuição dos valores de Eh nos poços. 53
Figura 7.10: Localização dos poços profundos. 55
Figura 7.11: Diâmetro dos poços profundos. 57
Figura 7.12: Valores de CE encontrados nos poços profundos. 58
Figura 7.13: Valores de Eh encontrados nos poços profundos. 59
Figura 7.14: Valores de pH encontrados nos poços profundos. 60
Figura 7.15: Localização dos outros pontos d'água. 62
Figura 7.16: Valores de Condutividade elétrica medidos nos pontos d'água. 66
Figura 7.17: Valores de Eh medidos nos pontos d'água. 67
Figura 7.18: Valores de pH medidos nos outros pontos. 67
Figura 8.1: Mapa com os pontos de coleta. 70
Figura 8.2: Representação do balanço iônico nas amostras de água subterrânea e superficial. 80
Figura 8.3: Frequência de ocorrência de parâmetros NÃO conformes à CONAMA 396/2008 – Consumo humano. 86
Figura 8.4: Pontos de coletas subterrâneas em Degredo. 87
Figura 8.5: Gráfico de Alumínio (mg/L) x Ponto. 88
Figura 8.6: Gráfico de Arsênio (mg/L) x Ponto. 89
Figura 8.7: Gráfico de Bário Dissolvido (mg/L) x Ponto. 90
Figura 8.8: Gráfico de Chumbo Dissolvido (mg/L) x Ponto. 90
Figura 8.9: Gráfico de Cloreto (mg/L) x Ponto. 91
Figura 8.10: Gráfico de Ferro Dissolvido (mg/L) x Ponto. 92
Figura 8.11: Gráfico de Ferro Total (mg/L) x Ponto. 93
Figura 8.12: Gráfico do Manganês Dissolvido (mg/L) x Ponto. 93
Figura 8.13: Gráfico do Manganês Total (mg/L) x Ponto. 94
Figura 8.14: Gráfico de Nitrato (mg/L) x Ponto. 95
Figura 8.15: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas. 96
Figura 8.16: Diagrama de Stiff das águas subterrâneas. 98

Figura 8.17: Frequência de ocorrência de parâmetros NÃO conformes à CONAMA 357/2005 – Classe 2. ... 100
Figura 8.18: Localização dos pontos de coletas superficiais em Degredo. ... 102
Figura 8.19: Gráfico de Alumínio Dissolvido (mg/L) x Ponto. ... 103
Figura 8.20: Gráfico de Cobalto Dissolvido (mg/L) x Ponto. ... 104
Figura 8.21: Gráfico de Ferro Dissolvido (mg/L) x Ponto. ... 104
Figura 8.22: Gráfico de Manganês Total (mg/L) x Ponto. ... 105
Figura 8.23: Gráfico de Níquel Dissolvido (mg/L) x Ponto. ... 106
Figura 8.24: Gráfico de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Ponto. ... 106
Figura 8.25: Gráfico de pH x Ponto. ... 107
Figura 8.26: Gráfico de Sólidos Dissolvidos (mg/L) x Ponto. ... 108
Figura 8.27: Gráfico de Sulfato (mg/L) x Ponto. ... 108
Figura 8.28: Gráfico de Zinco Dissolvido (mg/L) x Ponto. ... 109
Figura 8.29: Diagrama de Piper para as águas superficiais. ... 110
Figura 8.30: Diagrama de Stiff das águas superficiais. ... 112
Figura 8.31: Concentrações de sulfato na campanha hidroquímica de janeiro/2020. ... 114
Figura 8.32: Gráfico condutividade elétrica x pH. ... 114
Figura 8.33: Diagrama de Cluster com similaridade medida pela distância euclidiana, coeficiente de correlação de 0,98. ... 116
Figura 8.34: Linha meteórica global e local (LMG e LML), e dados isotópicos. ... 124
Figura 9.1: Mapa potenciométrico preliminar da área de estudo. ... 132

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA em Povoação (1939002). ... 11
Tabela 7.1: Informações gerais do poço. ... 27
Tabela 7.2: Dados construtivos dos poços cadastrados. ... 36
Tabela 7.3: Medidas dos parâmetros físico-químicos dos poços. ... 46
Tabela 7.4; Informações gerias dos poços. ... 54
Tabela 7.5: Informações construtivas dos poços profundos. ... 54
Tabela 7.6: Valores dos parâmetros físico-químicos medidos nos poços profundos. ... 57
Tabela 7.7: Informações sobre os pontos d'água cadastrados. ... 63
Tabela 7.8: Valores dos parâmetros físico-químicos medidos nos pontos d'água. ... 63
Tabela 8.1: Pontos de amostragem na comunidade de Degredo/ES. ... 68
Tabela 8.2: Análise de branco de campo dos instrumentos subterrâneos. ... 71
Tabela 8.3: Análise de branco de campo da amostra superficial. ... 72
Tabela 8.4: Análise das diferenças percentuais relativas (DPR) entre as amostras subterrâneas. ... 74
Tabela 8.5: Análise das diferenças percentuais relativas (DPR) entre as amostras superficiais. ... 75
Tabela 8.6: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores (CUSTODIO & LLAMAS, 1976). 77
Tabela 8.7: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores (LOGAN, 1965). ... 77
Tabela 8.8: Balanço iônico para as amostras de água subterrânea e superficial. ... 78
Tabela 8.9: Resultados do Monitoramento Qualitativo das Águas Subterrâneas. ... 83
Tabela 8.10: Classificação hidroquímica das águas subterrâneas. ... 96
Tabela 8.11: Resultados dos Monitoramento Qualitativo das Águas Superficiais. ... 99
Tabela 8.12: Classificação hidroquímica das águas superficiais. ... 110
Tabela 8.13: Resultados analíticos de ^{18}O e D para águas coletadas na comunidade de Degredo. . 122
Tabela 8.14: Excesso de Deutério dos pontos do empreendimento. ... 126

LISTA DE FOTOS

Foto 7.1: Poço raso (Poço 28). ... 32
Foto 7.2: Poço raso (Poço 56). ... 32
Foto 7.3 Poço raso (Poço 112). ... 32
Foto 7.4 Poço raso (Poço 141A). ... 32
Foto 7.5: Caixa d'água com acumulo ferrugem na comunidade. ... 34

Foto 7.6: Poço com acumulo ferrugem (DEG-167). 34
Foto 7.7: Espécie de "capa de óleo" e ferrugem no fundo quando deixada na caixa d'água (DEG-155) 34
Foto 7.8: Água amarelada quando é retirada do poço e joga na caixa d'água (DEG-105). 34
Foto 7.9: Poço de extração de petróleo/gás na porção norte da área de estudo. 35
Foto 7.10: Tubulação de petróleo/gás próxima as residências. 35
Foto 7.11: Medição do NA (Poço 80). 36
Foto 7.12: Medição do NA (Poço 81). 36
Foto 7.13: Poço DEG-131 (diâmetro: 100 mm) 42
Foto 7.14: Poço DEG-49 (diâmetro: 150 mm). 42
Foto 7.15: Poço DEG-166 (diâmetro: 200 mm). 42
Foto 7.16: Poço DEG-166 (diâmetro: 250 mm). 42
Foto 7.17: Poço DEG-166 (diâmetro: 400 mm). 42
Foto 7.18: 1º enche-se o balde de 20 L 45
Foto 7.19: Após enche-se a caneca de 500 ml (Poço 62). 45
Foto 7.20: Por fim mede-se os parâmetros com o equipamento (Poço 78). 45
Foto 7.21: Coletando-se a água com bayler (Poço 60) 46
Foto 7.22: Colocando-se a água coletada com o bayler na caneca inox (Poço 28). 46
Foto 7.23: Medindo-se os parâmetros da água coletada com o bayler (Poço 110B). 46
Foto 7.24: Poço profundo lacrado (DEG-142). 56
Foto 7.25: Poço profundo onde a medição ocorreu no meio dele (DEG-01) 56
Foto 7.26: Poço profundo que não está bem lacrado (DEG-123). 56
Foto 7.27: Poço profundo que não está bem lacrado (DEG-67). 56
Foto 7.28: Lago construído para captação de água (DEG-121). 61
Foto 7.29: Captação de água no Rio Ipiranga (DEG-37B) 61
Foto 7.30: Captação de água na Lagoa dos Cavatti (DEG-119B). 61
Foto 7.31: Reservatório d'água com captação (DEG-70B) 61
Foto 7.32: Coleta d'água com a caneca inox. 65
Foto 7.33: Medição dos parâmetros físico-químico na caneca inox. 65
Foto 7.34: Coleta d'água com a caneca inox. 65
Foto 7.35: Medição de parâmetro físico-químicos no balde de 15 L. 65

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA
ANEXO II – FICHAS DE CAMPO
ANEXO III – FICHAS DE COLETA / CADEIAS DE CUSTÓDIA
ANEXO IV – RESULTADOS DAS ANÁLISES HIDROQUÍMICAS
ANEXO V – FOTOS

1 INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, em decorrência do rompimento da Barragem de Rejeito de Fundão, nas dependências do Complexo Germano em Mariana - MG, de responsabilidade da SAMARCO MINERAÇÃO, ocorreu o deslizamento de cerca de 40 milhões de m³ de rejeitos do processo de beneficiamento do minério de ferro sobre o Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio do Carmo, o qual dá origem ao Rio Doce a partir do seu encontro com o Rio Piranga. Parte da lama que foi liberada sobre os cursos d´água na bacia do Rio Doce e chegou até chegar à foz deste rio, na vila de Regência (Linhares-ES), em 22 de novembro de 2015.

Ao norte da foz do rio Doce existem várias comunidades (Povoação, Cacimbas, Degredo, dentre outras). A comunidade de Degredo procurou a Fundação Renova questionando a mesma sobre a piora na qualidade da água após o rompimento da Barragem de Fundão[1]. Para a averiguação do questionamento da comunidade, a Fundação Renova contratou a MDGEO (PEDIDO Nº 4800015316) para a realização de estudos hidrogeológicos na região. Estes estudos procuram entender a dinâmica de fluxo da água subterrânea/superficial (modelo conceitual), bem como realizar a caracterização hidroquímica e isotópica da água da área da comunidade. Com a realização destes estudos pretende-se responder o questionamento em questão.

Os estudos aqui apresentados incluem inicialmente o cadastramento de poços e pontos d'água na área definida pela contratante. Compilação de informações referentes a geologia, hidrogeologia, geomorfologia, além de outras informações fornecidas pela Fundação Renova são apresentados neste relatório. Posteriormente será realizada a coleta de amostras para análises hidroquímica e isotópicas e a consolidação dos resultados.

[1] A Fundação Renova foi a entidade criada a fim de gerenciar os recursos destinados a mitigar os impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Sua missão é implementar e gerir os programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem, previstos no Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado pelo SAMARCO com o Governo Federal, os estados de Minas Gerais e Espirito Santo e diversos outros órgão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017).

2 OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo realizar a caracterização hidrogeológica da região de Degredo (área definida pela contratante), a fim de responder ao questionamento da comunidade.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo – Comunidade Quilombola de Degredo -, localiza-se no município de Linhares, este situa-se na porção norte do estado do Espírito Santo (Figura 3.1), distante aproximadamente 610 km de Belo Horizonte.

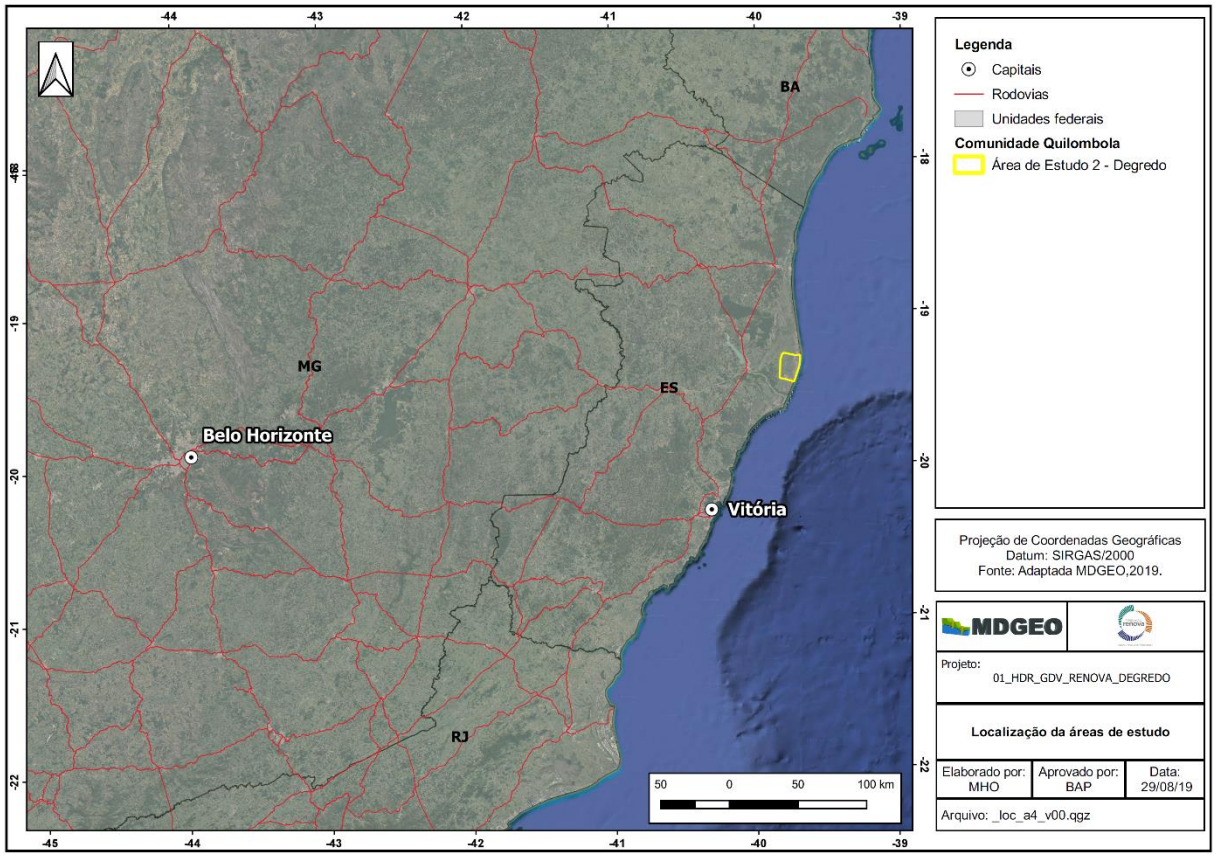


Figura 3.1: Localização da área de estudo (Comunidade de Degredo).

O acesso mais rápido partindo de Belo Horizonte é realizado pela BR-356, com acesso pelo trevo do condomínio Alphaville, seguindo até Mariana. Toma-se então a rodovia BR-262 (Rod. Luís Martins Soares) e posteriormente a MG-329, até o município de Manhuaçu. Então segue-se pela MG-111, até o município de Ipanema, a partir daí prossegui pela BR-474 até Aimorés, onde se toma a BR-259 até Colatina onde se segui pela ES-248 até Linhares.

Por sua vez, a comunidade de Degredo está a aproximadamente 57 km da sede do município de Linhares, acessada pela ES-248 onde se percorre 9km até o início da ES-358, na qual são percorridos 41km até a Av. das Luas (Pontal do Ipiranga), então se pega o acesso à direita (ES-010) e percorre cerca de 12 km até chegar a comunidade de Degredo.

4 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as características dos componentes fisiográficos existentes na região de Linhares (Degredo), tais como clima, hidrografia, e aspectos geomorfológicos.

4.1 CLIMA

Os dados pluviométricos utilizados neste relatório são referentes a estação mais próxima da área de estudo (Estação Pluviométrica de Povoação - 1939002), a estação em questão pertence a ANA e está localizada a aproximadamente 40 km da área de estudo, conforme mostra a Figura 4.1.

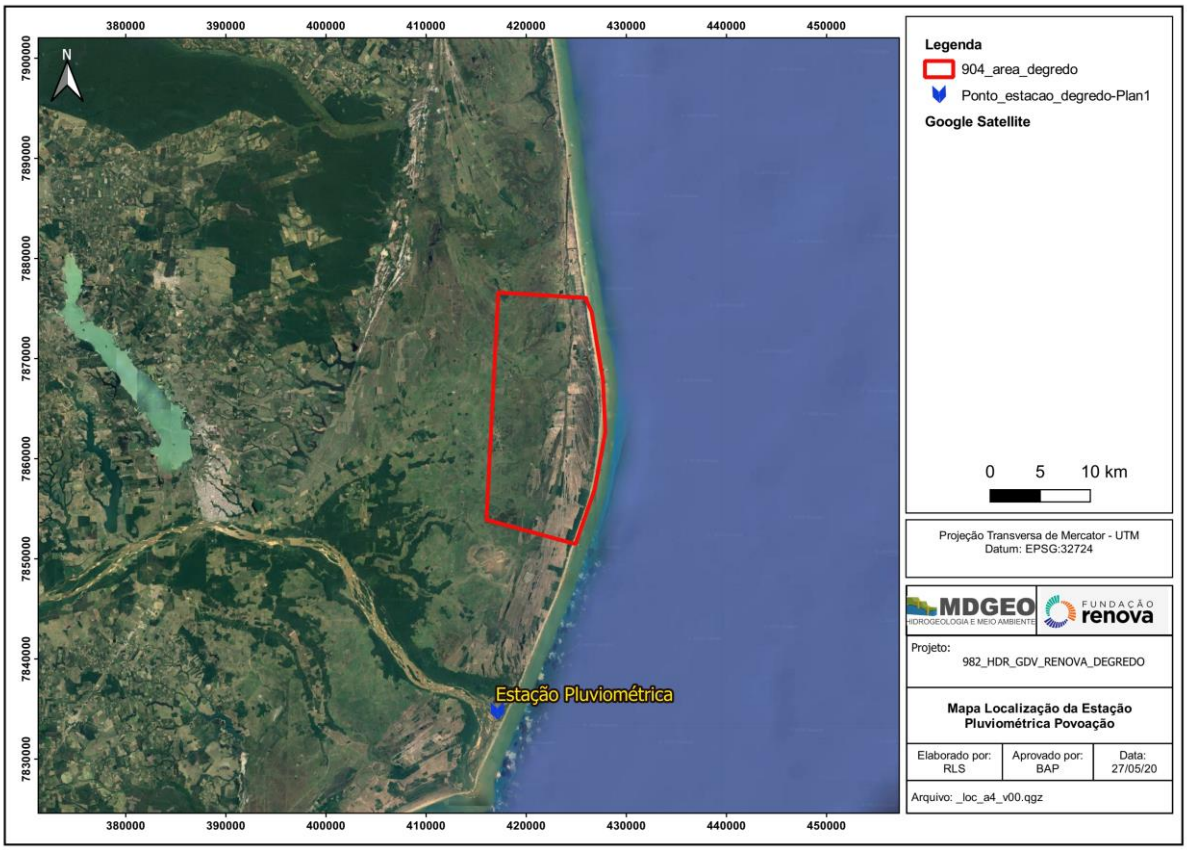


Figura 4.1: Localização da estação pluviométrica utilizada no estudo.

Esta estação da ANA tem dados de monitoramento pluviométrico desde de novembro de 1974 até abril de 2019. A Tabela 4.1 apresenta os dados da série histórica da precipitação mensal registrada neste período organizada de acordo com o ano hidrológico da região.

Tabela 4.1: Dados de precipitação medidos na estação da ANA em Povoação (1939002).

Ano Hidrológico	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
1973/1974	-	-	-	-	-	-	-	71,0	53,7	16,5	27,8	45,5
1974/1975	157,2	79,6	293,6	209,9	69,7	371,4	143,4	108,9	133,6	45,3	20,8	104,4
1975/1976	276,2	174,2	133,8	34,6	55,4	100,0	35,7	336,2	52,0	162,7	17,6	162,7
1976/1977	626,3	229,6	218,8	60,0	79,4	135,6	276,4	141,9	68,6	89,1	25,6	72,8
1977/1978	146,3	362,8	243,1	65,0	236,7	153,9	103,3	34,5	49,1	286,2	105,6	98,2
1978/1979	122,6	181,0	110,5	512,2	406,5	225,6	101,9	8,2	55,2	129,4	79,2	49,1
1979/1980	138,7	57,2	283,1	337,1	113,0	26,0	258,7	96,5	47,8	92,5	84,4	31,1
1980/1981	21,1	256,6	416,7	168,7	81,7	249,2	218,7	156,5	61,3	84,5	64,3	2,2
1981/1982	266,1	391,6	90,1	319,2	35,6	269,2	141,2	196,2	78,2	130,4	74,1	1,8
1982/1983	38,4	133,4	154,5	365,8	121,8	98,8	71,2	93,4	12,9	9,2	39,8	218,6
1983/1984	99,1	297,8	350,1	1,2	152,3	74,3	129,7	46,5	115,7	89,9	131,1	170,0
1984/1985	163,4	97,9	276,1	499,0	36,7	14,4	162,9	85,3	15,2	101,8	30,9	158,6
1985/1986	99,2	140,0	123,9	66,2	5,1	153,7	69,8	81,8	35,4	67,2	136,8	58,0
1986/1987	46,5	101,9	191,9	89,4	61,1	131,8	45,1	47,2	26,2	57,6	51,6	70,1
1987/1988	21,1	147,3	167,5	19,8	0,2	170,7	69,4	13,2	32,3	45,6	26,6	9,9
1988/1989	76,7	131,1	176,6	22,7	26,1	58,9	36,4	139,8	60,6	3,5	26,0	7,4
1989/1990	38,3	78,8	106,8	-	7,6	14,7	37,1	25,2	136,5	31,1	134,2	30,3
1990/1991	73,8	115,6	88,5	84,0	131,2	140,2	27,8	58,0	42,5	50,8	34,9	33,2
1991/1992	20,7	15,6	20,3	107,4	60,5	47,3	18,5	17,0	17,9	44,1	7,7	40,3
1992/1993	39,4	51,8	26,1	19,0	5,4	4,6	21,5	37,3	33,7	28,6	14,6	27,7
1993/1994	15,7	10,8	49,5	21,6	9,3	128,6	39,0	63,7	66,5	89,6	5,9	16,3
1994/1995	61,5	39,0	29,5	1,9	-	19,3	23,9	25,7	57,0	20,4	26,2	31,8
1995/1996	39,3	29,8	131,2	9,1	10,0	23,5	87,7	88,5	69,5	45,7	31,2	35,3
1996/1997	80,7	437,2	83,8	109,4	55,7	214,7	133,5	30,0	-	94,9	17,1	56,6
1997/1998	46,3	104,7	166,8	51,6	43,0	114,6	90,4	70,0	66,8	14,2	3,8	22,5
1998/1999	176,5	162,9	54,6	1,2	33,7	174,2	128,0	74,8	57,2	74,2	44,8	109,2
1999/2000	55,0	443,7	177,5	90,4	98,2	155,8	317,2	58,7	66,7	157,2	46,8	131,5
2000/2001	18,7	195,8	227,7	39,1	8,7	83,2	36,1	130,3	47,9	19,8	30,7	135,0
2001/2002	118,6	437,3	144,7	177,3	71,8	62,8	60,8	149,2	67,4	72,4	39,0	144,3
2002/2003	20,0	66,7	154,3	93,1	13,4	22,2	102,2	61,4	-	174,7	10,8	99,6
2003/2004	51,5	152,9	118,1	186,8	175,6	247,9	370,6	31,7	62,5	134,8	25,4	5,0
2004/2005	119,2	135,1	251,9	57,4	193,1	215,4	73,7	315,1	252,1	102,1	34,5	60,1
2005/2006	22,1	242,1	166,2	34,5	26,8	321,6	170,4	26,1	108,3	10,9	112,3	46,4
2006/2007	156,2	456,9	236,8	69,8	197,8	66,7	251,5	26,1	17,6	40,4	32,6	51,6
2007/2008	25,1	149,2	104,7	308,8	96,7	170,8	166,2	167,7	82,9	40,9	27,4	26,4
2008/2009	98,5	622,3	240,2	293,6	73,8	235,4	265,8	85,1	31,7	47,9	140,3	20,1
2009/2010	566,3	296,2	20,1	4,0	36,2	383,2	278,5	114,9	21,4	107,4	21,9	39,4
2010/2011	76,1	207,8	209,4	45,0	39,0	307,4	228,8	18,8	38,2	17,6	86,9	9,2
2011/2012	439,7	143,5	109,8	61,7	63,4	65,4	51,9	178,4	201,4	68,0	129,3	43,5
2012/2013	17,7	235,3	14,8	130,6	24,2	113,5	78,1	62,8	52,2	75,9	27,3	48,6
2013/2014	102,6	186,9	773,2	74,0	139,5	142,9	86,5	40,9	66,1	69,1	70,7	25,1
2014/2015	151,0	159,5	86,5	27,4	66,5	47,1	138,1	81,2	129,4	57,3	39,3	16,6
2015/2016	31,3	14,3	54,5	166,2	16,4	40,7	26,5	45,9	48,9	6,7	11,5	27,2
2016/2017	134,4	263,1	54,7	31,7	98,8	127,4	85,9	101,3	157,7	127,0	6,0	20,5
2017/2018	-	206,7	227,8	74,6	203,6	44,1	156,1	175,7	55	30	143,9	34,8
2018/2019	195,2	101,4	346,7	36,9	71,2	56,7	96,3	-	-	-	-	-
Média	120,2	189,9	171,3	117,7	80,7	133,9	122,5	89,3	68,7	72,6	51,1	58,9
Máximo	626,3	622,3	773,2	512,2	406,5	383,2	370,6	336,2	252,1	286,2	143,9	218,6
Mínimo	15,7	10,8	14,8	1,2	0,2	4,6	18,5	8,2	12,9	3,5	3,8	1,8

Na tabela acima além dos dados da série histórica é possível observar os valores das precipitações média, mínima e máxima durante o período de monitoramento da estação.

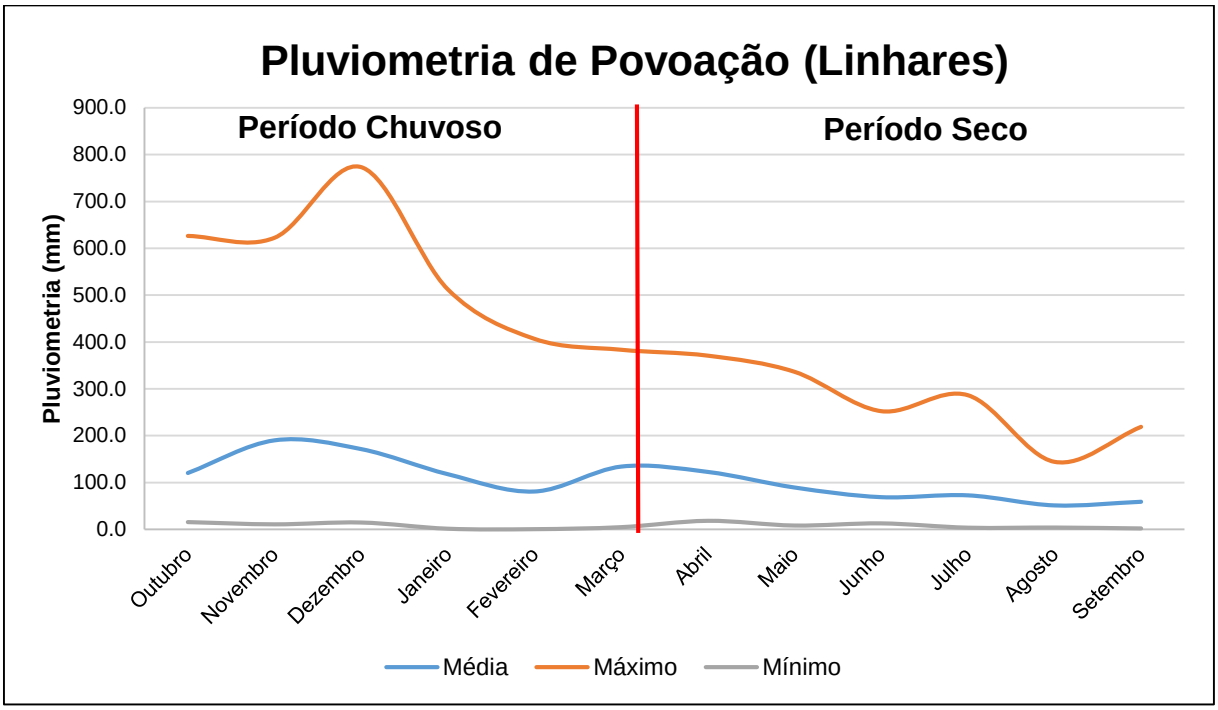


Figura 4.2: Precipitação média, máxima e mínima da Estação de Povoação (1939002).

A Figura 4.1 apresenta estes dados de forma gráfica, onde é possível observar que o período chuvoso começa em outubro e vai até março, enquanto o período seco ocorre entre os meses de abril e setembro.

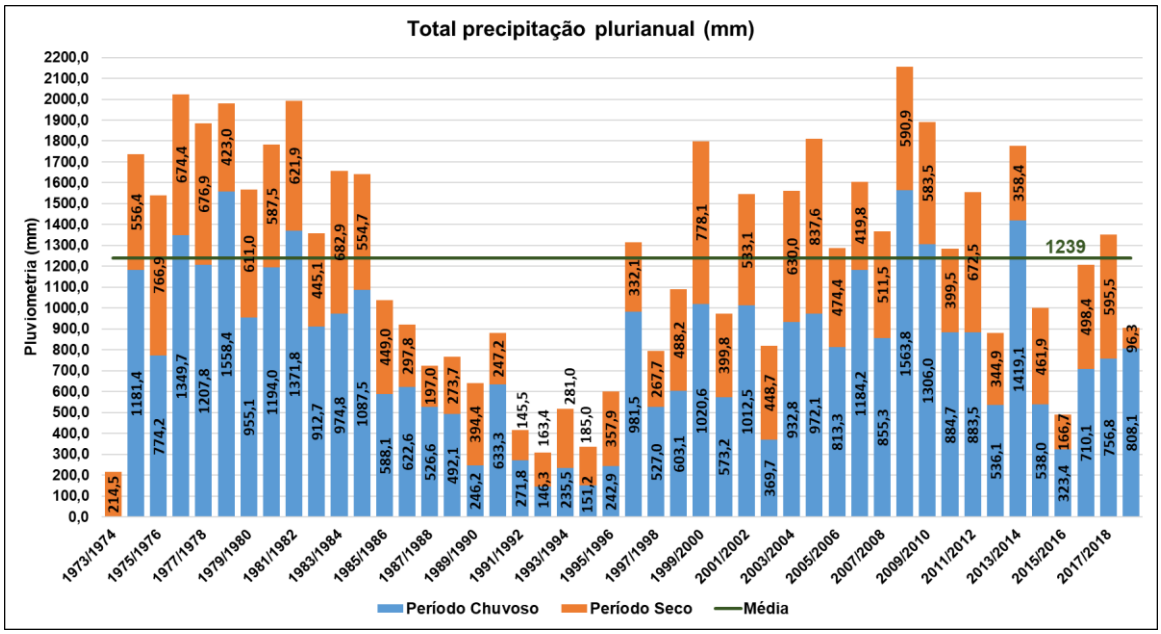


Figura 4.3: Pluviometria plurianual.

A Figura 4.2 apresenta os dados de precipitação plurianual da estação de Povoação, considerando-se o ano hidrológico percebe-se que a média é de 1239

mm/ano, sendo que a média do período chuvoso é de 789,1 mm/ano o que corresponde a aproximadamente 64,0% da precipitação anual, enquanto no período seco a precipitação média é de 449,9 mm/ano.

Ao analisar os dados percebe-se que desde o início do monitoramento que a precipitação na área costumam manter um certo padrão, sendo que nos primeiros 10 anos observa-se que houve grandes precipitações enquanto nos 10 anos subsequentes as precipitações tiveram grande queda, a partir de então a precipitação começou a variar muito de ano para ano, alternando anos mais chuvosos com anos mais secos, no entanto vale destacar que o ano hidrológico em que ocorreu o rompimento da barragem foi um ano com baixa precipitação na região de estudo.

4.2 HIDROGRAFIA

A região fica situada no que se convencionou chamar de Baixo Rio Doce, ocorre um notável complexo lacustre composto por dezenas de lagoas de barragem natural que se formaram por processos de represamento do curso fluvial pelos sedimentos marinhos e/ou fluviais do canal principal do rio Doce, durante a última glaciação. Distribuídos em domínios geomorfológicos distintos, estes corpos lacustres podem ser agrupados em lagoas internas e externas.

As lagoas externas possuem cerca de 1-10 km de comprimento, e estão localizadas entre o platô terciário e a planície costeira quaternária. As lagoas internas, de maiores dimensões, como a Lagoa Juparanã, Lagoa Grande, Lagoa Nova, estão localizadas sobre os tabuleiros da Formação Barreiras, preferencialmente na margem esquerda do rio Doce, sendo limitados pela planície aluvial deste rio (ZUNTI, 1982).

4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

O município de Linhares – ES apresenta 3 grandes compartimentos geomorfológicos sendo a Região Serrana (9,91%), os Tabuleiros Costeiros (36,65%) e a Planície Costeira (53,45%) no total de 3.553 km².

A região Serrana situado sobre rochas pré-cambrianas, esse compartimento geomorfológico é drenado por uma rede hidrográfica dendrítica. Numerosos vales recentes apresentam um aspecto de ravinas mortas recobertas pela vegetação, isso

traduz uma interrupção da erosão e indica um fraco carreamento de sedimentos grosseiros para os cursos de água (SUGUI K., et al., 1982).

A região de Planície Costeira corresponde às acumulações marinhas e flúvio-marinhas que compõem as feições morfológicas características da faixa litorânea. Nessa categoria estão incluídos, principalmente, as planícies e terraços marinhos e flúvio-marinhos (RADAMBRASIL, 1987).

5 GEOLOGIA

5.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está localizada na região norte do estado do Espírito Santo, no domínio geotectônico da Província Mantiqueira, na porção oriental do Orógeno Araçuaí, onde se inserem as rochas cristalinas (ígneas e metamórficas) que compõem o embasamento cristalino e que compõem o arcabouço do Sistema Aquífero Cristalino (SAC) na região.

O embasamento está em contato com a porção continental emersa adjacente à Bacia do Espírito Santo. Os materiais sedimentares pertencentes à Bacia do Espírito Santo em sua porção emersa, juntamente com os sedimentos quaternários, compõem o Sistema Aquífero de Porosidade/Granular. As formações Rio Doce e Barreiras fazem parte da Bacia do Espírito Santo. As unidades litológicas presentes no estudo são representadas pela Formação Rio Doce, Formação Barreiras e Depósitos Quaternários onde serão descritas.

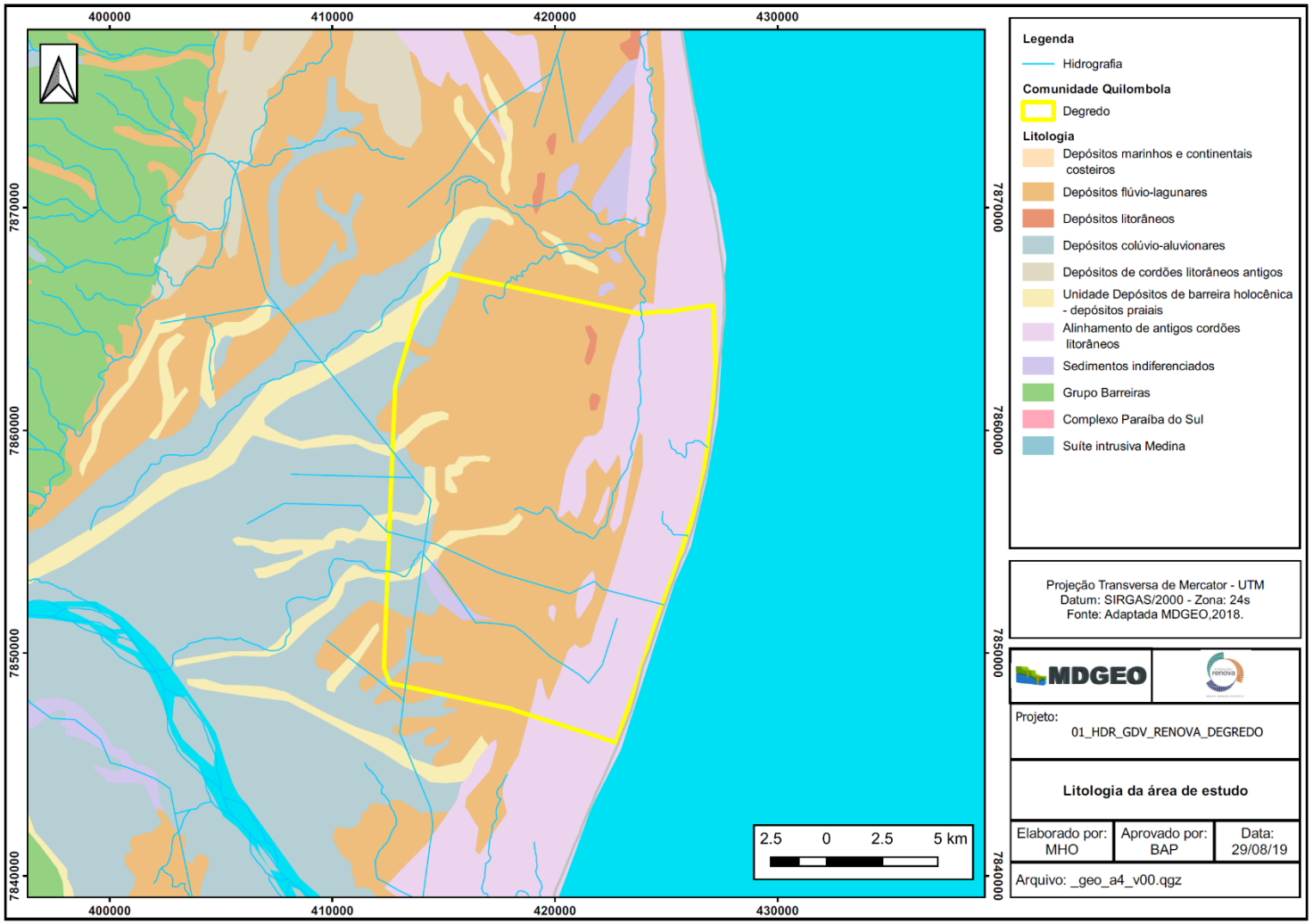


Figura 5.1: Mapa geológico regional. Modificado de CPRM (1991).

5.1.1 SUÍTE INTRUSIVA MEDINA

É constituído de rochas plutônicas formadas pela anatexia das rochas supracrustais geradoras do Complexo Paraíba do Sul. Estas rochas apresentam aspectos diversos podendo ser autóctones, alóctones, concordantes ou discordantes da estruturação regional, por isso consideradas como tardi a pós-tectônicas.

5.1.2 COMPLEXO PARAÍBA DO SUL

É uma unidade de origem sedimentar, relacionada principalmente a sedimentos pelíticos que foram transformados para biotita e/ou hornblenda granada gnaisses e/ou metatexitos de composição kinzigítica, a granulação varia de fina a média. Subordinadamente, ocorrem calcissilicáticas, anfibolitos e mármores. Segundo Pedrosa-Soares et al. (2007) o Complexo Nova Venécia é considerado como parte do Complexo Paraíba do Sul.

5.1.3 FORMAÇÃO RIO DOCE

A Formação Rio Doce compreende sedimentos arenosos médios a muito grossos, arcosianos, com camadas intercaladas de sedimentos argilosos esverdeados a acinzentados (ASMUS et al., 1971 citado por BRICALLI, 2011, P. 27). É interpretada por Vieira et al. (1994) como um sistema deposicional de leques costeiros, ligados a uma fase regressiva iniciada no Eoceno médio.

5.1.4 FORMAÇÃO BARREIRAS

A maior parte do substrato geológico do escopo da área, apresenta a quase totalidade de sua superfície ocupada por sedimentos da Era Cenozoica, representada pela Formação Barreiras (BRASIL, 1983). Segundo Araí (2006), a análise estratigráfica integrada permitiu relacionar a origem da Formação Barreiras com a elevação eustática global que teve seu máximo no intervalo do Burdigaliano ao Serravaliano (12-20 Ma), no Mioceno Médio. A porção continental emersa adjacente à Bacia do Espírito Santo, constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental, de idade Miocênica-Pliocênica, depositada por sistemas fluviais entrelaçados associados a leques aluviais representada pela Formação Barreiras (ARAÍ, 2006). A sedimentação da Formação Barreiras sofreu uma interrupção no Tortoniano, quando houve um rebaixamento eustático global que ocasionou um extenso evento erosivo

nas áreas emersas e a formação de cunhas fortemente progradantes das bacias submersas.

Estes depósitos foram sedimentados em áreas extensas – sobretudo na faixa costeira que vai atualmente da Foz do Amazonas ao estado do Rio de Janeiro, onde a ausência de topografia elevada teria propiciado o avanço do *onlap* para o continente adentro (ARAÍ, 2006). Durante um bom tempo, a Formação Barreiras foi considerada de origem essencialmente continental. Entretanto, mais recentemente os trabalhos têm mostrado a influência de oscilações eustáticas na sua origem e deposição até em ambiente transicional e marinho raso (BEZERRA et al., 2001).

A sedimentação barreiras obedeceu a um conjunto de fatores ambientais que envolveram, principalmente, mudanças climáticas, oscilações do nível do mar e movimentos tectônicos, que ocorreram em uma sequência de eventos determinantes à elaboração da configuração atual do litoral brasileiro (COSTA JÚNIOR, 2008).

Morais (2007) identificou três associações faciológicas referentes à formação barreiras representadas na Figura 4.2 (B, C e D), todas compostas basicamente por areias médias a muito grossas, com matriz argilosa, intercaladas com cascalhos maciços e bioturbados. Ora compõem camadas tubulares, lenticulares, sempre com presença de óxido de ferro. O modelo deposicional sugerido pela autora para a formação barreiras é de um ambiente fluvial entrelaçado. Devido a diversos fatores como, por exemplo, a associação faciológica II, onde a intercalação de fácies de cascalhos e areias com depósitos lamíticos indicam ação conjunta de processos trativos de alta energia e de fluxos gravitacionais.

A fração grossa dos solos desenvolvidos de sedimentos da Formação Barreiras é constituída basicamente por quartzo, com algumas concreções ferruginosas e traços de turmalina, rutilo, zircão, ilmenita, biotita e muscovita (JACOMINE, 1974; ACHÁ PANOSO, 1976; EMBRAPA, 1978; DUARTE et al., 2000). Na fração argila, predomina a caulinita, sendo a presença de óxidos de Fe limitada pelos baixos teores de Fe do material de origem. Segundo Melo (1998) e Duarte et al. (2000), citado por Melo et al. (2002), há gibsita e pequenas quantidades de quartzo, anatásio e mica. São, portanto, sedimentos mineralogicamente bastantes estáveis e resistentes aos intemperismos.

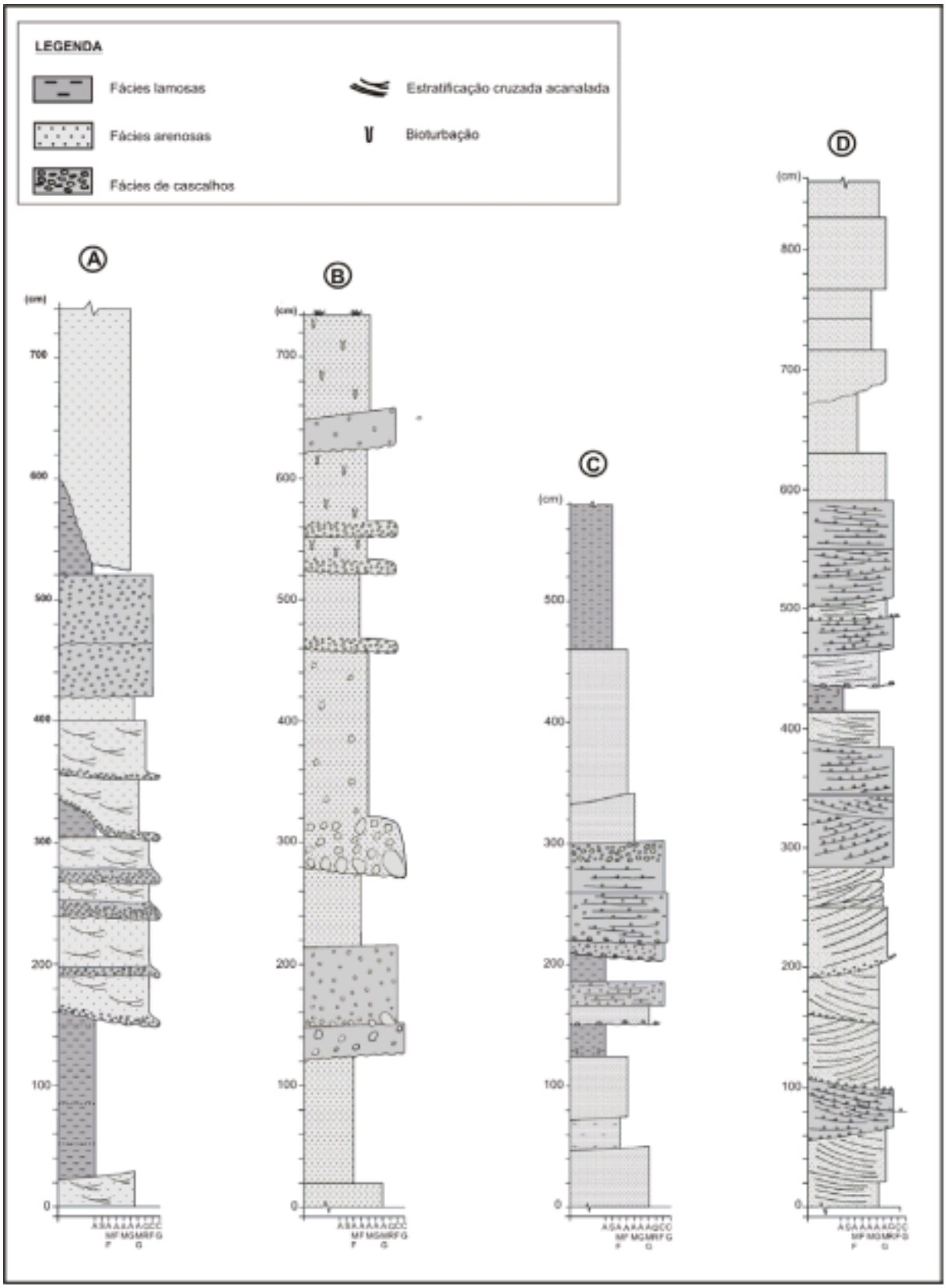


Figura 5.2: Perfis faciológicos representativos das associações de fácies descritas para as formações Rio Doce (A – associação de fácies I) e Barreiras (B, C e D – associações de fácies II, III e IV).

5.1.5 DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS

Os depósitos quaternários estão representados, na área de estudo, por sedimentos marinhos e continentais (terraços arenosos pleistocênicos, terraços arenosos holocênicos, pântanos e mangues holocênicos, depósito flúvio-lagunares holôcenicos, depósitos aluvionares holocênicos), principalmente na desembocadura do rio Doce (MACHADO FILHO et al., 1983; SILVA et al., 1987; MARTIN et al., 1997).

Durante o Quaternário, as fases de erosão que seguiram à deposição desses sedimentos resultaram na dissecação da superfície pós-Barreiras em modelados residuais de topos planos, dos quais os denominados Tabuleiros Costeiros são os representantes mais importantes.

5.2 GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo conhecida como Degredo, Cacimbas e seu entorno estão localizados inteiramente nas coberturas Cenozoicas, que abrange um conjunto de rochas das Formações Rio Doce e Barreiras.

Em suma, a Formação Rio Doce está representada segundo Morais (2007) como pacotes tabulares de arenitos empilhados verticalmente, com intervalos lutíticas pouco expressivos intercalados, frequentemente escavados por superfícies de reativações. Os depósitos da Formação Rio Doce teriam sido influenciados pelos lineamentos da Faixa Colatina (Morais, 2007).

Morais (2007) definiu a associação de fácies da Formação Rio Doce pela combinação de fácies rudíticas, areníticas e lutíticas, empilhadas em um padrão “caixote” pela superposição de sucessivos pacotes com espessura variando, em média, de 200 cm a 300 cm.

A Formação Barreiras é constituída por arenito conglomerático, argilito arenoso, arenito com lentes conglomeráticas e crostas lateríticas. Entretanto, predomina arenito conglomerático constituído essencialmente por grãos de quartzos angulosos, de baixa esfericidade (QUEIROGA et al., 2012).

6 METODOLOGIA DE TRABALHO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

A seguir será descrita a metodologia empregada para a execução do projeto, desde a fase pré-campo até a elaboração do presente relatório.

6.1 COMPILAÇÃO DE DADOS

Inicialmente foi realizada a compilação de dados sobre a área de estudo. Nesta etapa reuniu-se todas as informações existentes relacionadas à cartografia, geologia, hidrografia e hidrogeologia, bem como dados de pontos de coleta de água (localização, nome do proprietário), cadastrados pela Fundação Renova em trabalhos anteriores.

6.2 CADASTRAMENTO DE POÇOS SUBTERRÂNEOS E PONTOS D'ÁGUA

De posse das informações obtidas na etapa anterior, foi criado um planejamento para o cadastramento de poços subterrâneos e pontos d'água na área de estudo, efetivado posteriormente pela equipe técnica composta pelo Analista de Hidrogeologia Antônio Carlos Pedrosa Júnior e o Auxiliar de Campo em Hidrogeologia Ramirys Lima dos Santos, com o acompanhamento do Sr. Francisco Antônio de Jesus e a fiscalização da Sra. Simone Silva de Jesus, ambos da comunidade de Degredo. Os trabalhos de campo foram realizados entre os dias 08/07/2019 e 09/08/2019, totalizando 17 dias de campo, posteriormente será realizada a etapa de coleta de amostras d'água.

Durante o trabalho de campo foram cadastrados poços rasos, poços tubulares profundos, pontos d'água na Lagoa dos Cavatti, no Rio Ipiranga e em pequenas escavações (lagos). O cadastro dos pontos foi feito através de visita as residências e fazendas da área de estudo (Comunidade Quilombola de Degredo). Em todas as propriedades visitadas primeiramente chamava-se a pessoa que estava na propriedade (proprietário, inquilino, caseiro, funcionário, etc), apresentava-se como funcionários da MDGEO que estavam fazendo um estudo na região a mando da Fundação Renova, o qual comtemplava o cadastro, a medição do nível d'água (N.A) e da profundidade do poço. Posteriormente pedia-se a autorização para a realização de tais atividades tanto verbalmente, tanto por escrito, através do Termo de Autorização de Intervenção fornecido pela Fundação Renova (ANEXO II).

Após a autorização eram feitas as seguintes perguntas a pessoa que nos atendeu:

- Nome, contato telefônico e nome da propriedade (no caso de fazendas);
- Quantidade de poços existentes na propriedade;
- Número de usuários do poço d'água;
- Número e volume das caixas d'água, bem como a quantidade de vezes essas eram reabastecidas por dia;
- Tipo e quantidade de criação (galinhas, bovinos, suínos, etc);
- Aspectos construtivos como profundidade inicial do poço, diâmetro do poço, material atravessado durante a perfuração do poço, tipo de tubo e tipo de bomba utilizada;
- Aspectos sobre a qualidade da água, como cor, odor.

Após a liberação para realização da atividade e questionário respondido pelo proprietário, pedia-se para ir até o (s) poço (s) ou pontos d'água, na qual, eram feitas as medidas diretas de:

- Coordenadas com GPS de campo;
- Profundidade do nível d'água;
- Profundidade do poço.

Por fim, pedia-se para ligar a bomba, com o intuito de medir a vazão de bombeamento do poço (inferida) e a obtenção de amostra d'água para a realização da medição dos parâmetros *in situ*:

- pH;
- Eh (mV);
- Condutividade Elétrica (µS/cm);
- Temperaturas da água e do ar (°C).

Também foram devidamente fotografados, complementando assim as informações pedidas nas fichas de cadastramento da MDGEO e consequentemente a base de dados. As fichas de cadastramento são apresentadas no Anexo III.

6.2.1 Equipamentos utilizados durante o trabalho de campo

A ida a campo foi feita com uma caminhonete Hillux, placa QQE-3257 da marca Toyota mobilizada pela Fundação Renova.

Todos os pontos foram locados com GPS da marca GARMIM MAP modelo 62s, utilizando o datum SIRGAS 2000 como convenção.

As medições dos parâmetros foram realizadas primeiramente através das canetinhas resistente à água da marca Hanna, combo pH/Temperatura e multiparâmetro marca Hack (Eh e CE), e posteriormente através do combo Eh/Temperatura e do multiparâmetro marca Akso (pH e CE), todos os equipamentos utilizados eram calibrados a cada dois dias.

O nível d'água era obtido por meio de um medidor de nível portátil de 50 e posteriormente um 100 m da marca Hidrosuprimentos. A coleta para medir os parâmetros *in situ* era feita com bayler ou pela bomba do poço e a medida dos parâmetros era feita na canequinha de alumínio, para evitar interferências externas.

Para medir a vazão foi utilizado um balde de 20 L de alumínio e um cronômetro para marcar o tempo que levava para encher o balde.

6.3 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA

Foram seguidos os procedimentos internos técnicos de gestão da qualidade, conforme a instrução técnica IT-C-04 coletas de água hidroquímica e isótopos (MDGEO, 2016).

Para coleta de água superficial o método empregado foi o de amostragem direta com balde (20L) e caneca inox (1L) e, para água subterrânea adotou-se o método de coleta de desenvolvimento por 30 minutos do poço. Para garantir a qualidade e minimização de fatores externos nas amostras, foram tomados cuidados de limpeza, manutenção e calibração de todos os equipamentos e suprimentos utilizados durante a realização do trabalho.

Em cada ponto de coleta foi preenchida uma cadeia de custódia da MDGEO (MDGEO, 2017) onde todas as informações pertinentes foram registradas.

6.3.1 Água Subterrânea

A amostragem de águas subterrâneas foi realizada de forma bastante técnica, garantindo máxima representatividade da amostra, qualidade, ausência de turbidez. Esse método foi feito direto nos poços com o desenvolvimento do poço no mínimo 30 minutos antes da coleta.

Antes da amostragem devem ser realizadas os resultados dos parâmetros de turbidez, condutividade, pH, oxigênio dissolvido (OD) e potencial de óxido redução (Redox Potencial), temperatura de água e ar.

As coletas foram realizadas pela equipe técnica da MDGEO conforme procedimentos descritos na NBR 9.898/1987 da ABNT a qual dispõe sobre as condições exigíveis para a coleta e preservação de amostras e de efluentes líquidos domésticos e industriais e de amostras de água, sedimentos e organismos aquáticos dos corpos receptores interiores superficiais.

Seguindo orientações da norma supracitada, as amostras para análise de metais e elementos dissolvidos foram filtradas em membrana filtrante de porosidade 0,45 µm, imediatamente após a coleta, e então acidificadas. Os frascos que não continham preservantes foram ambientados com a própria amostra antes de serem preenchidos. Todas as amostras foram refrigeradas à temperatura de 4 °C.

Para cada ponto foi preenchido uma ficha de coleta/cadeia de custódia, os quais podem ser consultados no Anexo III.

O transporte das amostras até os laboratórios foi realizado por ônibus comercial, assegurando um prazo de entrega de amostras no laboratório conforme definido em norma. Como a campanha ocorreu em vários dias, ao final de cada dia eram despachadas as amostras coletadas juntamente com a cadeia de custódia específica do laboratório devidamente preenchida e encaminhada.

As análises foram realizadas de acordo com os métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, & WEF, 1998) e os resultados comparados aos valores máximos permitidos das legislações nacionais aplicáveis a investigação ambiental e gerenciamento de áreas potencialmente contaminadas.

No momento da coleta de água foram realizadas medições do nível d'água dos poços através de um medidor portátil e tomadas *in situ* medidas de pH, Eh (mV), condutividade elétrica (µS/cm), oxigênio dissolvido (mg/L), turbidez (NTU) e temperatura da água e do ar (°C).

As leituras desses parâmetros foram realizadas através de uma sonda multiparâmetro da marca Hanna (modelo HI98194) um turbidímetro marca AKSO (modelo TU430). Todos os equipamentos de medição foram calibrados diariamente com soluções de calibração padrão e são aferidos trimestralmente em laboratório com soluções de calibração padrão com certificados rastreáveis, garantindo assim a confiabilidade dos dados e a qualidade do serviço.

Os laudos laboratoriais, contendo os resultados das análises hidroquímicas, podem ser consultados no Anexo III.

6.3.2 Água Superficial

Assim como para amostras de água subterrânea, as coletas foram realizadas pela equipe técnica da MDGEO conforme procedimentos descritos na NBR 9.898/1987 da ABNT a qual dispõe sobre as condições exigíveis para a coleta e preservação de amostras e de efluentes líquidos domésticos e industriais e de amostras de água, sedimentos e organismos aquáticos dos corpos receptores interiores superficiais.

Nos cursos d'água ou lugares de captações d'água evitou-se de coletar amostras em locais de água estagnada ou muito turbulenta. A água foi coletada com o auxílio de um recipiente de amostragem, a fim de garantir a homogeneidade das amostras, e depois distribuída pelos diversos frascos de coleta.

Seguindo orientações da norma supracitada, as amostras para análise de metais e elementos dissolvidos foram filtradas em membrana filtrante de porosidade 0,45 µm, imediatamente após a coleta, e então acidificadas. Os frascos que não continham preservantes foram ambientados com a própria amostra antes de serem preenchidos. Todas as amostras foram refrigeradas à temperatura de 4 °C.

Para cada ponto foi preenchido uma ficha de coleta/cadeia de custódia, os quais podem ser consultados no Anexo III.

As análises foram realizadas de acordo com os métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, & WEF, 1998) e os resultados comparados aos valores de referência admissíveis estabelecidos para as águas superficiais nas legislações pertinentes.

No momento da coleta de água foram tomadas *in situ* medidas de pH, Eh (mV), condutividade elétrica (µS/cm), oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura da água e do ar (°C) e turbidez (NTU), através de uma sonda multiparâmetro da marca Hanna e de um turbidímetro AKSO.

Os laudos laboratoriais, contendo os resultados das análises hidroquímicas, podem ser consultados no Anexo IV.

6.4 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

A última etapa do estudo consistiu na elaboração do presente relatório através da consolidação e interpretação dos dados coletados em campo na primeira etapa do estudo (cadastramento, medição do nível d'água e da profundidade dos poços, bem como medição dos parâmetros físico-químicos *in situ*) e discussões sobre os resultados obtidos.

7 INVENTÁRIO DE POÇOS

Entre os dias 08/07/2019 e 09/08/2019, a equipe de campo da MDGEO, realizou a etapa de cadastramento de poços rasos, poços tubulares profundos e pontos d'água (pontos no Rio Ipiranga, Lagoa dos Cavatti, lagos perfurados pelos proprietários) na área da Comunidade Quilombola de Degredo, conforme definido em reunião com os representantes todas as residências da comunidade foram visitadas.

Ao fim do estudo foram visitadas 170 residências/fazendas e cadastrados 191 pontos, sendo:

- 179 poços rasos (inferiores a 20 metros);
- 04 poços profundos (superior a 100 metros);
- 08 pontos d'água (lagos, Lagoa dos Cavatti e Rio Ipiranga).

A Tabela 6.1 apresenta informações relacionadas aos poços (nome do proprietário, CPF, contato e uso da água) enquanto a Figura 6.1 apresenta a disposição de todos pontos cadastrados durante a atividade.

Tabela 7.1: Informações gerais do poço.

ID	Proprietário	CPF	Contato	Uso
DEG-02	Catarina da Vitória Borges	099.947.247-03	(27) 99520-6769	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-03	Lucimara Pereira	148.688.967-09	(27) 999591050	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-04	Nilda de Jesus Rosa	576.529.297-68	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-05	José Leite Costa	930.174.727-87	(27) 99740-1610 / (27) 99826-0027	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-06	Juliana Leite Borges	148.688.957-37	(27) 99920-9566	Cons. Humano
DEG-07	Elza Silva de Jesus	043.687.107-62	(27) 99885-0285	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-08	Leoni Leite da Silva	146.848.827-99	(27) 99917-4386	Cons. Humano/Irrigação
DEG-09	Marineia Alves de Jesus	059.440.087-35	(27) 99527-2463	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-10	Diego Balde Bassini			-
DEG-11	Maria José Pinto Costa	727.276.587-73	(27) 99840-1608	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-12	Maria da Penha Jesus Leite	100.939.217-48		Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-13	Maria Aparecida Borges Carapina	080.050.267-14	(27) 99853-0094	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-14	Magdo Silva da Conceição	119.713.927-31	(27) 99862-1967	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-15	Mayra Silva de Jesus	143.313.967-70	(27) 99727-9116	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-16	Maria Aparecida Lino de Oliveira	137.110.907-35	(27) 99956-1978	Cons. Humano
DEG-17	Marquielle Penha de Jesus	120.482.747-81	(27) 99818-6633	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-170	Genivaldo Bassini		(27) 99984-1270	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-18	José de Araujo Silva	372.160.155-68	(27) 99895-0909	Cons. Humano/Irrigação
DEG-19	Altamir da Rosa Silvério	653.539.287-00	(27) 99974-8155	-
DEG-20	Marli Leite do Santos	057.289.337-00	(27) 99805-7616	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-21	Jorge Lino de Oliveira	034.527.077-09	(27) 99747-6846	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-22	José Borges Pinto	002.902.017-48	(27) 99912-5955	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-23	Rosangela Alves de Jesus	059.411.987-10	(27) 99509-9208 / (27) 99783-2852	Cons. Humano/Irrigação
DEG-24	Lindamara Rodrigues Ramalho	136.437.907-40	(27) 99967-9255	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-25	Ocimar Leite Correia	-	(27)95729-1145	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação

ID	Proprietário	CPF	Contato	Uso
DEG-26	Celi Correia de souza	Não tem	(27) 99869-0264 (Saia)	Cons. Humano/Irrigação
DEG-27	Antônio Penha de Jesus	007.878.017-98	-	Cons. Humano/Irrigação
DEG-28	Sidney Aparecido Mariano Leite	172.534.067-45	(27) 99707-0727 (Mauriseia)	Cons. Humano/Des. Animal
DEG-29	Tereza Alves de Jesus	115.478.407-06	(27) 99892-7134	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-30	Antônio Leite dos Santos Júnior	172.534.257-07	(27) 99707-0823 / (27) 99707-0727 (Mauriseia)	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-31	Maria Lira Leite	004-451.287-20	(27) 99304-1073	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-32A	Pedro Candido Correia	686.987.807-25	(27) 99897-4509	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-32B	Pedro Candido Correia	686.987.807-26	(27) 99897-4509	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-33	Luciana Leite Correia	-	(27) 99897-4509	Cons. Humano/Irrigação
DEG-34	Eraldo Leite Correia	107.432.507-96	(27) 99644-3999	Cons. Humano/Irrigação
DEG-35	Joselmo Neris de Souza	101.384.877-78	(27) 99984-3328	Cons. Humano/Irrigação
DEG-36	Raiane Eusebio Correia	179.024.557-60	(27) 99893-9856	Desativado
DEG-37A	Nayelle Silva Gonçalves	152.652.957-20	(27) 99855-1668	Cons. Humano/Irrigação
DEG-38	Sheila Bernardo Severiano	120.955.307-48	(27) 99699-1304 (Tereza)	Cons. Humano/Irrigação
DEG-39	Cleidiane Rodrigues de Brito	064.387.897-12	(27) 99914-5691	Cons. Humano/Irrigação
DEG-40	Rosa Pereira	-	(27) 99520-5504	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-41	Leila Bernardo Severiano	-	(27) 99699-1304 (Tereza)	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-42	Alexandra Costa Pereira	149.676.587-76	(27) 99658-2483	Atualmente não é utilizado
DEG-43A	Valdete Leite Correia	113.642.607-86	(27) 99898-5248	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-43B	Valdete Leite Correia	113.642.607-86	(27) 99898-5248	Cons. Humano/Irrigação
DEG-44	Silvana Rosa Bernardo do Santos	130.996.627-39	(27) 99942-6163	Doméstico/Consumo Animal/Irrigação
DEG-45A	Rafael Santos	-	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-45B	Rafael Santos	-	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-45C	Rafael Santos	-	-	Cons. Humano/Irrigação
DEG-46A	Fabiano Santos Pereira	118.150.107-54	(27) 99810-9768	Cons. Humano/Irrigação
DEG-46B	Fabiano Santos Pereira	118.150.107-54	(27) 99810-9768	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-47	José de Jesus do Santos	690.056.997-87	(27) 99655-2852	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-48	Adriana Pereira	136.437.597-10	(27) 98100-9058	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-49	Jean Borges Albertino	149.065.297-39	(27) 99634-8369	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-50	João do Nascimento Conceição	414.430.635-68	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-51	Erica do Santos	143.314.177-94	(27) 99928-2405 (Fofão)	Cons. Humano/Irrigação
DEG-52	Manoel Borges Rosa	069.979.287-81	(27) 99936-4914	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-53	Manoel Candido Borges	062.144.817-65	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-54	Maria da Penha de Jesus	690.057.967-15	-	Irrigação
DEG-55	Rosa Borges do Santos Leite	107.739.627-94	(27) 99787-1314	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-56	Maria Aparecida do Santos	081.268.597-09	(27) 99928-2405	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-57	Julio Lira Leite	070.856.668-54	(27) 99801-2117	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-58	Geovana Santos da Silva	073.185.765-85	(27) 98505-1015	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-59A	Simone Silva de Jesus	108.904.437-26	(27) 99603-2176	Cons. Humano/Des. Animal
DEG-59B	Simone Silva de Jesus	108.904.437-27	(27) 99603-2176	Des. Animal
DEG-60	Antonio Penha de Jesus	-	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-61	Joseli da Conceição Mariano	ID:3145.868-ES	-	Cons. Humano/Irrigação
DEG-62	Jerusa Borges	097.631.507-60	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-63	Gilberto Silva de Oliveira	008.770.747-04	(27) 99639-4844	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-64	Jucelino Neres de Souza	051.133.848-10	(27) 99984-9078	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-65	Valdineia de Melo Caetano	-	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-66	Keyla Costa do Santos	200.259.407-40	(27) 99774-8211	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-68	Pedro Leite Costa	653.335.357-87	(27) 99907-6781	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-69	André da Silva Costa	134.502.197-95	(27) 99666-6735	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-70A	Renato da Silva Gonçalves	024.571.517-75	(27) 99708-2525	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-70C	Renato da Silva Gonçalves	024.571.517-75	(27) 99708-2525	Cons. Humano
DEG-71	Simar Santana Araujo	097.295.207-12	-	Doméstico, consumo animal e irrigação
DEG-72	Deusdete Borges	-	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-73	Euripides Leite Borges	027.786.157-84	(27) 99858-6801	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-74	Ademir de Brito	-	-	Desativado

ID	Proprietário	CPF	Contato	Uso
DEG-75	Carlos Pereira da Silva	017.307.637-82	(27) 99733-0155	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-76	Maria do Santos Fereira	099.049.747-05	(27) 99956-4364	Cons. Humano/Des. Animal
DEG-77	Marli Araujo do Santos	107.313.667-19	(27) 99847-7747	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-78	Josemar Araujo do Santos	086.385.147-94	(27) 99847-7747	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-79	Leucádio Leite Costa	379.878.017-04	(27) 99623-8867	Doméstico e consumo animal
DEG-80	Clarinda Silva Costa	996.367.787-87	(27) 99754-7913	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-81	Luana Carla Oliveira Pinto	127.489.737-80	(27) 99643-2117	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-82A	Edson Barbosa de Jesus	117.111.007-13	(27) 99528-2761	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-83	William Borges de Jesus	135.505.157-66	(27) 99882-8513	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-84	Edinalva da Vitória Borges	110.050.877-50	(27) 99617-3192 (Marilene)	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-85	Gecimar da Vitória Borges	-	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-86	Conceição Maria de Brito	104.915.067-83	(27) 99922-6523	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-87	Jessica Belarmino	129.585.377-90	(27) 99741-2729	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-88	Miriam de Brito	136.437.417-07	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-89	Vanessa Ribeiro de Souza	180.485.467-01	(27) 99928-0849	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-90	Ivaneia Borges de Jesus	129.693.057-20	(27) 99841-3866	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-91	Eliana Angelo da Vitoria Benito	097.261.567-93	(27) 99917-4780	Cons. Humano/Irrigação
DEG-92	Gelson Manoel Francisco	131.268.867-01	(27) 99738-1990	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-93A	Daniel da Vitória Nogueira	127.489.677-04	(27) 99627-7794	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-93B	Daniel da Vitória Nogueira	127.489.677-04	(27) 99627-7794	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-94	Joseane Moura Vieira	116.901.377-54	(27) 99502-1042	Cons. Humano
DEG-95	Reis Anchieta Leite	031.631.477-39	(27) 99929-7677	Desativado
DEG-96	Francisco Alexandre Alves Gomes	014.840.843-57	-	Desativado
DEG-97	Jilmara Leite Borges	163.216.327-67	(27) 99787-6473	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-98	Evanilda de souza	846.922-8 CT	-	-
DEG-99	Sidneia Leite do Santos	127.632.647-51	(27) 99723-6852	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-100	Daiane Silva Costa	134.122.357-41	(27) 99972-0158	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-101	Fabiana Silva de Souza	183.978.767-82	(27) 999723-2978	Cons. Humano/Irrigação
DEG-102	Gecirlane Jesus do Santos	061.545.557-51	(27) 99962-3159	Cons. Humano/Irrigação
DEG-103	Nailda dos Santos de Jesus	850.371.257-15	(27) 99958-7220	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-104	Marta Aparecida Fereira Leite	117.521.417-50	(27) 99643-1549	Cons. Humano/Irrigação
DEG-105	Manoel Antônio Borges	-		Cons. Humano/Irrigação
DEG-106	Leidiane Belarmino	133.370.777-06	(27) 99650-5338	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-107	Jailton Santos Quaresma	075.858.226-93	(27) 99739-5958 (Francisco)	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-108	Francisco Antônio de Jesus	019.995.317-10	(27) 99739-5958	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-109	Gabriel Nunes de Oiveira	210.372.437-46	(27) 99815-3132	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-111A	Ailton Bastos	656.803.597-15	(27) 99815-3132	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-112	Moacir José dos Santos	061.267.767-20	(27) 99579-7653	Cons. Humano/Irrigação
DEG-113	Elivania Angelica de Jesus Oliveira	089.929.667-09	(27) 99579-4444	Irrigação
DEG-114	Lucineide de Brito	136.437.407-27	(27) 99741-1760	Doméstico/Consumo Animal/Irrigação
DEG-115A	Marco Antônio de Morais	093.206.467-16	(27) 99619-2236	Cons. Humano/Irrigação
DEG-115B	Marco Antônio de Morais	093.206.467-16	(27) 99619-2236	Cons. Humano/Des. Animal
DEG-116	Jeferson Silva Marques	128.043.877-04	(27) 99833-7375	Cons. Humano/Irrigação
DEG-117	Milton Oliveira dos Santos	-	(27) 99890-2839	Irrigação
DEG-118A	Maria Luiza	175.647.227-03	(27) 99752-9285	Cons. Humano/Irrigação
DEG-118B	Maria Luiza	175.647.227-03	(27) 99752-9285	Cons. Humano/Irrigação
DEG-119A	Luana Caliman Cavatti	109.581.887-26	(27) 99984-1389	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-120	Nilton Clarindo de Vargas	1.100.582-ES RG	(27) 99974-2565	Doméstico/Consumo Animal/Irrigação
DEG-122	Joarina Correia de Araujo	034.969.987-92	(27) 99574-6541	Cons. Humano/Irrigação
DEG-124	Priscila Barbosa	933.025.332-68	(27) 99927-0315	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-125	Wesley Sesana	051.904.917-90	(27) 99944-4841	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-126	Marcelo de Souza	000.817.987-50	(27) 99848-8326	Cons. Humano/Des. Animal
DEG-127B	Gisolino de Jesus Gomes	331.960.606-91	(27) 99915-9346 / (27) 99806-0588	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-128	Gerildo de Jesus Gomes	377.535.687-87	(27) 99989-7230	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-129	Marijane de Jesus Leite	059.477.637-61	(27) 99508-7250	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-130	Francisnei de Jesus Leite	104.526.827-54	(27) 99702-7875	Cons. Humano/Irrigação
DEG-131	Jean Leite de Oliveira	141.871.417-82	(27) 99888-0394	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-132	José Borges	015.302.557-32	(27) 99894-0730	Cons. Humano/Des. Animal

ID	Proprietário	CPF	Contato	Uso
DEG-133	Welton Leite Borges	015.302.557-32	-	Cons. Humano/Irrigação
DEG-134	Daniele dos Santos	118.150.117-26	(27) 99874-6800	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-135	Andreia Barbosa dos Santos	040.298.035-20	(73) 99869-7305	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-136	Audrivania silva da Conceição	117.798.387-78	(27) 99880-6188	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-137	Marinez Borges Carapina	-	-	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-138	Leide Fagundes Borges	154.167.747-11	(27) 99957-0744	Cons. Humano/Irrigação
DEG-139	Maria da Penha Borges Carapina	094.231.897-84	(27) 99968-1899	Cons. Humano/Irrigação
DEG-140	Gecimar Borges Carapina	079.922.597-50	(27) 99897-8198	Cons. Humano
DEG-141A	Regina Celia Lopes	471.227.577-49	(27) 99946-5847	Desativado
DEG-141B	Regina Celia Lopes	471.227.577-49	(27) 99946-5847	Irrigação
DEG-143	Celimar Maria Sigler	093.193.227-08	(27) 99745-7223	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-144A	Gabriel Jesus Leite de Souza	149.816.447-10	(27) 99924-7699	Cons. Humano/Irrigação
DEG-144B	Gabriel Jesus Leite de Souza	149.813.447-10	(27) 99924-7699	Cons. Humano/Irrigação
DEG-145A	Adjalma Vieira de Jesus	575.524.287-91	(27) 99912-1453	Irrigação
DEG-145B	Adjalma Vieira de Jesus	575.524.287-91	(27) 99912-1453	Cons. Humano/Irrigação
DEG-146	Elder Penha Leite	101.631.487-67	(27) 99888-2385	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-147	Leonardo Carapina Fagundes	143.330.577-10	(27) 99958-2997	-
DEG-148	Marlene Thomas Santana Carapina	005.017.301-41		Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-149	Ernandes Borges Carapina	100.494.847-61		Cons. Humano
DEG-150	Andressa Borges Pinto	175.914.017-18	(27) 99886-5053	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-151	Gabriela Borges Pinto	141.932.157-92	(27) 99860-7634 (Camila)	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-152	Lucimar Antônio Gomes Pinto	113.224.647-40	(27) 99861-5061	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-153	Maria das Graças Gomes Pinto	138.712.387-40		Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-154	Severino Almeida de Jesus	443.819.995-68	(27) 98879-6482	Cons. Humano/Irrigação
DEG-155	Manoel José Fereira Maia	681.655.367-53	(27) 99651-7795	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-156	José Carlos Penha Leite	004.430.037-93	(27) 99723-4714	Cons. Humano/Irrigação
DEG-157	Gilmar Santos Oliveira		(27) 99656-4725	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-158	Alciara Miranda Menezes		(27) 99705-2336	Cons. Humano/Irrigação
DEG-159A	Francisco Eustaquio de Oliveira		(27) 99632-9211	-
DEG-159B	Francisco Eustaquio de Oliveira		(27) 99632-9211	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-160	Cristhian Roberto dos Santos		(27) 99832-4598	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-161	Maria do Carmo Borges		(27) 99983-0155	Cons. Humano
DEG-162	José Maria dos Santos		(27) 99646-4094 / (27) 99984-1882 (Carlos Almeida - proprietário)	Cons. Humano/Irrigação
DEG-163A	Ronaldo Fridman Machado		(27) 99967-6995	Cons. Humano/Irrigação
DEG-163B	Ronaldo Fridman Machado		(27) 99967-6995	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-164	Jaine Lira Rodrigues dos Santos		(27) 99950-2151	Cons. Humano/Des. Animal
DEG-165	Domingos Borges		(27) 99777-7004	Desativado
DEG-166	Aparecida Borges		(27) 99835-2529	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-167	Antônio Fernando de Souza Santos		(27) 99751-1367	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-168	Moises		(27) 99751-1367	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-169	Flabio Antônio Brunhara		(27) 99794-9064	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação

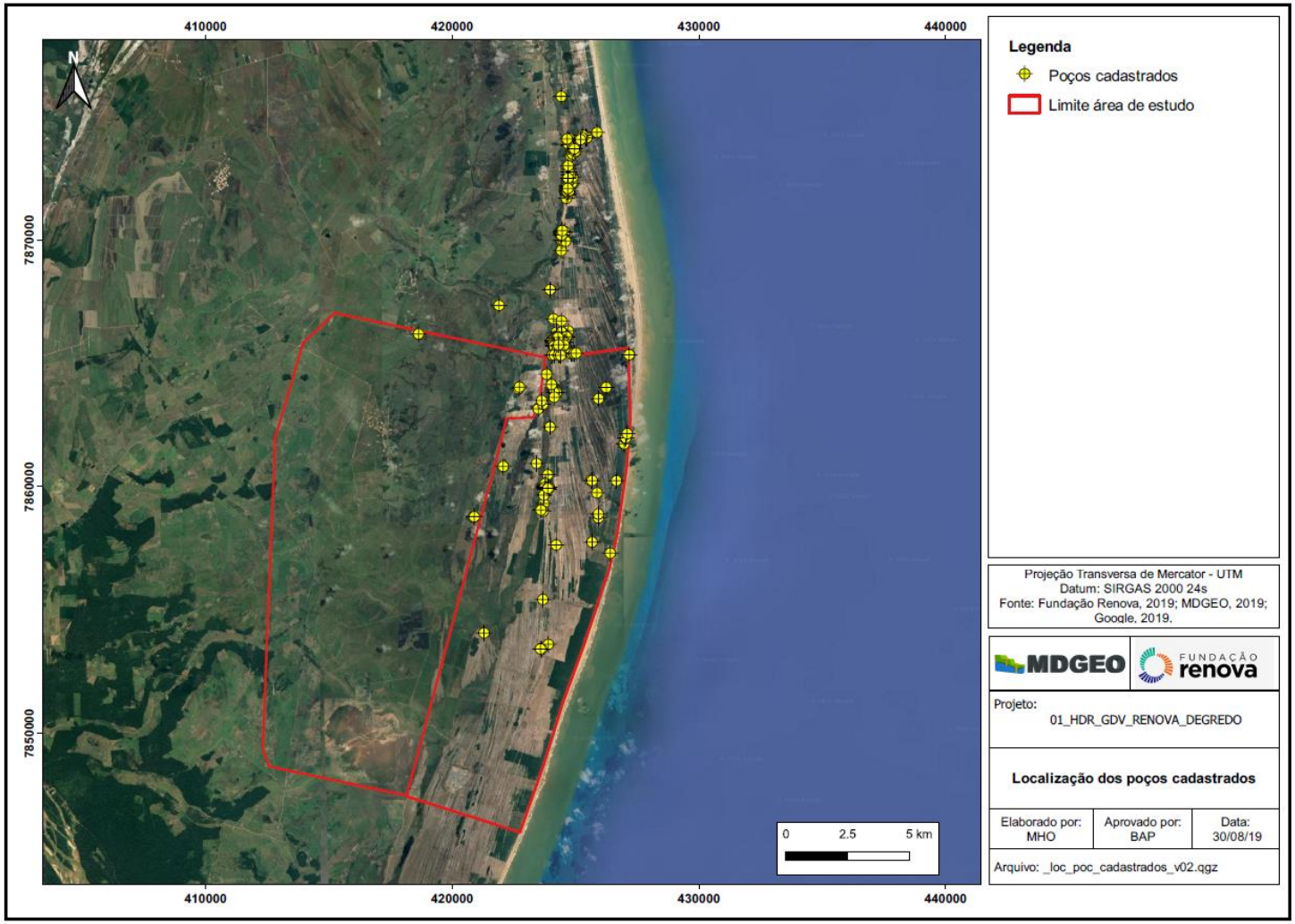


Figura 7.1: Localização dos pontos cadastrados.

7.1 POÇOS RASOS

Foram cadastrados 179 poços rasos (profundidade inferior a 20 metros) na área da comunidade Degredo. A água desses poços é usada para consumo humano (exceto hidratação), dessedentação animal e irrigação, segundo informações repassadas pelos moradores. As fotos a seguir mostram exemplos de poços rasos cadastrados durante o campo. Devido ao baixo volume de água bombeada e a baixa profundidade dos poços as bombas usadas são de baixa potência, podendo ser do tipo sapo, válvula ou diamante.

Foto 7.1: Poço raso (Poço 28).

Foto 7.2: Poço raso (Poço 56).

Foto 7.3 Poço raso (Poço 112).

Foto 7.4 Poço raso (Poço 141A).

Durante o questionário que era feito aos moradores algumas informações sobre a qualidade da água dos poços foram repassadas. A maioria dos moradores afirmou que a água dos poços costumava ser boa, mas nos últimos tempos piorou muito, inclusive disseram que cerca de seis meses antes do cadastramento começaram a ter coceira após o banho (grande maioria dos pontos), dessas pessoas que comentaram sobre a piora da água, grande parte afirma que a piora da água começou após o rompimento da barragem, outras pessoas, no entanto disseram que a água na verdade começou a piorar após a enchente de 2013.

Em conversas com os moradores mais velhos por exemplo o senhor Pedro Cândido Correia (perfurador de poços) diz que a qualidade da água piorou realmente nos últimos tempos, principalmente a coloração (turbidez) e o odor, mas disse que ela sempre apresentou “ferrugem” e um pouco de “cheiro de ferro”, indicando que a elevada concentração de ferro é normal na região.

Muitas casas na região apresentam ferrugem nas caixas d’água e encanamentos (Foto 6.15 e Foto 6.16), inclusive várias pessoas disseram que tem que lavar a caixa d’água com frequência (15 em 15 dias), o senhor Roberto Borges do Santos por exemplo comentou que limpa a caixa d’água de três em três dias e a bomba toda semana em razão do acúmulo de “ferrugem”, vale ressaltar que Roberto foi que deu mais detalhes sobre a frequência da limpeza em virtude que no dia do primeiro cadastramento na comunidade ele estava fazendo a limpeza da bomba. Para tentar resolver esse problema do cheiro e da ferrugem muitos usam cloro.

Foto 7.5: Caixa d'água com acumulo ferrugem na comunidade.

Foto 7.6: Poço com acumulo ferrugem (DEG-167).

A pessoas comentam que a água sai do poço clara, mas quando passa um certo tempo na caixa ou em algum recipiente ela começa a ficar com uma coloração amarelada e ter uma espécie de "capa de óleo" (Foto 7.7), aspecto também observado em alguns dos poços cadastrados, outras já informaram que a água sai do poço com a coloração amarelada/avermelhada (Foto 7.8), quando usada para lavar roupas brancas a água da região costuma mancha-las.

Foto 7.7: Espécie de "capa de óleo" e ferrugem no fundo quando deixada na caixa d'água (DEG-155)

Foto 7.8: Água amarelada quando é retirada do poço e joga na caixa d'água (DEG-105).

Na área delimitada para o presente estudo Comunidade Quilombola de Degredo existem poços de extração de petróleo/gás (Foto 7.9), estes poços ficam distantes da comunidade, no entanto existem tubulações de petróleo/gás da Petrobrás que passam

próximas as residências (Foto 7.10). Alguns moradores como a Sra. Léia (esposa do senhor José Leite Santos) desconfia que esse aspecto de “capa de óleo” pode estar relacionado com algum vazamento ou algo do tipo nessas tubulações. O senhor Gelson Manoel Francisco do Santos comentou no primeiro cadastro de usuário que quando perfurou um poço em sua casa com cerca de 6,0 metros começou a dar um cheiro muito forte de gás, o que fez com que ele parasse de escavar e tamponar o poço.

Foto 7.9: Poço de extração de petróleo/gás na porção norte da área de estudo.

Foto 7.10: Tubulação de petróleo/gás próxima as residências.

Ao se entrar nas residências para ir até os poços foi possível observar que existiam fossas, mas as mesmas se encontravam a uma certa distância dos poços, durante conversa com o senhor Gisolino de Jesus Gomes ele nos disse que as análises feitas com as águas da região estão apresentando concentrações de coliformes fecais nos resultados, possivelmente uma das contaminações da água está ligada a existência dessas fossas. Este senhor também nos disse que considera que os rejeitos não chegaram até a comunidade e sim nos locais onde a água do mar entra para o continente (Lagoa dos Cavatti) e locais alagados próximos a ela. A contaminação da água da Lagoa e áreas alagadas próximas a ela, deve realmente ter ocorrido uma vez que o mar na região próxima à lagoa foi contaminado, sendo inclusive a pesca e o banho proibidos na região de Degredo.

7.1.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

Durante o trabalho de campo foram medidos a coordenada do poço, a profundidade, a profundidade do nível d'água (Foto 7.11 e Foto 7.12), o diâmetro e o tubo de boca. Posteriormente foi calculada a cota do nível d'água através da fórmula apresentada a seguir, esta informação essa será utilizada posteriormente para a confecção do mapa potenciométrico da área de estudo.

Cota N.A. (m) = (Cota (m) + Tubo de Boca (m)) – N.A. (m)).

Foto 7.11: Medição do NA (Poço 80).

Foto 7.12: Medição do NA (Poço 81).

A Tabela 7.2 apresenta os dados coletados em campo e a profundidade do N.A. para os pontos cadastrados. As descrições completas dos pontos, bem como os perfis esquemáticos dos mesmos, estão disponíveis no Anexo III deste relatório

Tabela 7.2: Dados construtivos dos poços cadastrados.

ID	X	Y	Cota (m)	N.A (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota. N.A. (m)	Diâm. tubo (mm)
DEG-02	423747	7859878	8,00	2,62	4,91	0,40	5,78	100
DEG-03	423850	7860412	6,00	2,43	4,13	0,28	3,85	100
DEG-04	422665	7863895	6,00	4,41	0,67	0,60	2,19	200
DEG-05	424132	7863885	3,00	0,91	2,95	0,28	2,37	200
DEG-06	424344	7865274	5,00	1,88	4,07	0,06	3,18	150
DEG-07	424229	7865749	7,00	3,77	5,79	1,15	4,38	200
DEG-08	424435	7865751	20,00	1,44	4,50	0,20	18,76	200
DEG-09	424503	7866218	8,00	2,71	4,69	0,90	6,19	200
DEG-10	424208	7866184	8,00	2,96	5,00	0,00	5,04	200
DEG-11	424399	7869498	5,00	2,93	5,68	0,00	2,07	200
DEG-12	424403	7869911	4,00	2,67	4,42	1,23	2,56	200
DEG-13	424647	7871936	3,00	2,14	3,60	0,90	1,76	150 (250)
DEG-14	424660	7872067	5,00	3,36	5,39	0,30	1,94	150 (200)
DEG-15	424712	7872273	7,00	3,65	5,50	0,43	3,78	150
DEG-16	424695	7872826	5,00	2,01	3,82	1,00	3,99	150*
DEG-17	424828	7873514	10,00	3,21	5,03	0,40	7,19	100

ID	X	Y	Cota (m)	N.A (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota. N.A. (m)	Diâm. tubo (mm)
DEG-18	424705	7874050	7,00	2,44	4,28	0,30	4,86	100
DEG-19	424396	7875746	10,00	3,97	5,84	0,53	6,56	100
DEG-20	425396	7874110	6,00	2,11	7,43	0,27	4,16	200
DEG-21	425849	7874289	5,00	1,19	2,92	0,00	3,81	100
DEG-22	424782	7873331	6,00	4,02	6,85	0,70	2,68	100
DEG-23	424422	7866201	6,00	2,30	5,66	0,50	4,20	150
DEG-24	424138	7865951	5,00	2,09	4,77	0,42	3,33	150
DEG-25	424225	7865977	7,00	2,38	3,37	0,00	4,62	150
DEG-26	424322	7865980	5,00	0,98	2,75	0,00	4,02	250
DEG-27	424688	7866236	9,00	2,77	5,76	0,90	7,13	200
DEG-28	424226	7865927	11,00	3,15	4,92	0,58	8,43	150
DEG-29	424415	7866194	5,00	2,41	3,52	0,10	2,69	200
DEG-30	424053	7865882	5,00	1,12	3,85	1,10	4,98	150
DEG-31	424087	7865880	9,00	3,72	5,48	0,43	5,71	150
DEG-32A	424074	7865820	8,00	3,94	7,19	0,27	4,33	150
DEG-32B	424071	7865828	8,00	3,12	5,78	0,17	5,05	150
DEG-33	424108	7865826	9,00	3,26	4,04	0,40	6,14	150
DEG-34	424048	7865846	6,00	2,46	3,18	1,00	4,54	150
DEG-35	424204	7865955	6,00	3,42	5,33	0,19	2,77	200
DEG-36	424145	7865825	3,00	3,10	4,80	0,50	0,40	200
DEG-37A	424063	7865751	3,00	4,35	4,79	0,70	-0,65	150
DEG-38	424189	7865802	7,00	3,19	5,06	0,13	3,94	200
DEG-39	424222	7865811	9,00	2,54	5,71	0,10	6,56	100
DEG-40	424221	7865827	9,00	2,75	4,62	0,47	6,72	100
DEG-41	424240	7865824	5,00	2,94	4,42	0,60	2,66	150
DEG-42	424250	7865827	5,00	2,27	3,18	0,00	2,73	150
DEG-43A	424284	7865841	7,00	2,50	4,49	0,85	5,35	200
DEG-43B	424300	7865852	6,00	2,43	6,34	0,27	3,84	150
DEG-44	424344	7865887	5,00	-	6,00	-	-	150
DEG-45A	424637	7866000	7,00	0,94	4,91	0,30	6,36	250
DEG-45B	424614	7865973	9,00	2,97	3,80	0,00	6,03	200
DEG-45C	424610	7866002	9,00	2,52	5,31	0,35	6,83	200
DEG-46A	424553	7865767	9,00	3,06	4,46	0,23	6,17	150
DEG-46B	424552	7865796	9,00	2,77	4,94	0,30	6,53	100
DEG-47	424489	7865778	7,00	1,31	3,43	0,00	5,69	150
DEG-48	424267	7865973	9,00	2,57	3,79	0,58	7,01	150
DEG-49	424309	7865651	13,00	1,24	3,80	0,19	11,95	150
DEG-50	424287	7865633	9,00	1,68	3,73	0,00	7,32	200
DEG-51	424072	7865639	12,00	4,10	5,81	0,10	8,00	100
DEG-52	424072	7865636	12,00	4,91	7,34	0,82	7,91	200
DEG-53	424103	7865638	9,00	3,55	5,57	0,40	5,85	150
DEG-54	424069	7865682	7,00	3,09	5,11	0,11	4,02	150
DEG-55	424111	7865653	4,00	2,54	5,03	0,50	1,96	150
DEG-56	424112	7865628	4,00	2,18	4,25	0,44	2,26	150
DEG-57	424304	7865659	6,00	2,25	5,14	0,68	4,43	100
DEG-58	424513	7865672	8,00	2,35	3,09	0,54	6,19	150
DEG-59A	424031	7865255	7,00	1,10	2,57	0,70	6,60	200
DEG-59B	424035	7865262	7,00	1,52	4,04	0,29	5,77	200
DEG-60	424117	7865263	10,00	1,83	3,81	0,64	8,81	200
DEG-61	424291	7865258	8,00	2,50	4,48	0,80	6,30	150
DEG-62	424831	7865309	10,00	1,05	2,68	0,23	9,18	150
DEG-63	424805	7865332	10,00	1,73	5,07	0,51	8,78	150
DEG-64	424376	7865250	7,00	2,05	4,08	0,27	5,22	150
DEG-65	424288	7865676	6,00	1,61	2,81	0,00	4,39	150
DEG-66	424116	7863857	6,00	0,69	2,10	0,00	5,31	400
DEG-68	424213	7863742	9,00	3,20	5,42	0,30	6,10	200
DEG-69	424118	7863744	5,00	0,66	3,00	0,37	4,71	250

ID	X	Y	Cota (m)	N.A (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota. N.A. (m)	Diâm. tubo (mm)
DEG-70A	424912	7865334	-3,00	1,28	2,83	0,13	-4,15	150
DEG-70C	424919	7865330	2,00	1,16	2,86	0,30	1,14	150
DEG-71	425003	7865339	2,00	-	-	-	-	-
DEG-72	427154	7865276	3,00	1,76	3,91	0,50	1,74	100
DEG-73	424003	7864069	2,00	0,28	2,43	0,20	1,92	200
DEG-74	424113	7863552	5,00	1,29	3,73	0,30	4,01	200
DEG-75	423945	7862347	6,00	2,47	5,51	0,33	3,86	200
DEG-76	423398	7860869	9,00	2,93	4,72	0,00	6,07	200
DEG-77	423488	7863124	8,00	3,55	5,35	0,17	4,62	100
DEG-78	423469	7863082	9,00	3,25	5,71	0,05	5,80	100
DEG-79	423660	7863267	7,00	-	5,00	-	-	-
DEG-80	423606	7863419	8,00	3,51	5,53	0,46	4,95	100
DEG-81	422048	7860750	4,00	2,21	4,51	0,20	1,99	200
DEG-82A	420852	7858726	4,00	3,17	6,85	0,56	1,39	150
DEG-83	423746	7859853	12,00	2,90	4,13	0,07	9,17	200
DEG-84	423734	7859818	9,00	2,18	4,64	0,46	7,28	150
DEG-85	423744	7859866	8,00	2,51	5,39	0,10	5,59	100
DEG-86	423715	7859911	10,00	2,72	5,03	0,82	8,10	150
DEG-87	423775	7859911	12,00	2,19	5,60	0,12	9,93	100
DEG-88	423716	7859910	8,00	2,75	5,14	0,70	5,95	200
DEG-89	423759	7859931	9,00	2,34	4,15	0,00	6,66	100
DEG-90	423774	7859930	7,00	2,31	5,62	0,42	5,11	100
DEG-91	423714	7859942	9,00	1,25	4,85	0,27	8,02	100
DEG-92	423746	7859943	11,00	2,72	5,69	0,14	8,42	150
DEG-93A	423741	7859997	10,00	2,13	4,57	0,20	8,07	100
DEG-93B	423742	7859979	10,00	2,76	5,55	0,82	8,06	150
DEG-94	423776	7859976	11,00	2,37	4,79	0,52	9,15	100
DEG-95	423753	7860054	11,00	2,00	5,64	0,00	9,00	100
DEG-96	423750	7859904	6,00	3,13	5,43	0,31	3,18	100
DEG-97	423915	7859908	10,00	3,75	5,59	0,50	6,75	150
DEG-98	423859	7859884	9,00	3,02	4,64	0,69	6,67	100
DEG-99	423861	7859891	8,00	2,94	6,04	0,59	5,65	100
DEG-100	423858	7859837	8,00	3,64	5,80	0,68	5,04	100
DEG-101	423859	7859825	7,00	2,92	6,60	0,23	4,31	100
DEG-102	423890	7859822	6,00	1.86	4,57	0,25	-	100
DEG-103	423687	7859241	13,00	2,51	5,06	0,19	10,68	100
DEG-104	423693	7859585	9,00	3,05	4,95	0,52	6,47	200
DEG-105	423858	7859858	11,00	3,31	5,80	0,43	8,12	100
DEG-106	423669	7858939	13,00	3,86	6,49	0,88	10,02	200
DEG-107	423559	7858996	10,00	2,88	5,42	0,35	7,47	100
DEG-108	423578	7858981	11,00	2,50	4,52	0,52	9,02	200
DEG-109	423873	7853534	13,00	2,22	5,39	0,52	11,30	200
DEG-111A	423557	7853351	10,00	1,44	8,62	0,16	8,72	100
DEG-112	424195	7857565	13,00	1,92	4,91	0,22	11,30	150
DEG-113	426387	7857232	4,00	3,07	11,95	0,04	0,97	150
DEG-114	425649	7857683	9,00	-	-	-	-	100
DEG-115A	425907	7858664	7,00	2,27	6,82	0,63	5,36	150
DEG-115B	425849	7859679	9,00	2,26	5,85	0,21	6,95	150
DEG-116	425905	7858821	7,00	2,50	10,49	0,37	4,87	150
DEG-117	426638	7860168	4,00	2,29	3,91	0,53	2,24	200
DEG-118A	425596	7860170	3,00	0,96	2,44	0,00	2,04	200
DEG-118B	425653	7860176	3,00	1,19	5,21	0,72	2,53	200
DEG-119A	426948	7861674	4,00	2,43	3,76	0,33	1,90	100
DEG-120	426224	7863948	8,00	-	-	-	-	-
DEG-122	423807	7864484	11,00	3,19	5,77	0,44	8,25	100
DEG-124	422701	7863964	9,00	3,99	5,79	0,78	5,79	200
DEG-125	423950	7867915	10,00	3,67	6,86	0,50	6,83	200

ID	X	Y	Cota (m)	N.A (m)	Prof. (m)	Tubo de Boca (m)	Cota. N.A. (m)	Diâm. tubo (mm)
DEG-126	426988	7861893	9,00	1,55	3,78	0,40	7,85	150
DEG-127B	427020	7861903	5,00	1,31	5,48	0,62	4,31	100
DEG-128	427074	7862077	7,00	2,32	9,56	0,05	4,73	100
DEG-129	424471	7869911	3,00	3,82	5,42	0,17	-0,65	200
DEG-130	424573	7869879	4,00	2,56	4,02	0,10	1,54	250
DEG-131	424411	7870157	3,00	2,99	5,32	0,38	0,39	100
DEG-132	424526	7870222	6,00	3,12	3,86	0,15	3,03	150
DEG-133	424544	78700262	8,00	4,44	5,29	0,05	3,61	150
DEG-134	424415	7870248	7,00	2,76	4,94	0,39	4,63	100
DEG-135	424609	7871617	11,00	3,85	4,60	0,37	7,52	200
DEG-136	424666	7871792	12,00	3,67	5,95	0,36	8,69	200
DEG-137	424652	7871858	10,00	3,23	5,78	0,47	7,24	150
DEG-138	424650	7871892	10,00	3,56	5,27	0,95	7,39	200
DEG-139	424656	7872133	9,00	3,14	5,03	0,73	6,59	200
DEG-140	424831	7872230	6,00	1,68	3,06	0,17	4,49	200
DEG-141A	424713	7872365	7,00	3,37	4,17	0,52	4,15	100
DEG-141B	424710	7872328	7,00	-	-	-	-	-
DEG-143	424085	7866730	5,00	2,15	5,19	0,30	3,15	200
DEG-144A	424426	7870262	6,00	3,64	4,83	0,55	2,91	100
DEG-144B	424404	7870270	5,00	0,96	3,30	0,17	4,21	150
DEG-145A	424423	7870235	7,00	2,92	5,97	0,10	4,18	200
DEG-145B	424413	7870240	12,00	2,27	4,10	0,22	9,95	150
DEG-146	424410	7870126	13,00	3,09	5,26	0,23	10,14	100
DEG-147	424725	7871930	11,00	3,66	3,92	0,54	7,88	150
DEG-148	424872	7872479	12,00	2,60	4,78	0,23	9,63	150
DEG-149	424738	7872568	9,00	5,24	6,96	0,36	4,12	150
DEG-150	424737	7872571	12,00	6,24	7,55	1,14	6,90	200
DEG-151	424758	7872574	11,00	2,11	3,77	0,00	8,89	200
DEG-152	424698	7872683	7,00	0,52	2,24	0,00	6,48	150
DEG-153	424686	7872932	9,00	2,10	10,59	0,54	7,44	150
DEG-154	424855	7873415	8,00	2,06	8,41	0,32	6,26	200
DEG-155	424847	7873713	11,00	4,00	6,10	0,17	7,17	100
DEG-156	424443	7870306	5,00	3,62	3,94	0,00	1,38	150
DEG-157	424676	7872430	8,00	2,90	3,34	0,30	5,40	200
DEG-158	424662	7872032	7,00	4,16	5,67	1,57	4,41	200
DEG-159A	424726	7873746	7,00	5,07	8,54	0,00	1,93	100
DEG-159B	424701	7873755	6,00	3,65	4,49	0,00	2,35	200
DEG-160	424695	7873785	8,00	4,54	4,89	0,00	3,46	150
DEG-161	424640	7874022	6,00	2,83	4,81	0,20	3,37	200
DEG-162	424959	7873512	7,00	2,04	5,37	0,46	5,42	150
DEG-163A	424884	7873649	7,00	3,28	5,26	0,52	4,24	150
DEG-163B	424936	7873619	6,00	2,37	5,02	0,57	4,20	200
DEG-164	424663	7872016	8,00	3,06	3,99	0,30	5,24	200
DEG-165	425395	7874051	4,00	1,69	9,53	0,22	2,53	200
DEG-166	425438	7874071	4,00	2,63	5,24	1,20	2,57	200
DEG-167	425261	7874171	3,00	0,80	2,51	0,19	2,39	150
DEG-168	425235	7874078	6,00	2,57	4,15	0,26	3,69	100
DEG-169	425183	7873995	3,00	0,90	1,93	-	-	150
DEG-170	424407	7866648	5,00	2,95	4,26	0,13	2,18	200

Os moradores da região informaram que os poços são perfurados utilizando-se um instrumento semelhante a um trado, estes são perfurados com 6,0 m de profundidade (tamanho padrão dos tubos) e normalmente o tubo utilizado é de PVC.

Na maioria dos casos o tubo é totalmente liso, no entanto em alguns casos este tubo apresenta uma porção de aproximadamente 1,0 a 1,5 metros furada (cortes feitos com serrinha) por onde ocorre a entrada de água no poço.

Vale ressaltar que alguns poços possuem profundidades superiores a 6,0 m, podendo chegar a 11,95 m (maior valor encontrado), entretanto alguns moradores falaram que seus poços apresentavam profundidades de até 15,0 m. Nesses casos durante a construção dos poços foram utilizados mais de um tubo de 6,0 m. A Figura 7.2 mostra perfil esquemático do padrão dos poços da região, não levando em consideração o diâmetro dos poços.

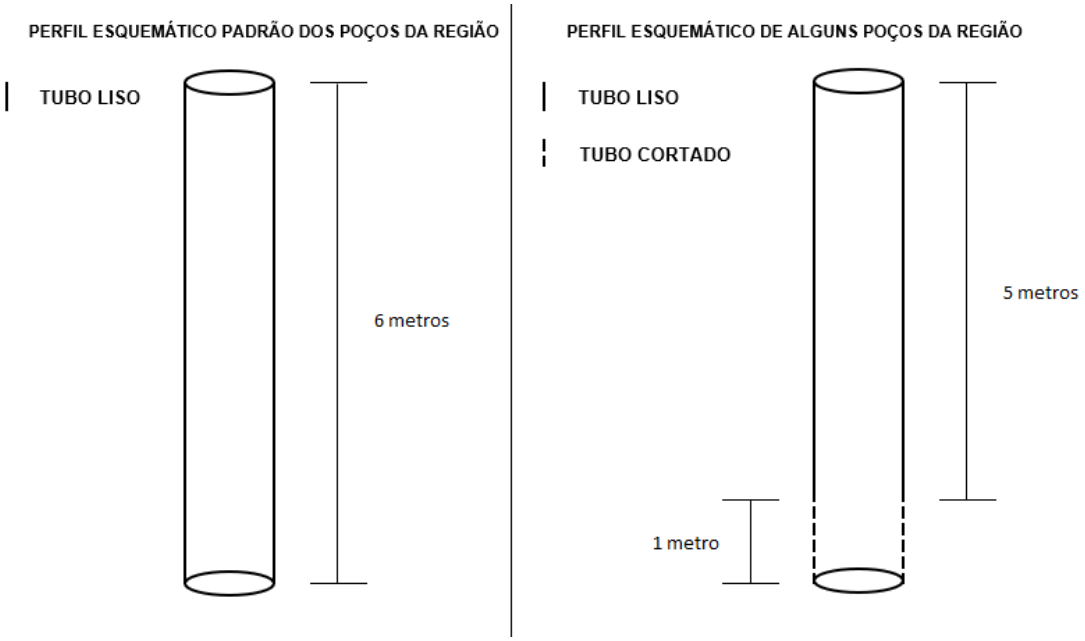


Figura 7.2: Perfil esquemático dos poços da região.

Os poços cadastrados na área não seguem o padrão estabelecido para as normas brasileiras para construção de poços, como a construção de lajes sanitárias, o que aumenta a vulnerabilidade dos poços e do aquífero.

Durante a execução do cadastramento dos poços foi medida a profundidade atual dos poços, sendo que para isso descia-se o medidor de nível portátil até tocar no fundo do poço, em todos os poços cadastrados a medida da profundidade feita em campo apresentou valores inferior ao inicial (informada pelo proprietário), isso

provavelmente ocorre devido a entrada de areia no fundo dos poços em decorrência do bombeamento.

Cerca de 84% dos poços cadastrados apresentaram profundidades inferiores a 6 metros conforme mostra a Figura 7.3, como era de se esperar levando em consideração que os tubos têm tamanho padrão de 6 metros e ocorre entrada de areia neles.

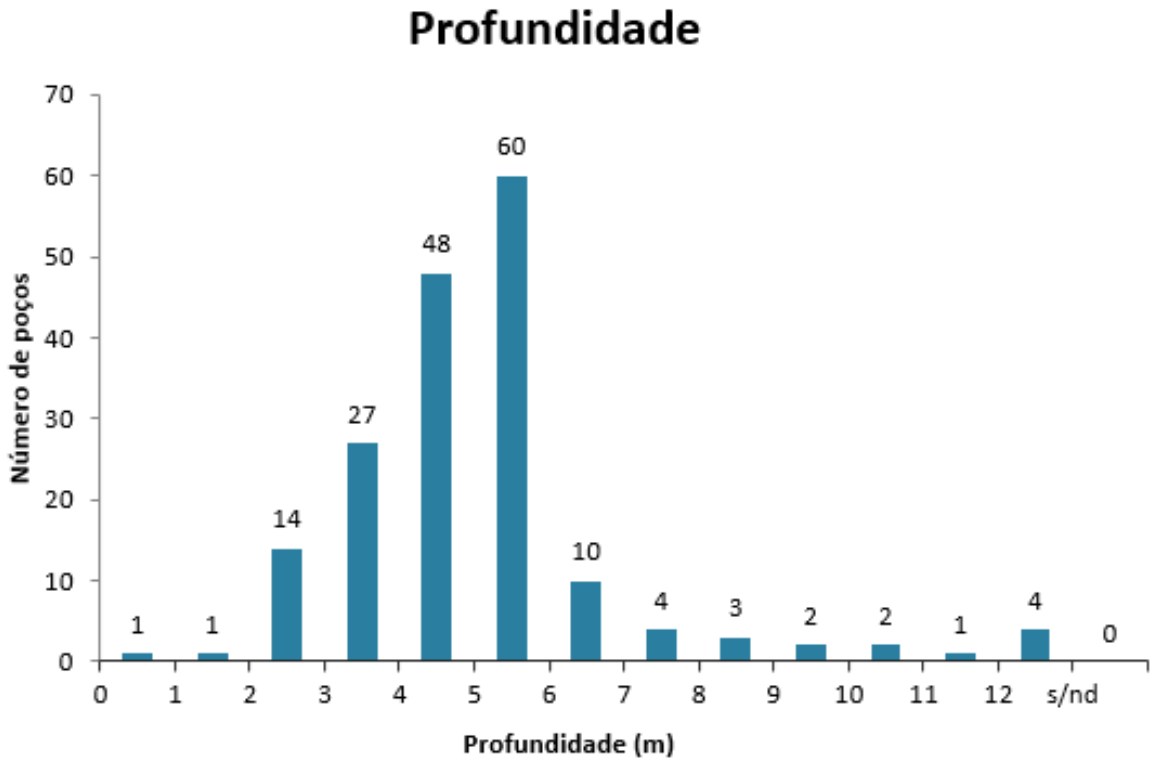


Figura 7.3: Número de poços por profundidade.

Os poços rasos da região não apresentam um diâmetro padrão, podendo apresentar tubo de PVC com 100, 150 e 200 mm (Foto 7.13, Foto 7.14 e Foto 7.15 respectivamente), também foram cadastrados 4 poços com 250 mm (Foto 7.16), e um poço no qual o tubo é uma manilha que tem 400 mm de diâmetro (Foto 7.17). Na Figura 7.4 é possível observar que a maioria dos poços apresenta diâmetro de 150 mm (36%), enquanto os poços com 200 mm e 100 mm correspondem respectivamente à 33% e 26% do total de poços cadastrados.

Foto 7.13: Poço DEG-131 (diâmetro: 100 mm)

Foto 7.14: Poço DEG-49 (diâmetro: 150 mm).

Foto 7.15: Poço DEG-166 (diâmetro: 200 mm).

Foto 7.16: Poço DEG-166 (diâmetro: 250 mm).

Foto 7.17: Poço DEG-166 (diâmetro: 400 mm).

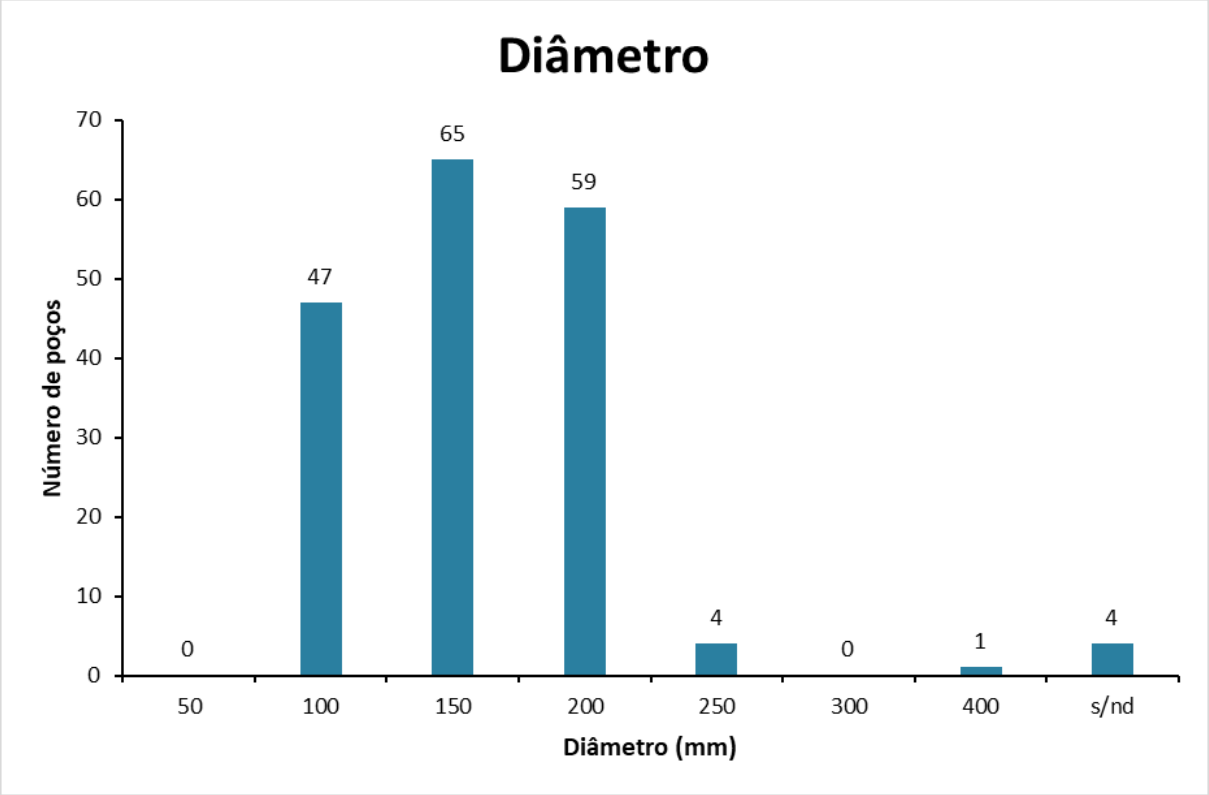


Figura 7.4: Número de poços rasos por diâmetro.

Os valores da profundidade do nível d'água (NA) encontrados durante o trabalho de campo variam 0,28 a 6,24 metros, para a realização da medida da profundidade do NA como comentado anteriormente usava-se o medidor de nível portátil. O procedimento para a medição era composto de duas etapas, primeiramente colocava-se o mesmo dentro do poço (Foto 6.7) até o mesmo atingir a água e apitar, então observa-se qual o valor na fita métrica (Foto 6.8). A Figura 6.5 mostra a distribuição dos valores da profundidade do NA, ao analisar o gráfico observa-se que 70,0% dos poços apresentam profundidade do nível d'água entre 3,0 e 4,0 metros.

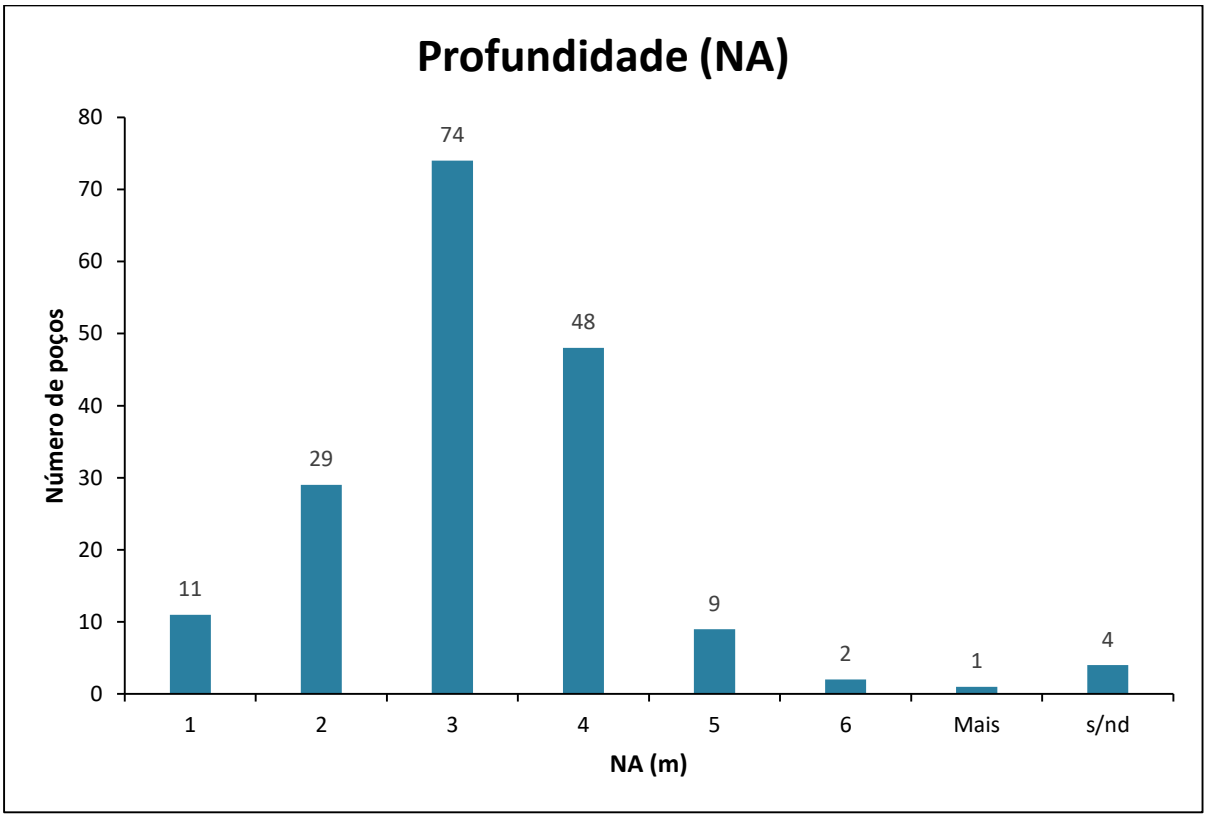


Figura 7.5: Distribuição dos valores de NA.

Os valores da profundidade do NA serem baixos, provavelmente estão associados a geologia ser prioritariamente composta por material inconsolidado (areia), material que apresenta elevada porosidade, o que permite infiltração muito rápida e consequentemente armazena grande quantidade de água, por isso, como a área é muito próxima ao mar e o nível d'água tende a ser mais elevado no continente em relação ao nível médio dos mares (altitude 0 m).

7.1.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Em todos os pontos cadastrados (exceto o ponto DEG-72) eram medidos os parâmetros físico-químicos da água, conforme metodologia apresentada a seguir, primeiramente, primeiramente ambientava-se o balde três vezes com a água do poço, em seguida pedia-se pra ligar a bomba até encher o balde de 20 litros (Foto 7.18Foto 7.19) com o intuito de tirar a água que estava dentro do poço e coletar a água do aquífero, posteriormente ambientava-se a caneca inox de 500 ml e coletava-se a água com ela (Foto 7.19), então realizava-se a medição dos parâmetros (Foto 7.20).

Foto 7.18: 1º enche-se o balde de 20 L (Poço 71).

Foto 7.19: Após enche-se a caneca de 500 ml (Poço 62).

Foto 7.20: Por fim mede-se os parâmetros com o equipamento (Poço 78).

Nos poços que não tinham bomba instalada, para realizar a coleta da água utilizou-se o bayler (Foto 7.21), seguindo procedimento a seguir; primeiramente ambientava-se o instrumento três vezes com a água presente no poço, posteriormente ambientava-se a caneca inox e coletava-se a água do bayler (Foto 7.22), por fim realizava-se a medição dos parâmetros (Foto 7.23) por meio dos equipamentos citados no subcapítulo 5.1.2. Nos poços que não era possível coletar a água diretamente do poço a água era coletada da caixa d'água.

Foto 7.21: Coletando-se a água com bayler (Poço 60)

Foto 7.22: Colocando-se a água coletada com o bayler na caneca inox (Poço 28).

Foto 7.23: Medindo-se os parâmetros da água coletada com o bayler (Poço 110B).

A Tabela 7.3 apresenta as medidas dos parâmetros físico-químicos (pH, CE e Eh) dos poços rasos, medidos durante o campo.

Tabela 7.3: Medidas dos parâmetros físico-químicos dos poços.

ID	CE (µcm/S)	pH	Eh (mV)
DEG-02	110,70	6,40	-47,50
DEG-03	123,70	6,50	-62,10
DEG-04	145,60	6,30	112,80
DEG-05	151,80	6,50	27,80
DEG-06	159,20	6,47	-91,90
DEG-07	97,90	6,40	-9,80
DEG-08	113,60	6,40	-46,40
DEG-09	156,60	6,20	33,70
DEG-10	124,60	6,50	215,60
DEG-11	137,20	6,40	44,10
DEG-12	272,00	4,90	233,60
DEG-13	109,80	6,10	105,50
DEG-14	263,00	6,30	149,50
DEG-15	108,60	6,50	29,90

ID	CE (µcm/S)	pH	Eh (mV)
DEG-16	267,00	6,50	-16,00
DEG-17	187,90	6,30	-54,80
DEG-18	71,90	6,20	81,30
DEG-19	594,00	6,40	-109,10
DEG-20	218,40	6,70	-95,30
DEG-21	103,80	6,50	127,70
DEG-22	135,10	6,70	-46,40
DEG-23	85,70	6,23	14,00
DEG-24	132,30	6,01	58,00
DEG-25	98,90	5,63	52,00
DEG-26	210,00	5,68	93,00
DEG-27	192,60	5,81	-3,00
DEG-28	92,20	5,67	79,00
DEG-29	97,70	5,45	186,00
DEG-30	78,20	6,27	50,00
DEG-31	80,50	5,76	148,00
DEG-32A	105,00	6,26	37,00
DEG-32B	98,20	5,24	500,00
DEG-33	99,60	6,06	-32,00
DEG-34	133,00	5,40	120,00
DEG-35	75,30	5,82	104,00
DEG-36	134,80	5,73	204,00
DEG-37A	58,40	6,08	66,00
DEG-38	81,10	5,82	51,00
DEG-39	102,10	6,18	53,00
DEG-40	286,00	7,20	-20,00
DEG-41	114,10	5,79	-14,00
DEG-42	128,00	5,61	294,00
DEG-43A	106,50	6,05	189,00
DEG-43B	107,10	6,11	77,00
DEG-44	80,00	5,90	66,00
DEG-45A	77,00	6,32	75,00
DEG-45B	125,40	6,20	51,00
DEG-45C	96,90	5,23	508,00
DEG-46A	100,40	5,84	282,00
DEG-46B	85,80	5,55	266,00
DEG-47	104,50	6,03	31,00
DEG-48	114,40	5,87	130,00
DEG-49	90,20	5,95	103,00
DEG-50	85,00	6,12	87,00
DEG-51	80,50	5,99	101,00
DEG-52	130,00	5,90	145,00
DEG-53	78,80	5,76	84,00
DEG-54	54,90	5,41	153,00
DEG-55	88,90	5,85	101,00
DEG-56	63,10	5,92	74,00
DEG-57	173,70	6,25	51,00
DEG-58	74,60	5,74	59,00
DEG-59A	159,70	5,97	183,00
DEG-59B	180,50	4,90	252,00
DEG-60	102,20	5,58	234,00
DEG-61	132,30	6,10	62,00
DEG-62	77,70	5,80	123,00
DEG-63	176,30	6,11	110,00
DEG-64	109,30	5,90	113,00
DEG-65	210,00	5,56	171,00
DEG-66	89,30	5,89	69,00
DEG-68	101,10	5,90	84,00

ID	CE (µcm/S)	pH	Eh (mV)
DEG-69	91,00	5,96	127,00
DEG-70A	164,00	5,83	144,00
DEG-70C	122,70	6,84	178,00
DEG-71	84,10	6,07	169,00
DEG-72	-	-	-
DEG-73	135,80	6,10	182,00
DEG-74	56,10	5,79	67,00
DEG-75	64,10	6,00	108,00
DEG-76	97,50	5,90	156,00
DEG-77	84,20	5,74	207,00
DEG-78	132,10	5,74	189,00
DEG-79	68,80	5,87	92,00
DEG-80	59,60	6,00	152,00
DEG-81	71,50	5,71	176,00
DEG-82A	151,80	6,41	210,00
DEG-83	97,90	5,86	181,00
DEG-84	112,80	5,93	125,00
DEG-85	87,20	5,91	137,00
DEG-86	146,50	6,10	152,00
DEG-87	79,10	6,08	93,00
DEG-88	142,50	5,95	270,00
DEG-89	74,40	5,97	152,00
DEG-90	33,50	5,90	156,00
DEG-91	78,50	6,01	124,00
DEG-92	73,20	5,78	165,00
DEG-93A	67,90	5,77	124,00
DEG-93B	64,40	5,62	130,00
DEG-94	63,40	5,60	105,00
DEG-95	54,30	5,98	108,00
DEG-96	160,50	5,98	249,00
DEG-97	48,40	5,68	214,00
DEG-98	62,10	5,63	172,00
DEG-99	74,40	5,71	162,00
DEG-100	91,30	5,88	137,00
DEG-101	105,80	5,78	118,00
DEG-102	87,80	5,62	104,00
DEG-103	112,40	5,84	162,00
DEG-104	70,60	5,70	142,00
DEG-105	101,80	5,86	206,00
DEG-106	75,70	5,99	117,00
DEG-107	75,90	6,07	106,00
DEG-108	102,90	5,68	173,00
DEG-109	117,30	5,83	219,00
DEG-111A	182,50	6,83	49,00
DEG-112	116,20	6,03	166,00
DEG-113	396,00	7,15	3,00
DEG-114	111,40	5,96	50,00
DEG-115A	479,00	7,49	23,00
DEG-115B	324,00	7,49	-51,00
DEG-116	585,00	7,78	-7,00
DEG-117	230,00	5,76	40,00
DEG-118A	115,60	6,28	45,00
DEG-118B	142,70	6,24	65,00
DEG-119A	365,00	6,28	181,00
DEG-120	207,00	6,43	215,00
DEG-122	75,90	5,86	248,00
DEG-124	90,60	5,35	265,00
DEG-125	140,60	5,62	239,00

ID	CE (µcm/S)	pH	Eh (mV)
DEG-126	276,00	6,30	256,00
DEG-127B	421,00	6,41	239,00
DEG-128	937,00	7,64	226,00
DEG-129	162,90	4,59	400,00
DEG-130	188,40	4,19	404,00
DEG-131	111,40	4,83	386,00
DEG-132	134,80	5,30	367,00
DEG-133	110,50	5,18	314,00
DEG-134	60,10	5,12	357,00
DEG-135	106,30	4,56	388,00
DEG-136	93,00	5,59	338,00
DEG-137	125,40	5,93	310,00
DEG-138	117,50	5,37	298,00
DEG-139	75,10	5,52	316,00
DEG-140	93,30	5,37	249,00
DEG-141A	89,50	5,59	222,00
DEG-141B	73,70	5,33	226,00
DEG-143	76,30	6,10	188,00
DEG-144A	54,20	5,70	126,00
DEG-144B	39,70	5,34	220,00
DEG-145A	92,50	5,52	273,00
DEG-145B	244,00	5,30	288,00
DEG-146	69,90	5,48	264,00
DEG-147	76,10	5,14	290,00
DEG-148	119,70	6,30	147,00
DEG-149	150,80	6,00	126,00
DEG-150	135,50	6,10	65,00
DEG-151	140,50	6,20	101,00
DEG-152	150,50	6,10	107,00
DEG-153	501,00	7,30	127,00
DEG-154	92,40	6,10	136,00
DEG-155	154,00	6,20	52,00
DEG-156	57,90	5,30	288,00
DEG-157	70,80	6,00	128,00
DEG-158	78,60	5,30	314,00
DEG-159A	249,00	6,90	50,00
DEG-159B	115,30	6,10	217,00
DEG-160	128,40	6,00	133,00
DEG-161	78,80	5,80	172,00
DEG-162	171,90	6,20	45,00
DEG-163A	121,30	6,10	159,00
DEG-163B	131,60	6,20	66,00
DEG-164	67,00	5,70	191,00
DEG-165	560,00	7,20	68,00
DEG-166	133,40	6,20	47,00
DEG-167	112,00	6,00	197,00
DEG-168	226,00	6,30	11,00
DEG-169	94,30	6,10	73,00
DEG-170	54,70	5,90	161,00

Os valores de condutividade elétrica dos poços rasos variaram de 33,5 a 937,0 µcm/S, a Figura 6.6 apresenta como é a distribuição da condutividade elétrica (CE) nos poços da área.

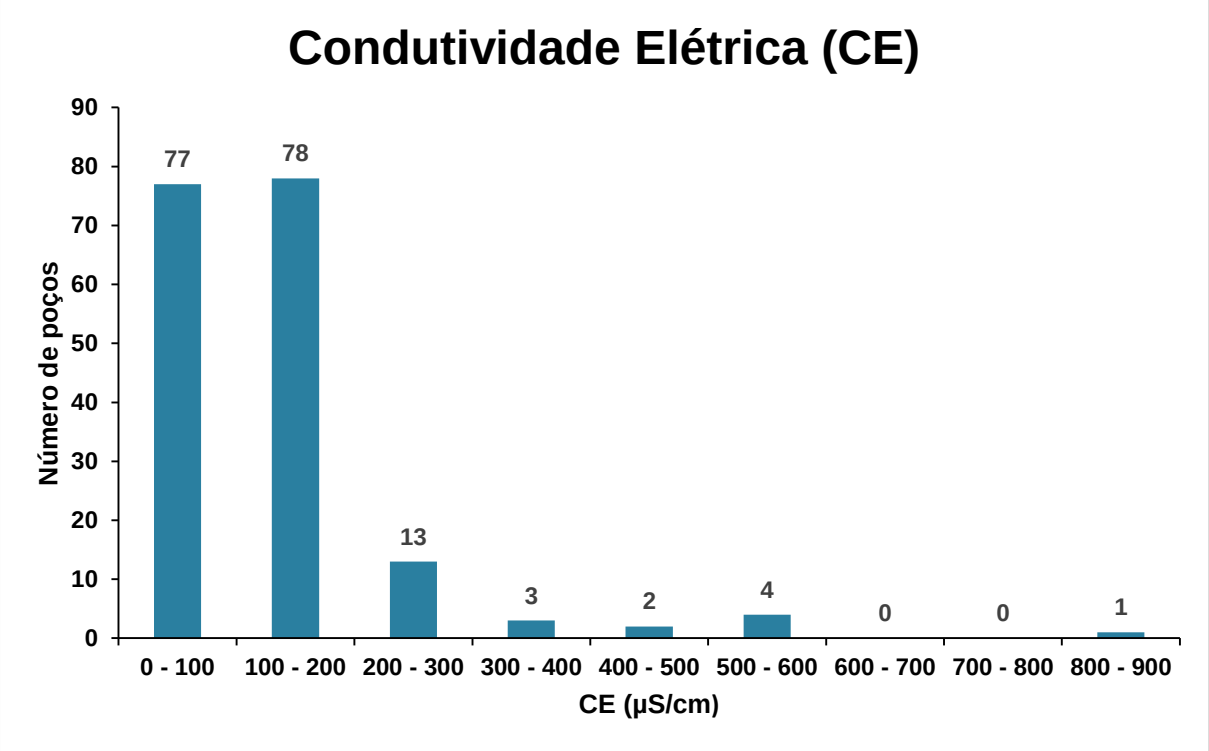


Figura 7.6: Distribuição dos valores de CE nos poços.

Ao se analisar a figura acima, percebe-se que a condutividade elétrica dos poços da região é relativamente baixa, sendo que 87% dos poços apresentou condutividade inferior a 200 µS/cm. No entanto existem alguns poços com condutividade elevada acima de 400 µS/cm. Os poços com maiores profundidades (acima de 9,0 metros) apresentaram condutividade (salinidade) mais elevada enquanto os poços, com profundidades inferiores a esta, não apresentam nenhuma tendência de correlação com a condutividade. Logo pode-se inferir que poços perfurados com mais de 9,0 metros de profundidade tendem a apresentar maior salinidade, podendo até mesmo encontrar águas salobras.

Em relação ao pH têm-se que os valores variam entre 4,19 e 7,78, a Figura 7.7 mostra a distribuição de pH nos poços da região, nela é possível observar que os poços da região, apresentam pH entre 5,0 e 7,0 (mais de 90,0%), o que indica que ele o pH é levemente ácido à neutro.

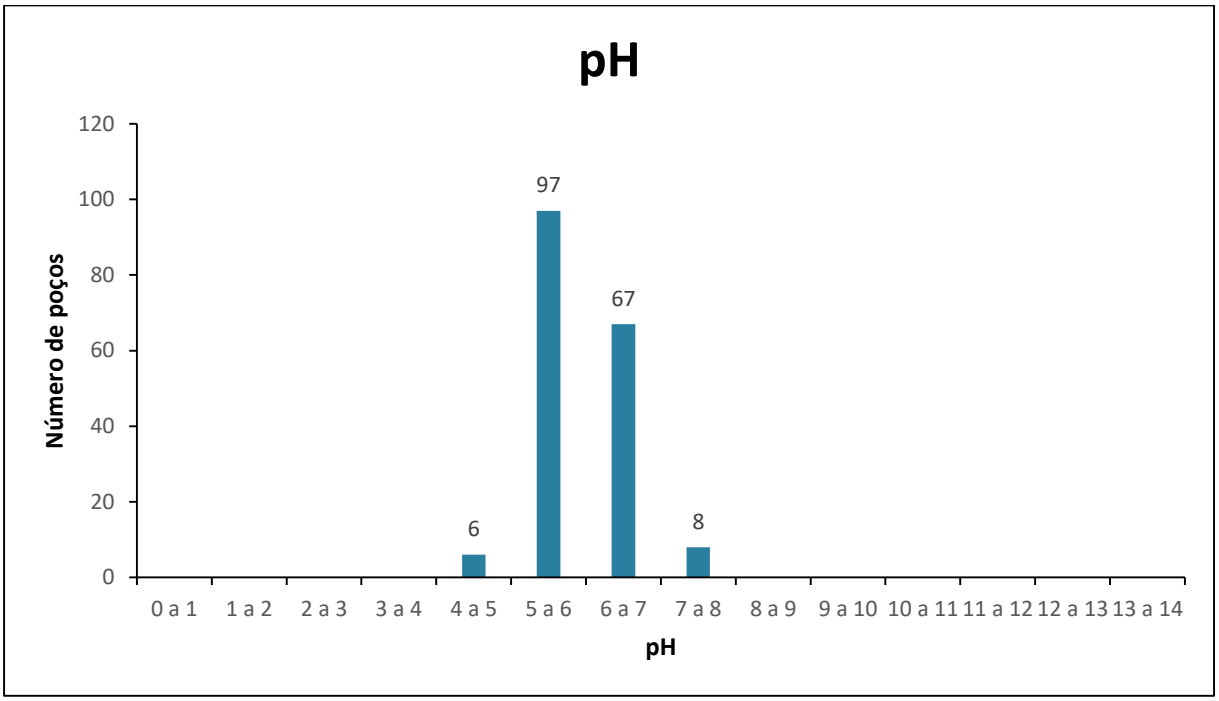


Figura 7.7: Distribuição dos valores de pH nos poços.

No entanto existem alguns 6 pontos com pH abaixo de 5,0, estes pontos localizam-se próximos ao Rio Ipiranga, principalmente em local onde a comunidade informou existir um “porto”, que segundo eles é um local onde tem-se uma escavação para gerar um local onde os barcos podiam parar, como se fosse uma pequena ramificação do rio, na qual a água vem do rio para a ramificação e não o contrário como ocorre quando está é natural. Os valores mais baixos encontrados neste local podem ser explicados pelo fato de neste ponto ocorrer estagnação da água e consequente acumulo de matéria orgânica, fator que comumente gera a diminuição do pH.

Na região também existem oito poços com valores de pH acima de 7,0, estes pontos localizam-se normalmente mais pertos do mar ou das lagoas presentes na região. Os poços com valores de pH mais elevado também apresentam condutividade elétrica elevada, o que pode ser um doa fatores que influencia para que o pH desses pontos seja mais elevado, pois considerando-se que a condutividade elétrica está relacionada a presença de cátions e ânions na água, e que os cátions reagem e neutralizam os ácidos da água, fazendo-a ficar mais básica.

De modo geral existe uma correlação entre os valores de pH e condutividade elétrica como pode ser observado na Figura 7.8, onde percebe-se claramente um elevado número de poços com valores de pH próximos a 6,0 e de condutividade próximos a 100,0 µS/cm, e que como aumento da condutividade elétrica também se tem um aumento nos valores de pH, conforme explicado anteriormente.

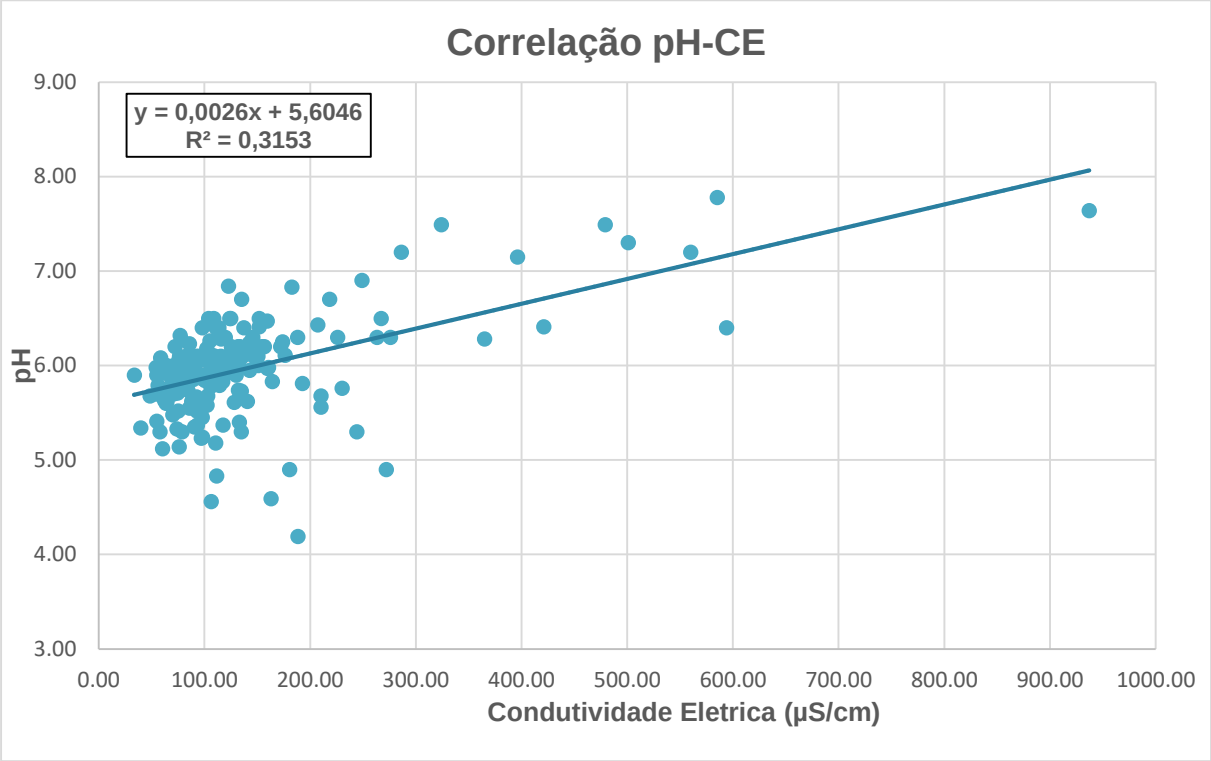


Figura 7.8: Correlação entre os valores de Condutividade Elétrica e pH.

Analisando-se os valores de Eh encontrados nos poços da área (Figura 7.9) observou-se que eles se encontram em sua maioria (87,0 %) entre 0 e 300 mV o que caracteriza um ambiente de transição para oxidante. Existem 16 pontos com valores de Eh inferiores a 0,0 mV, normalmente valores negativos tendem a indicar que o ambiente tende a ser redutor, vale destacar o ponto DEG-19 localizado no extremo norte da área que apresentou (-119, 1 mV). Por outro lado, existem 13 pontos que apresentaram Eh superior a 300 mV, nestes pontos o ambiente tende a ser prioritariamente oxidante, esses pontos concentram-se nas margens do Rio Ipiranga na porção norte da área, entretanto os pontos com maior valor de Eh (superiores a 500,0 mV) DEG-45C e DEG-32B estão localizados na porção central da área.

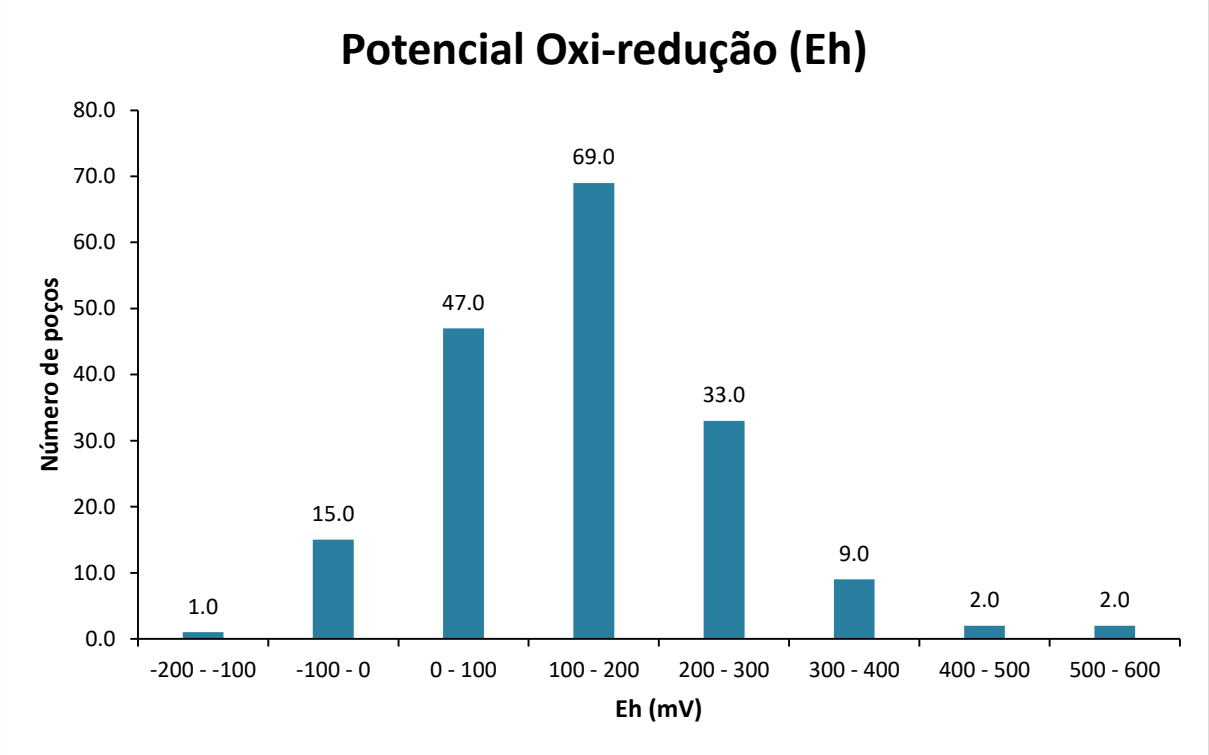


Figura 7.9: Distribuição dos valores de Eh nos poços.

7.2 POÇOS PROFUNDOS

Foram cadastrados 4 poços profundos (profundidade superior a 100 metros) na área delimitada para o estudo, as informações sobre a profundidade foram passadas pelos moradores uma vez que seria possível medi-la, as informações sobre os poços encontram-se nas tabelas (Tabela 7.4 e Tabela 7.5).

Tabela 7.4; Informações gerias dos poços.

ID	Proprietário	CPF	Contato	Uso
DEG-01	Natália Marques Santos	164.225.697-85	(27) 99831-1999	Irrigação/Doméstico/Consumo Animal
DEG-67	Marivane Pinto Costa (Fabrica de Biscoito Conquista)	136.200.807-98	(27) 99503-6318	Industrial
DEG-123	Marinete de Brito	108.384.077-76	(27) 99826-0328	Doméstico/Consumo Animal/Irrigação
DEG-142	Regina Martins	126.793.887-04	(27) 99780-2745	Doméstico/Consumo Animal/Irrigação

Tabela 7.5: Informações construtivas dos poços profundos.

ID	X	Y	Cota (m)	NA (m)	Profundidade (m)	Tubo de Boca (m)	Cota N.A (m)	Diâmetro tubo (mm)
DEG-01	421269	7853998	6,00	2,31	> 100,00	0,13	3,82	200
DEG-123	421878	7867271	10,00	4,03	150,00	0,28	6,25	100
DEG-142	418614	7866117	4,00	-	150,00	0,9	-	150
DEG-67	424169	7863788	8,00	2,11	150,00	0,5	6,39	150

Ao contrário dos poços rasos, os poços não apresentam um perfil construtivo padrão, uma vez que os moradores não têm os perfis de quando os poços foram perfurados e nem acompanharam a instalação dos poços. Os poços apresentam elevadas profundidas podendo profundidades superiores, podendo chegar a 200 metros.

Vale ressaltar que os poços se localizam em fazendas distantes dos locais com aglomerações de casas (Figura 7.10), exceto o DEG-67, que está localizado na Fábrica de Biscoito Conquista, localizada na comunidade, ao contrário dos poços rasos em algumas casas a água é usada para a hidratação das pessoas. Apesar de os poços serem usados para a consumo humano, cerca de 90-95 % da água é destinada a dessedentação animal (gado) e irrigação.

A quantidade de água bombeada desses poços é muito superior a aquelas encontradas nos poços rasos, por isso as bombas utilizadas nesses poços são do tipo caneta, enquanto nos poços rasos são utilizadas as bombas dos tipos sapo, válvula e diamante.

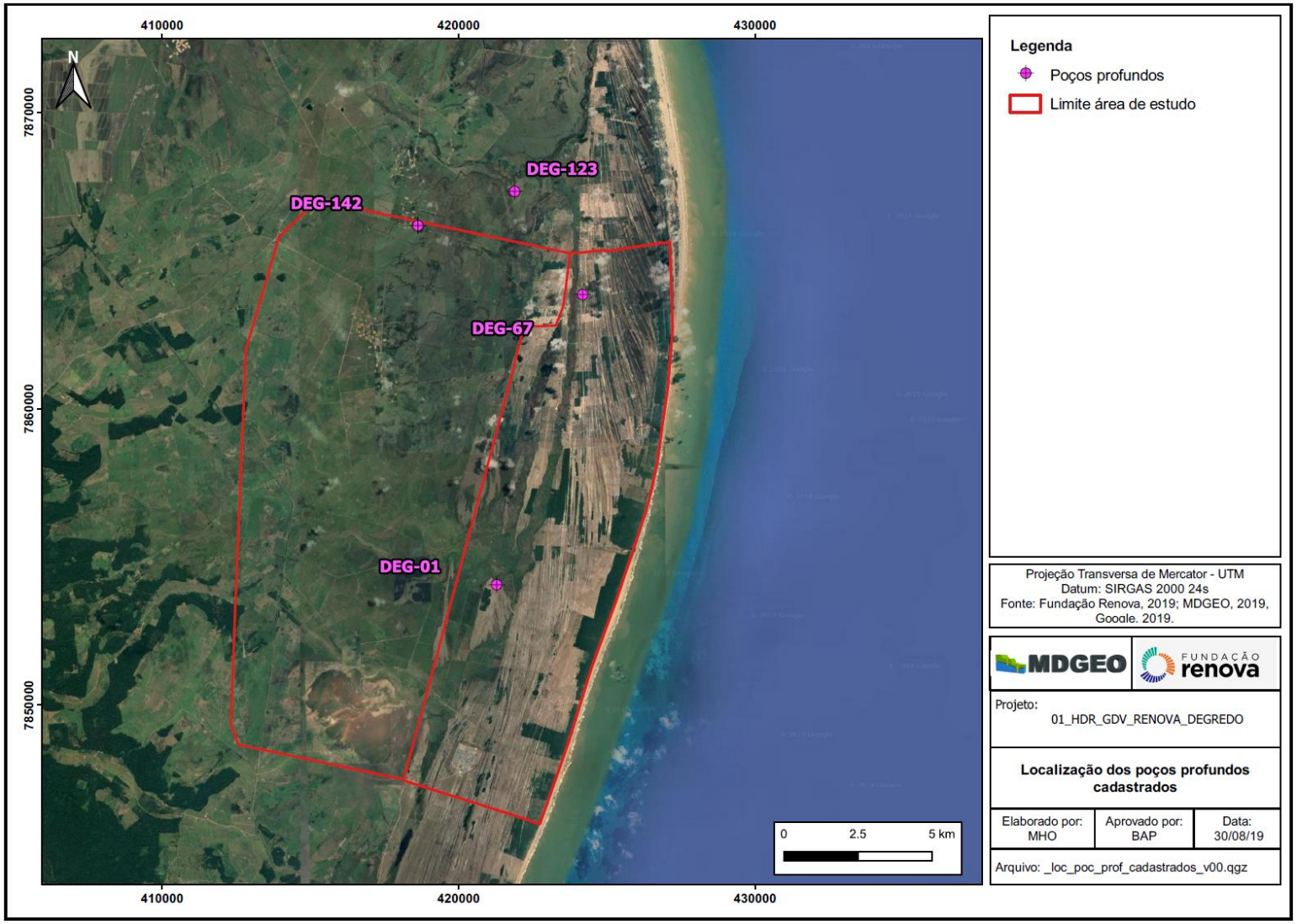


Figura 7.10: Localização dos poços profundos.

Como pode ser observado na Tabela 6.3 apenas um poço não foi possível medir o NA, pois o poço é lacrado (Foto 6.21), os que conseguiram medir, a tampa normalmente não estava bem lacrada (Foto 6.22 a Foto 6.24).

Foto 7.24: Poço profundo lacrado (DEG-142).

Foto 7.25: Poço profundo onde a medição ocorreu no meio dele (DEG-01)

Foto 7.26: Poço profundo que não está bem lacrado (DEG-123).

Foto 7.27: Poço profundo que não está bem lacrado (DEG-67).

As profundidades consideradas para os poços profundos foram as passadas pelos moradores, e ou somente profundo (quando os moradores não sabiam exatamente a profundidade, mas sabiam que era maior que 100 m), ao contrário dos poços rasos, não foi medida a profundidade devido ao medidor de nível possuir apenas 100 m.

Em relação ao diâmetro dos tubos, observou-se em campo que os mesmos apresentavam são de 100 ou 150 mm e apenas um poço 200 mm. A Figura 7.11

mostra que a maioria dos poços (50%) apresentam diâmetro de 150 mm e os demais apresentam 100 mm e 200 mm.

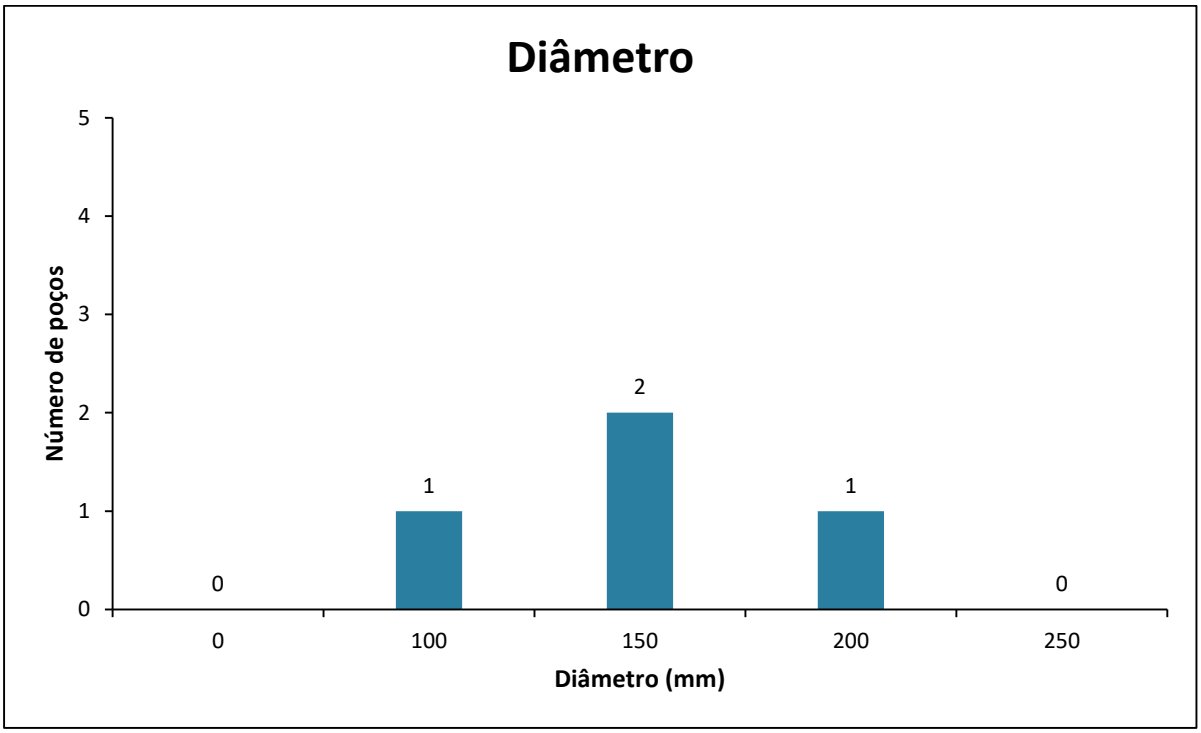


Figura 7.11: Diâmetro dos poços profundos.

Nos poços em que foi possível medir a profundidade do nível d'água, a mesma foi pequena variando de 2,11 a 4,03 metros, bem próximo às encontradas nos poços rasos, o que era de se esperar devido ao aquífero que os dois tipos de poços pegam água aparentemente ser o mesmo. Pois a geologia da região é composta por sedimentos inconsolidados (areia) e não apresenta aparentemente nenhum tipo de aspecto que possa subdividir o aquífero.

A Tabela 6.4 e as figuras a seguir apresentam a medida *in situ* dos parâmetros medidos em campo (CE, pH e Eh), para se fazer a coleta da água para medição dos parâmetros foi realizado mesmo procedimento utilizado para a coleta de água dos poços rasos.

Tabela 7.6: Valores dos parâmetros físico-químicos medidos nos poços profundos.

ID	X	Y	Cota (m)	CE (µcm/S)	pH	Eh (mV)
DEG-01	421269	7853998	6	476,0	7,4	-56,50
DEG-123	421878	7867271	10	482	7,35	224
DEG-142	418614	7866117	4	1276	6,88	272
DEG-67	424169	7863788	8	266	6,77	63

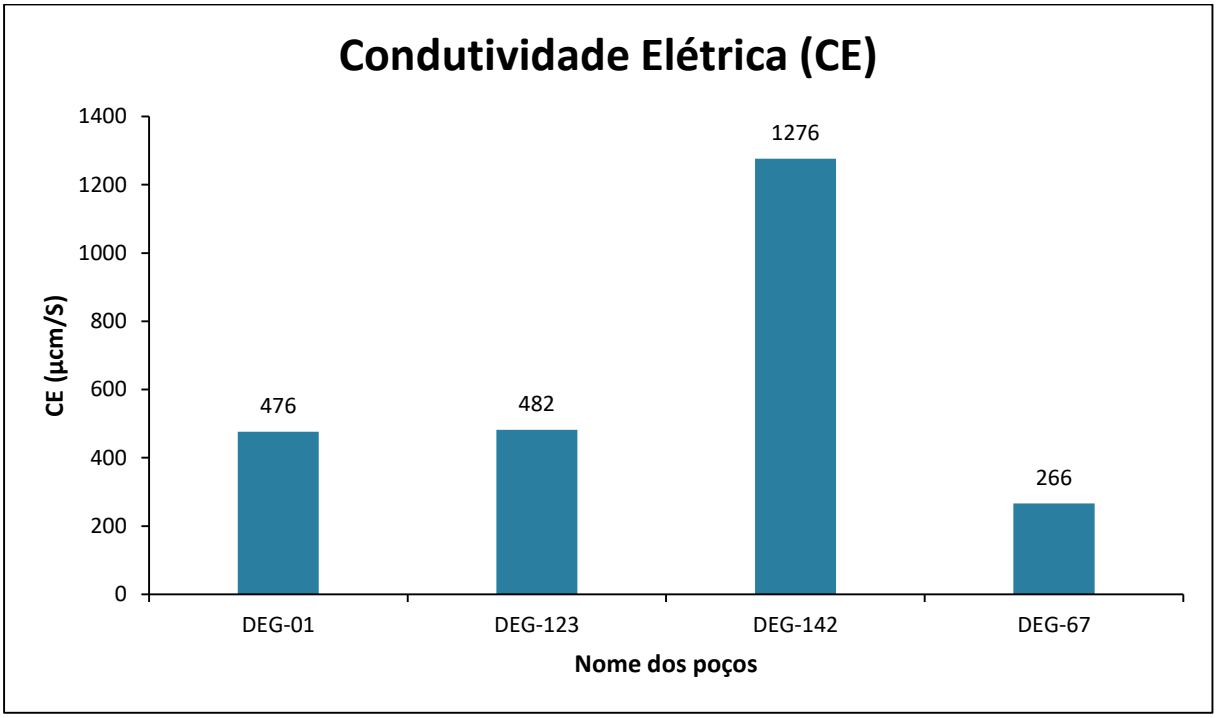


Figura 7.12: Valores de CE encontrados nos poços profundos.

Ao se analisar os valores de condutividade elétrica (Figura 6.11) observa-se que a maioria dos poços (75 %) apresentou condutividade elétrica entre 200 e 500 µS/cm, no geral esses valores são superiores aos encontrados nos poços rasos, no entanto alguns poços rasos também tem valores próximos ou iguais a esses, o que implica não existir diferença entre as águas captadas nos dois tipos de poços. Entretanto um poço apresentou condutividade acima de 1.000 µS/cm, da senhora Regina Martins (DEG-142), no qual, reclamou de a água ser um pouco salgada, logo conclui-se que esse poço está sofrendo contaminação de alguma cunha salina, fato que comumente ocorre em áreas litorâneas.

Em relação ao Eh (Figura 6.12) sabe-se que valores elevados indicam que o ambiente pode ter características oxidantes, enquanto o inverso ocorre para ambientes redutores. Os valores de Eh encontrados nos poços profundos como pode ser observado na Figura 6.12 apresentam valores bem distribuídos, variando de -56,5 a 272,00 mV, sendo caracterizado 03 poços aspecto de ambiente oxidantes e 01 redutor.

Os valores de pH encontrados nos poços profundos como pode ser observado na Figura 6.13 variam de 6,77 a 7,40, indicando que as águas desses poços são praticamente neutras, comportamento semelhante ao encontrado nos poços rasos.

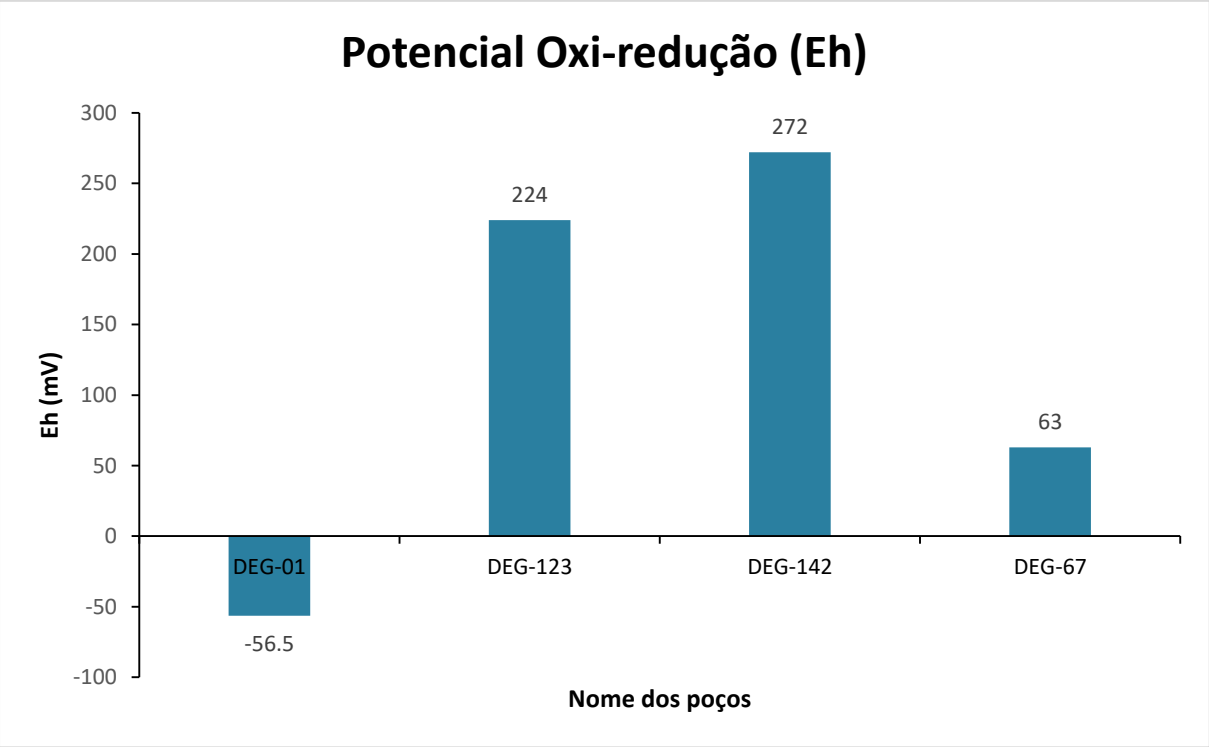


Figura 7.13: Valores de Eh encontrados nos poços profundos.

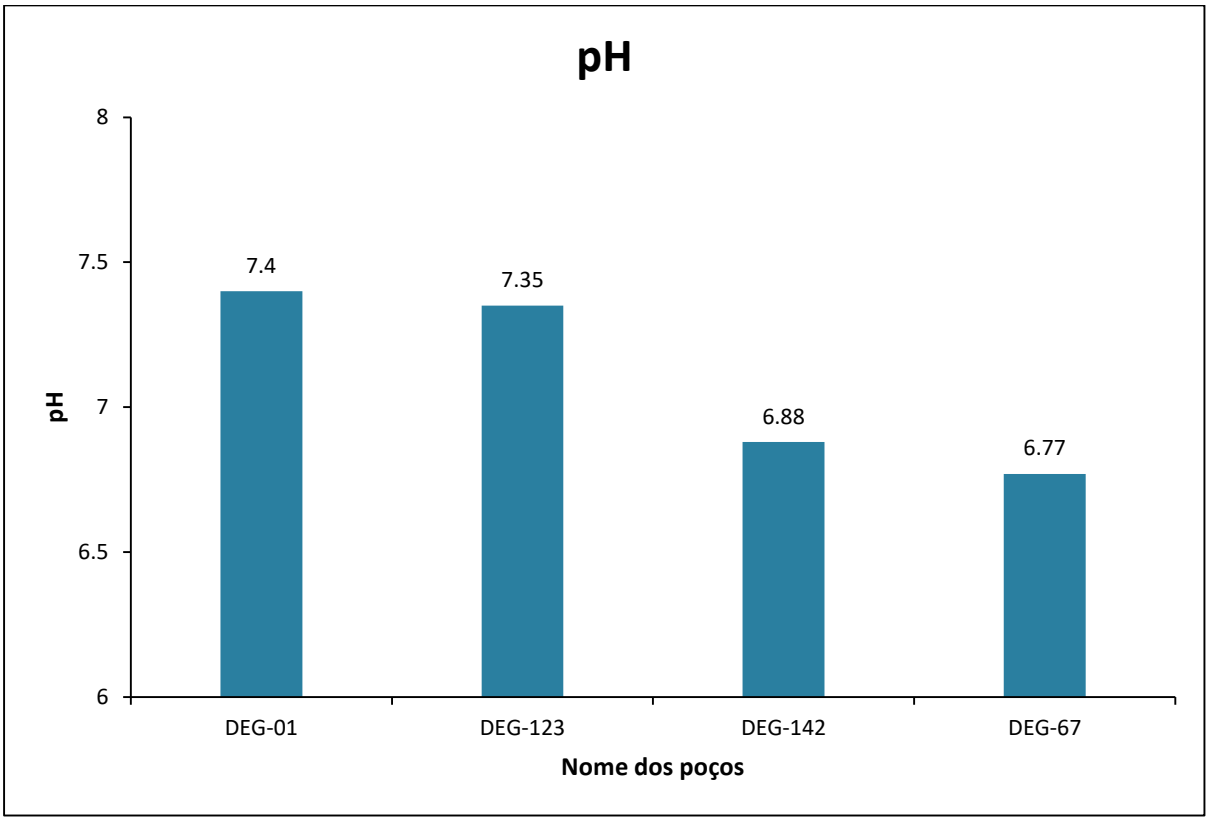


Figura 7.14: Valores de pH encontrados nos poços profundos.

7.3 PONTOS D'ÁGUA

Além dos poços rasos e profundos também foram cadastrados outros pontos d'água na região (08 pontos), a Figura 6.14 mostra a localização dos mesmos, entre eles encontram-se lagos (reservatórios) conforme mostra a Foto 6.25, o Rio Ipiranga (Foto 6.26), Lagoa dos Cavatti (Foto 6.27) e um reservatório DEG-70B (Foto 6.28), os demais pontos d'água são utilizados para a captação de água para consumo humano (exceto hidratação), dessedentação animal e irrigação.

Foto 7.28: Lago construído para captação de água (DEG-121).

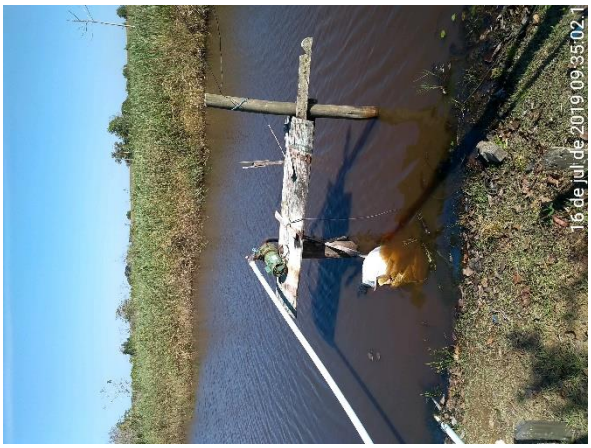


Foto 7.29: Captação de água no Rio Ipiranga (DEG-37B)

Foto 7.30: Captação de água na Lagoa dos Cavatti (DEG-119B).

Foto 7.31: Reservatório d'água com captação (DEG-70B)

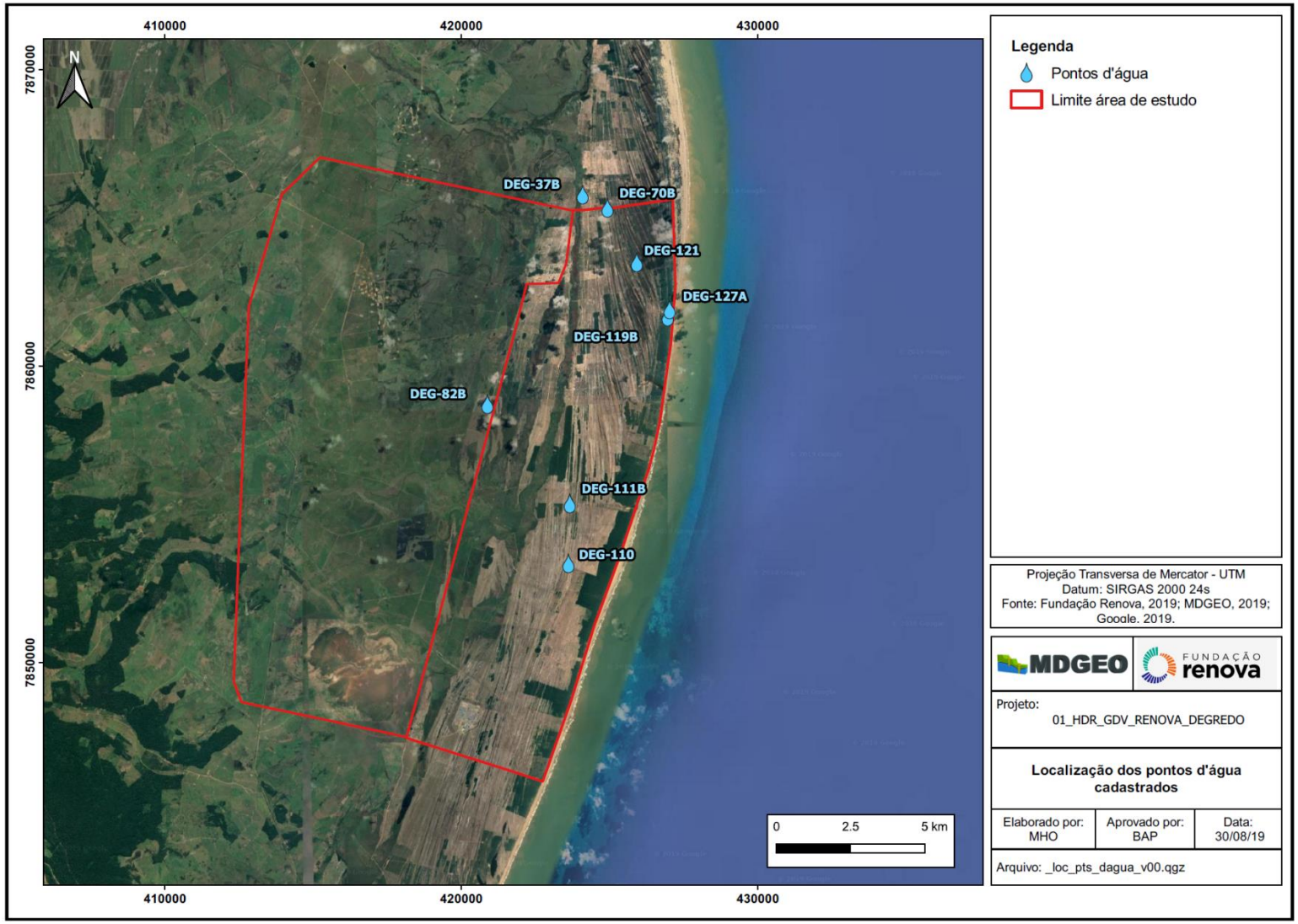


Figura 7.15: Localização dos outros pontos d'água.

A tabela a seguir apresenta informações sobre estes pontos como localização, cota, tipo de ponto, uso d'água.

Tabela 7.7: Informações sobre os pontos d'água cadastrados.

ID	Tipo de Ponto	X	Y	Cota (m)	Uso
DEG-110	Lago	423608	7853334	9	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-111B	Lago	423654	7855358	11	Doméstico/Irrigação
DEG-119B	Lagoa dos Cavatti	426954	7861665	3	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-121	Lago	425914	7863495	8	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-127A	Lagoa dos Cavatti	427020	7861903	5	Cons. Humano/Irrigação
DEG-37B	Rio Ipiranga	424087	7865779	7	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação
DEG-70B	Reservatório	424924	7865330	-2	-
DEG-82B	Reservatório	420875	7858708	1	Cons. Humano/Des. Animal/Irrigação

Para a realização da captação de água nos pontos identificados, os moradores colocam tubulações dentro dos mesmos e uma bomba para bombear a água dos pontos d'água até suas casas conforme pode ser observado nas imagens (Foto 6.25, Foto 6.26, Foto 6.27), normalmente nas residências onde isso ocorre, não existe a perfuração de poços ou os poços perfurados foram desativados. Nestes locais onde ocorre exploração de água, o nível d'água tende a diminuir quando as bombas estão ligadas e quando são desligadas o nível torna a subir novamente, evidenciando que a água é de origem subterrânea.

Assim como nos poços profundos e rasos foi feita a coleta de água para medição dos parâmetros físico-químicos (Tabela 6.6), nos pontos que conseguia-se coletar a água com a caneca inox o procedimento consistia em ambientar a caneca duas vezes e posteriormente realizar a coleta d'água (Foto 6.29, Foto 6.31) para a realização da medição dos parâmetros (Foto 6.30, Foto 6.32). Nos pontos onde não era possível coletar com a caneca, então era utilizado o balde, para isso amarrava-se uma corda no balde de 20 L, jogava-se o mesmo duas vezes na água para ambientação e na terceira vez coletava-se a água, e realizava-se a medição dos parâmetros físico-químicos.

Tabela 7.8: Valores dos parâmetros físico-químicos medidos nos pontos d'água

ID	Tipo de Ponto	X	Y	CE (µcm/S)	pH	Eh (mV)
DEG-110	Lago	423608	7853334	240	6,79	382
DEG-111B	Lago	423654	7855358	84,4	5,63	131
DEG-119B	Lagoa dos Cavatti	426954	7861665	417	6,68	162
DEG-121	Lago	425914	7863495	130,9	6,32	215
DEG-127ª	Lagoa dos Cavatti	427020	7861903	553	6,97	226
DEG-37B	Rio Ipiranga	424087	7865779	185,7	6,68	110

ID	Tipo de Ponto	X	Y	CE (µcm/S)	pH	Eh (mV)
DEG-70B	Reservatório	424924	7865330	125,4	6,8	168
DEG-82B	Reservatório	420875	7858708	96,7	5,82	232

Foto 7.32: Coleta d'água com a caneca inox.

Foto 7.33: Medição dos parâmetros físico-químico na caneca inox.

Foto 7.34: Coleta d'água com a caneca inox.

Foto 7.35: Medição de parâmetro físico-químicos no balde de 15 L.

A Tabela 6.6 apresenta os valores de condutividade elétrica (CE), pH e Eh dos pontos d'água cadastrados, ao se analisar os valores de CE (Figura 6.15) observa-se que os pontos que são feitos reservatórios pelos moradores tendem a apresentar condutividade mais baixa (inferior a 200 µcm/S); o Rio Ipiranga (DEG-37B) também apresentou condutividade próximo a dos reservatórios cadastrados (185,7 µcm/S).

No entanto, as duas lagoas do Cavatti que são aparentemente mais profundos (DEG-119B e DEG-127A) apresentam condutividade mais elevadas, próximas a 500 µcm/S, o que era esperado devido a existir entrada de água do mar nesta lagoa nos períodos de maré alta.

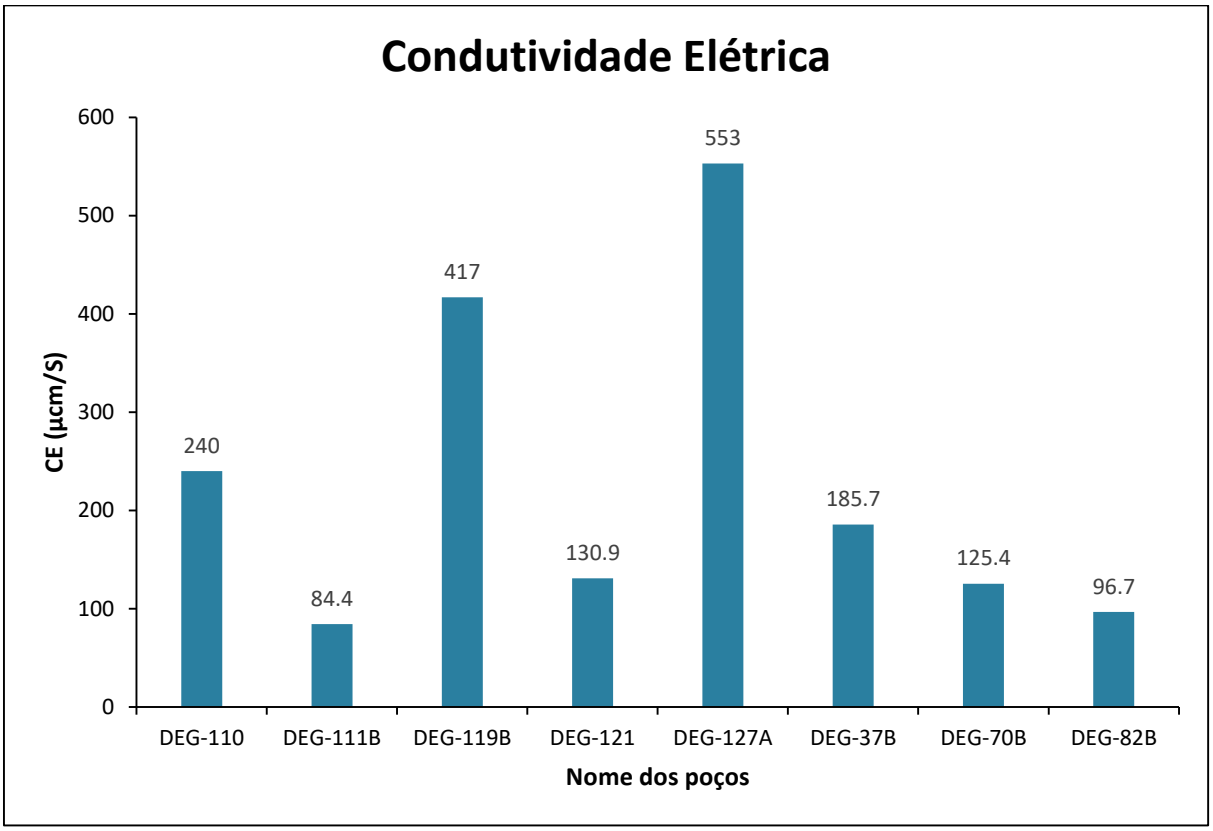


Figura 7.16: Valores de Condutividade elétrica medidos nos pontos d'água.

Em relação ao Eh como pode ser observado (Figura 6.16) todos os pontos apresentaram valores positivos, fato que era esperado pois esses pontos sofrem influência de água da chuva, e consequentemente apresentam características de ambiente oxidante.

O pH dos pontos cadastrados apresentou valores que variam de 5,63 a 6,97 (Figura 6.17) conferindo as águas superficiais da região de estudo características de águas praticamente neutras, assim como ocorre com os poços rasos e profundos.

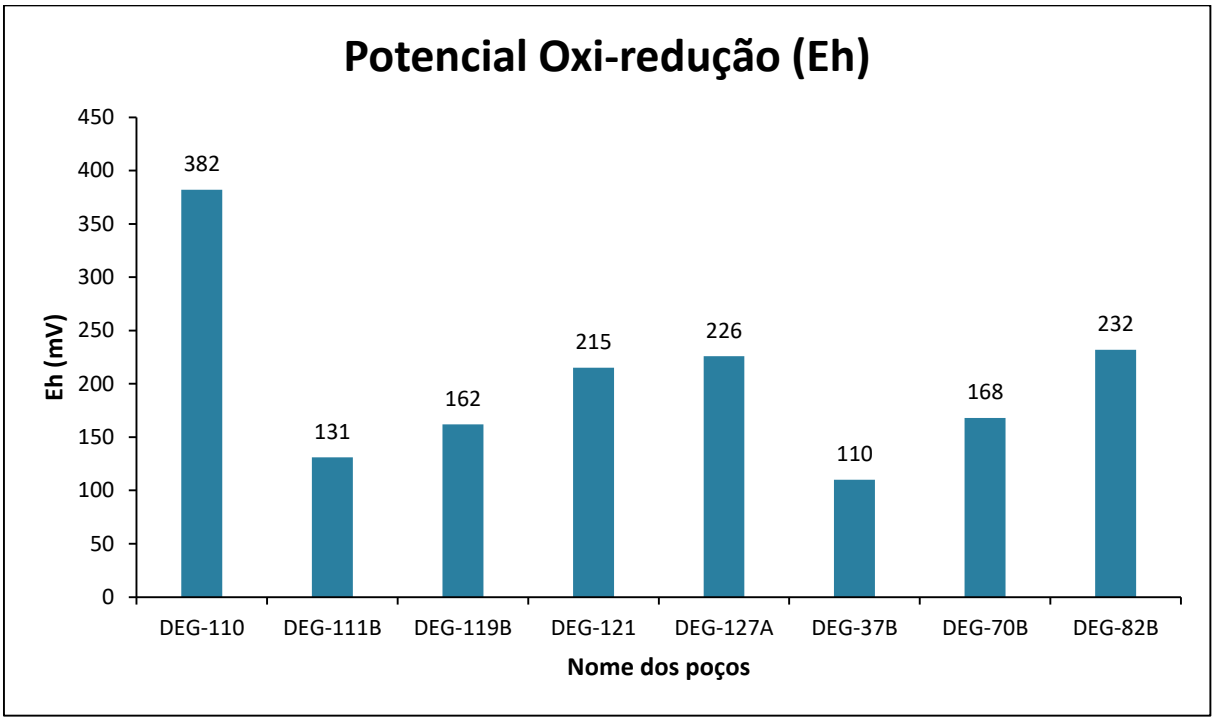


Figura 7.17: Valores de Eh medidos nos pontos d'água.

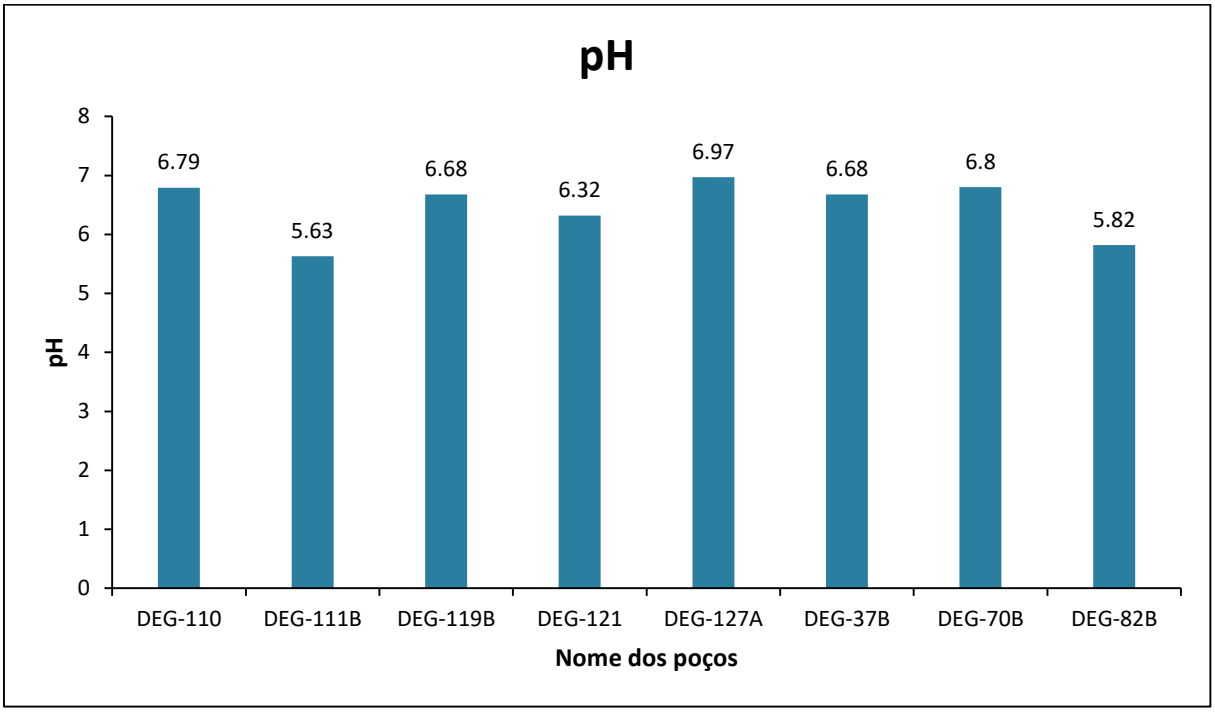


Figura 7.18: Valores de pH medidos nos outros pontos.

8 ANÁLISE HIDROQUÍMICA

A seguir serão descritas todas as metodologias empregadas para execução da caracterização hidroquímica e isotópica na comunidade Degredo, em Linhares/ES, desde a fase de obtenção de dados em campo até a interpretação e elaboração do presente relatório.

8.1 COLETA DE AMOSTRAS

A campanha de amostragem foi realizada em janeiro de 2020. Foram coletadas alíquotas de água em 37 pontos, sendo 08 de águas superficiais e 29 de águas subterrâneas na região de Linhares na comunidade de Degredo, conforme mostra na tabela e figura adiante.

Mas antes de iniciar a coleta, fizemos os cadastros de usuários na comunidade, na qual, selecionamos uma malha feita internamente na empresa selecionando alguns instrumentos.

Nas coletas subterrâneas ocorreram pelo método de bombeamento (desenvolvimento), já nas superficiais foi no balde inox de 20 L, obedecendo todas as normas de coleta.

Dentro do escopo do trabalho, vamos ver a comunicação da água subterrânea com à agua superficial.

A fim de garantir a integridade das amostras, aumentar a confiabilidade dos resultados e minimizar as interferências foi considerado para o plano de amostragem a inclusão de branco de campo e duplicatas.

Tabela 8.1: Pontos de amostragem na comunidade de Degredo/ES.

ID	Data	X	Y
DEG-01	23/01/2020	421269	7853998
DEG-02	20/01/2020	423747	7859878
DEG-04	22/01/2020	422665	7863895
DEG-05	09/01/2020	424132	7863885
DEG-08	09/01/2020	424435	7865751
DEG-10	09/01/2020	424208	7866184
DEG-12	13/01/2020	424403	7869911
DEG-14	14/01/2020	424660	7872067

ID	Data	X	Y
DEG-18	14/01/2020	424705	7874050
DEG-19	16/01/2020	424396	7875746
DEG-20	14/01/2020	424576	7869881
DEG-72	28/01/2020	424914	7865330
DEG-75	21/01/2020	423945	7862347
DEG-81	27/01/2020	422053	7862073
DEG-82A	27/01/2020	420897	7858703
DEG-109	23/01/2020	423873	7853534
DEG-114	30/01/2020	425651	7857681
DEG-118A	30/01/2020	425655	7860181
DEG-120	28/01/2020	426225	7863942
DEG-125	16/01/2020	423950	7867915
DEG-128	29/01/2020	426954	7861678
DEG-130	13/01/2020	424573	7869879
DEG-142	22/01/2020	418614	7866117
DEG-171 (Branco)	21/01/2020	422667	7863892
DEG-172 (Branco)	21/01/2020	423947	7862337
DEG-173 (Duplicata DEG-18)	14/01/2020	424709	7874048
DEG-174 (Duplicata DEG-114)	30/01/2020	425651	7857681
DEG-175 (Extra)	03/02/2020	424167	7863784
DEG-176 (Extra)	03/02/2020	424037	7865263
SUP-01 (Rio Ipiranga (montante))	20/01/2020	423564	7859648
SUP-02 (Lagoa dos Cavatti)	29/01/2020	426954	7861663
SUP-03 (Rio Ipiranga (ponto de controle 1))	13/01/2020	424380	7869911
SUP-04 (Rio Ipiranga (ponto de controle 2))	16/01/2020	424029	7865832
SUP-05 (Rio Ipiranga (jusante))	16/01/2020	424081	7875713
SUP-06 (Branco)	29/01/2020	426954	7861663
SUP-07 (Duplicata - SUP-04)	29/01/2020	426954	7861663
SUP-08 (Extra)	03/02/2020	426819	7859181

No Anexo V, estão as fotos registradas durante a coleta, enquanto que os laudos hidroquímicos referentes à campanha realizada podem ser encontrados no ANEXO IV.

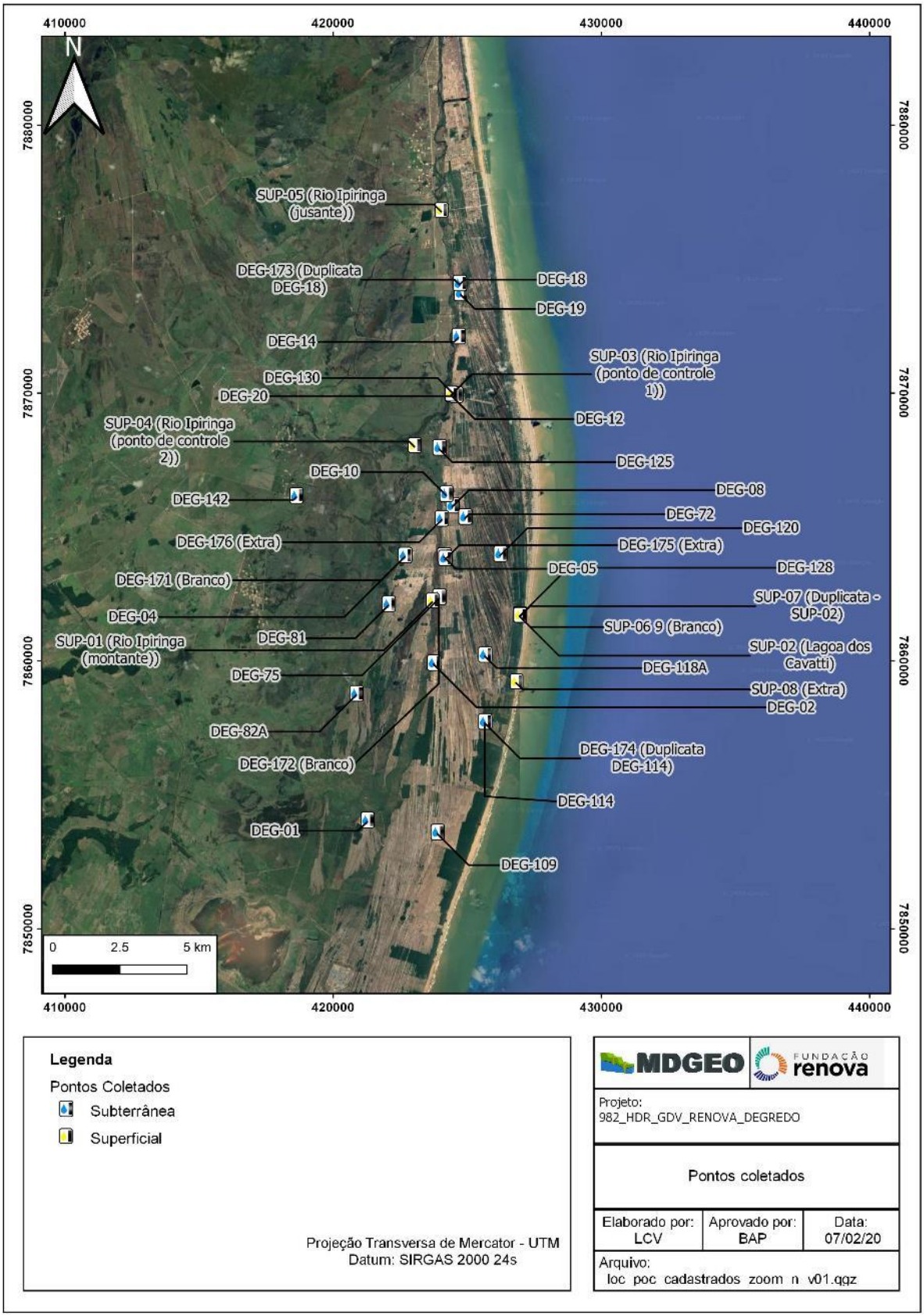


Figura 8.1: Mapa com os pontos de coleta.

8.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

A caracterização hidroquímica é feita em três etapas. Primeiramente é feito o controle de qualidade dos resultados analíticos com base nos cálculos de balanço iônico, branco de campo e avaliação de duplicatas. Posteriormente é feita a comparação dos resultados com os valores de referência das normas vigentes. Finalmente, é feita a classificação e interpretação dos resultados cruzando informações fornecidas pelos diagramas de *Piper Hill-Langelier* e de *Stiff* com dados geológicos e inerentes a área de estudos.

8.2.1 Controle de qualidade dos resultados analíticos

A seguir é apresentado a avaliação do controle de qualidade dos resultados fornecidos pelo laboratório SGS Geosol, através da análise do branco de campo, avaliação das duplicatas e do cálculo do balanço iônico.

8.2.1.1 Branco de Campo

O **branco de campo** nada mais é do que um amostrador idêntico ao que será utilizado para as amostragens em campo e deverá ser transportado junto as demais amostras, sendo preenchido com água deionizada, no caso de coleta de água. Assim, serão verificadas as etapas de acondicionamento, transporte, amostragem, armazenamento no laboratório e posterior análise, em relação a presença de algum tipo de contaminação nestes meios. Para tanto, é realizada uma análise da água deionizada utilizada para limpeza dos materiais de coleta.

O branco de campo foi realizado através da análise de água deionizada, cujo nome é DEG-171, DEG-172, e SUP-06. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.2 a seguir.

Tabela 8.2: Análise de branco de campo dos instrumentos subterrâneos.

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 396/2008 - Consumo Humano	DEG-171	DEG-172
Laudo			MA1940423	MA1940424
Data			21/01/2020	21/01/2020
Alumínio Dissolvido	mg Al/L	-	0,03	0,01
Arsênio Dissolvido	mg/L	-	0,0005	0,0005
Bário Dissolvido	mg Ba/L	-	0,005	0,005
Bicarbonato	mg HCO3/L	-	26,3	34,1
Boro Dissolvido	mg B/L	-	0,025	0,025
Cádmio Dissolvido	mg Cd/L	-	0,0005	0,0005

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 396/2008 - Consumo Humano	DEG-171	DEG-172
Laudo			MA1940423	MA1940424
Data			21/01/2020	21/01/2020
Cálcio Dissolvido	mg Ca/L	-	18	12,6
Carbonato	mg CO3/L	-	4,48	1
Chumbo Dissolvido	mg Pb/L	-	0,005	0,005
Cloreto	mg Cl-/L	250	27,1	27
Cobalto Dissolvido	mg Co/L	-	0,005	0,005
Cobre Dissolvido	mg Cu/L	-	0,0035	0,0035
Cromo Dissolvido	mg Cr/L	-	0,005	0,005
Estanho Dissolvido	mg Sn/L	-	0,1	0,1
Ferro Dissolvido	mg Fe/L	-	0,05	0,05
Ferro Total	mg Fe/L	0,3	0,05	0,05
Fluoreto	mg F-/L	1,5	0,92	0,92
Fósforo Total	mg P/L	-	0,005	0,005
Magnésio Dissolvido	mg Mg/L	-	3,05	2,15
Manganês Dissolvido	mg Mn/L	-	0,01	0,01
Manganês Total	mg Mn/L	0,1	0,04	0,03
Mercúrio Dissolvido	mg Hg/L	-	0,0001	0,0001
Níquel Dissolvido	mg Ni/L	-	0,005	0,005
Nitrato (N)	mg N_NO3/L	10	0,01	0,01
Nitrito (N)	mg N_NO2/L	1	0,01	0,01
Nível da água	m	-	2,93	2,58
Potássio Dissolvido	mg K/L	-	1,36	1
Prata Dissolvido	mg Ag/L	-	0,0025	0,0025
Sódio Dissolvido	mg Na/L	-	2,39	2,46
Sólidos Dissolvidos Totais	mg SDT/L	1000	136	117
Sulfato	mg SO4/L	250	2,57	2,55
Sulfeto	mg S2-/L	-	0,001	0,001
Zinco Dissolvido	mg Zn/L	-	0,1	0,14

Tabela 8.3: Análise de branco de campo da amostra superficial.

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 357/2005 - Água Doce Classe 2	SUP-06
Laudo			MA1940433
Data			29/01/2020
Alumínio Dissolvido	mg Al/L	0,1	0,03
Arsênio Dissolvido	mg/L	-	0,0005
Bário Dissolvido	mg Ba/L	-	0,005
Bicarbonato	mg HCO3/L	-	2,5
Boro Dissolvido	mg B/L	-	0,025
Cádmio Dissolvido	mg Cd/L	-	0,0005
Cálcio Dissolvido	mg Ca/L	-	0,075
Carbonato	mg CO3/L	-	1
Chumbo Dissolvido	mg Pb/L	-	0,005
Cloreto	mg Cl-/L	250	0,5
Cobalto Dissolvido	mg Co/L	-	0,005
Cobre Dissolvido	mg Cu/L	0,009	0,0035
Condutividade Elétrica	µS/cm		189
Cromo Dissolvido	mg Cr/L	-	0,005

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 357/2005 - Água Doce Classe 2	SUP-06
Laudo			MA1940433
Data			29/01/2020
Estanho Dissolvido	mg Sn/L	-	0,1
Ferro Dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,05
Ferro Total	mg Fe/L	-	0,05
Fluoreto	mg F-/L	1,4	0,025
Fósforo Total	mg P/L	[005]	0,005
Magnésio Dissolvido	mg Mg/L	-	0,05
Manganês Dissolvido	mg Mn/L	-	0,01
Manganês Total	mg Mn/L	0,1	0,01
Mercúrio Dissolvido	mg Hg/L	-	0,0001
Níquel Dissolvido	mg Ni/L	-	0,005
Nitrato (N)	mg N_NO3/L	10	0,01
Nitrito (N)	mg N_NO2/L	1	0,01
Oxigênio Dissolvido	mg/L		0,13
pH	-		6,6
Potássio Dissolvido	mg K/L	-	0,3
Potencial de Oxirredução	mV	-	99,8
Prata Dissolvido	mg Ag/L	-	0,0025
Sódio Dissolvido	mg Na/L	-	0,37
Sólidos Dissolvidos Totais	mg SDT/L	500	51,2
Sulfato	mg SO4/L	250	0,5
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	0,001
Temperatura da Amostra	°C	-	29,33
Temperatura do Ambiente	°C		28,29
Tempo	-	-	Bom
Turbidez	NTU		-
Última Chuva	-	-	24H Antes
Zinco Dissolvido	mg Zn/L	-	0,01

Segundo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB (2011), o lote de branco será aprovado se os resultados estiverem abaixo do limite de quantificação do método. Entretanto, o SUP-06 está dentro dos parâmetros.

Já o DEG-171 e o DEG-172, alguns parâmetros foram acima do permitido, sendo que podem estar relacionadas à qualidade da água destilada, erros na coleta ou durante as análises laboratoriais.

A água deionizada utilizada foi a mesma nos três pontos, portanto, caso ela apresentasse alguma alteração, os parâmetros acima do limite de quantificação deveriam ser iguais e com valores semelhantes nas três análises, o que não ocorre. Em relação à coleta, foram adotados os procedimentos recomendados, logo, o mais provável é que o erro esteja associado às análises laboratoriais.

8.2.1.2 Avaliação de duplicatas

A aplicação do método de **duplicata** das amostras significa que duas amostras foram retiradas ao mesmo tempo de um local, e posteriormente encaminhadas ao laboratório como amostras "cegas" (USEPA, 2005). Esse procedimento é utilizado para mensurar a precisão e a repetitividade do processo analítico.

Deste modo, este método de validação de dados em questão permite calcular o erro percentual relativo de dois valores (da amostra e da duplicata) de um mesmo parâmetro, ou seja, o erro associado à análise de amostras com duplicatas.

De um modo geral, são consideradas "normais" variações no resultado na ordem de 20% (ANA, 2011).

O cálculo da diferença percentual relativa (DPR) é feito através da Equação:

$$DPR\ (\%) = \left(\frac{Amostra\ 1 - Amostras\ 2}{\frac{Amostra\ 1 + Amostra\ 2}{2}} \right) * 100$$

Durante a amostragem de água superficial e subterrâneo, foi realizado a coleta e análise de alguns pontos com sua respectiva duplicata, sendo apresentadas na Tabela 8.4 e Tabela 8.5 adiante as diferenças percentuais relativas (DPR) calculadas.

Tabela 8.4: Análise das diferenças percentuais relativas (DPR) entre as amostras subterrâneas.

Parâmetro	Unidade	LQ	DEG-18	DEG-173 (Duplicata)	RDP (%)	DEG-114	DEG-174 (Duplicata)	RDP (%)
			14/01/2020			30/01/2020		
Alumínio Dissolvido	mg Al/L	0,02	0,07	0,07	-	0,03	0,03	-
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,001	0,004	0,005	22,22%	0,002	0,002	-
Bário Dissolvido	mg Ba/L	0,01	0,02	0,02	-	0,03	0,03	-
Bicarbonato	mg HCO3/L	5	19,6	19,9	1,52%	12,2	12,3	0,82%
Boro Dissolvido	mg B/L	0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	-
Cádmio Dissolvido	mg Cd/L	0,001	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	-
Cálcio Dissolvido	mg Ca/L	0,15	1,3	1,31	0,77%	2,65	2,63	0,76%
Carbonato	mg CO3/L	2	<2	<2	-	<2	<2	-
Chumbo Dissolvido	mg Pb/L	0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01	-
Cloreto	mg Cl-/L	1	16,4	16,3	0,61%	12,8	12,8	-
Cobalto Dissolvido	mg Co/L	0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01	-
Cobre Dissolvido	mg Cu/L	0,007	<0,007	<0,007	-	<0,007	<0,007	-
Cromo Dissolvido	mg Cr/L	0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01	-
Estanho Dissolvido	mg Sn/L	0,2	<0,2	<0,2	-	<0,2	<0,2	-
Ferro Dissolvido	mg Fe/L	0,1	5,23	5,21	0,38%	7,68	7,61	0,92%
Ferro Total	mg Fe/L	0,1	5,49	5,51	0,36%	7,76	7,8	0,51%
Fluoreto	mg F-/L	0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	-
Fósforo Total	mg P/L	0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01	-
Magnésio Dissolvido	mg Mg/L	0,1	0,46	0,47	2,15%	1,16	1,14	1,74%
Manganês Dissolvido	mg Mn/L	0,02	0,03	0,03	-	0,07	0,07	-

Parâmetro	Unidade	LQ	DEG-18	DEG-173 (Duplicata)	RDP (%)	DEG-114	DEG-174 (Duplicata)	RDP (%)
			14/01/2020			30/01/2020		
Manganês Total	mg Mn/L	0,02	0,03	0,03	-	0,07	0,07	-
Mercúrio Dissolvido	mg Hg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	-	<0,0002	<0,0002	-
Níquel Dissolvido	mg Ni/L	0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01	-
Nitrato (N)	mg N_NO3/L	0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	<0,02	-
Nitrito (N)	mg N_NO2/L	0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	<0,02	-
Potássio Dissolvido	mg K/L	0,6	<0,6	<0,6	-	0,73	0,7	4,20%
Prata Dissolvido	mg Ag/L	0,005	<0,005	<0,005	-	<0,005	<0,005	-
Sódio Dissolvido	mg Na/L	0,1	9,76	9,79	0,31%	7,19	7,16	0,42%
Sólidos Dissolvidos Totais	mg SDT/L	11	118	92,5	24,23%	59,5	59,5	-
Sulfato	mg SO4/L	1	2,5	2,24	10,97%	11,1	10,7	3,67%
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	<0,002	<0,002	-	<0,002	<0,002	-
Zinco Dissolvido	mg Zn/L	0,02	0,09	0,09	-	0,13	0,11	16,67%

Tabela 8.5: Análise das diferenças percentuais relativas (DPR) entre as amostras superficiais.

Parâmetro	Unidade	LQ	SUP-02	SUP-07 (Duplicata)	RDP (%)
			29/01/2020		
Alumínio Dissolvido	mg Al/L	0,02	<0,02	0,02	-
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,001	0,002	0,002	-
Bário Dissolvido	mg Ba/L	0,01	0,02	0,02	-
Bicarbonato	mg HCO3/L	5	19,5	18,2	6,90%
Boro Dissolvido	mg B/L	0,05	<0,05	<0,05	-
Cádmio Dissolvido	mg Cd/L	0,001	<0,001	<0,001	-
Cálcio Dissolvido	mg Ca/L	0,15	4,38	4,36	0,46%
Carbonato	mg CO3/L	2	<2	<2	-
Chumbo Dissolvido	mg Pb/L	0,01	<0,01	<0,01	-
Cloreto	mg Cl-/L	1	50	49,2	1,61%
Cobalto Dissolvido	mg Co/L	0,01	<0,01	<0,01	-
Cobre Dissolvido	mg Cu/L	0,007	<0,007	<0,007	-
Cromo Dissolvido	mg Cr/L	0,01	<0,01	<0,01	-
Estanho Dissolvido	mg Sn/L	0,2	<0,2	<0,2	-
Ferro Dissolvido	mg Fe/L	0,1	0,41	0,68	49,54%
Ferro Total	mg Fe/L	0,1	3,91	3,58	8,81%
Fluoreto	mg F-/L	0,05	<0,05	<0,05	-
Fósforo Total	mg P/L	0,01	<0,01	<0,01	-
Magnésio Dissolvido	mg Mg/L	0,1	3,07	3,07	-
Manganês Dissolvido	mg Mn/L	0,02	0,03	0,03	-
Manganês Total	mg Mn/L	0,02	0,04	0,04	-
Mercúrio Dissolvido	mg Hg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	-
Níquel Dissolvido	mg Ni/L	0,01	<0,01	<0,01	-
Nitrato (N)	mg N_NO3/L	0,02	<0,02	<0,02	-
Nitrito (N)	mg N_NO2/L	0,02	<0,02	<0,02	-
Potássio Dissolvido	mg K/L	0,6	3,03	3,01	0,66%

Parâmetro	Unidade	LQ	SUP-02	SUP-07 (Duplicata)	RDP (%)
			29/01/2020		
Prata Dissolvido	mg Ag/L	0,005	<0,005	<0,005	-
Sódio Dissolvido	mg Na/L	0,1	28,3	28,3	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg SDT/L	11	135	129	4,55%
Sulfato	mg SO4/L	1	2,36	2,35	0,42%
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	<0,002	<0,002	-
Zinco Dissolvido	mg Zn/L	0,02	<0,02	<0,02	-

Entre os 32 parâmetros analisados, tanto em subterrâneos como em superficial, pode observar que alguns parâmetros apresentaram diferença percentual relativa acima de 20%, sendo eles:

- Subterrâneo: Os parâmetros Arsênio Dissolvido e Sólidos Dissolvidos Totais apresentaram DPR pouco acima de 20%, porém somente para o ponto DEG-18 e sua duplicata, DEG-173.
- Superficial: Somente o parâmetro Ferro Dissolvido apresentou DPR acima de 20% para o ponto SUP-02 e sua duplicata, SUP-07.

8.2.1.3 Cálculo do Balanço Iônico

Visando verificar a qualidade dos resultados das análises hidroquímicas, é calculado o desvio percentual dos íons ou coeficiente de erro da análise (Erro Prático), obtido por meio do balanço iônico.

O balanço iônico corresponde à diferença entre a soma das concentrações dos cátions e ânions principais, em miliequivalentes (meq/L), considerando seu equilíbrio nas águas naturais.

Existem duas técnicas para o cálculo do erro prático máximo do balanço iônico das amostras. Esse erro é calculado de acordo com a equação abaixo (CUSTÓDIO E LLAMAS, 1996).

$$\%E = \left[\frac{\sum \hat{a}nions - \sum cátions}{\sum \hat{a}nions + \sum cátions}\right] * 200$$

O erro teórico é o erro prático máximo permitido considerando a condutividade elétrica (C.E.), conforme a Tabela 8.6.

Tabela 8.6: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

CLASSIFICAÇÃO DE CUSTODIO E LLAMAS (1976)					
C.E.	50	200	500	2000	>2000
% Erro permitido	30	10	8	4	<4

Já Logan (LOGAN, 1965), se baseia no próprio somatório dos íons (cátions e ânions) apresentado na Tabela 8.7.

Tabela 8.7: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores (LOGAN, 1965).

CLASSIFICAÇÃO DE LOGAN (1965)							
∑cátion ou ∑ ânions	< 1	1	2	6	10	30	> 30
% Erro permitido	15	10	6	4	3	2	1

Em qualquer água independente de ser doce ou salgada, potável e mineral deve estar em equilíbrio iônico para que ela tenha estabilidade química. Desta forma, é importante que se realize o balanço iônico das amostras, de acordo com as proporções encontradas de cátions e ânions, expressos em miliequivalente grama, o que permite avaliar a representatividade dos resultados analíticos fornecidos pelo laboratório.

A Tabela 8.8 apresenta os resultados alcançados para os pontos de coleta de água superficial e subterrânea.

A maioria das amostras desbalanceadas estão com cátions inferiores aos ânions, sendo que, como as águas superficiais estão em contato direto com atmosfera, há maior oxidação de cátions (principalmente os metais de transição, que são abundantes de acordo com os resultados das análises).

Como a amostra é filtrada antes de ser analisada, esses óxidos não entram na amostra, fazendo com que não sejam incluídos no balanço iônico, deixando a mesma desbalanceada.

Tabela 8.8: Balanço iônico para as amostras de água subterrânea e superficial.

PONTO DE COLETA	Na+K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}+ HCO_3^-	SO_4^{2-}	C.E.	∑ CÁTIONS	∑ ÂNIONS	CUSTÓDIO E LLAMAS (1976) (1)	LOGAN (1965) (2)	OBSERVAÇÃO
	meq/L									% Erro		
DEG-01	1,1402	3,0644	0,9211	0,1983	4,4914	0,0535	453,000	5,126	4,743	7,750	3,880	**Balanceado**
DEG-02	0,3429	0,244	0,1217	0,3103	0,3742	0,2269	94,000	0,709	0,912	25,050	12,530	**Balanceado**
DEG-04	0,6131	0,2999	0,2097	0,4175	0,2284	0,2415	124,000	1,123	0,887	23,410	11,710	**Balanceado**
DEG-05	0,4429	0,105	0,1587	0,646	0,2857	0,0104	199,000	0,707	0,942	28,570	14,290	**Balanceado**
DEG-08	0,2274	0,3244	0,102	0,409	0,5152	0,3768	116,000	0,654	1,301	66,210	33,110	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-10	0,3975	0,3539	0,1447	0,3837	0,1571	0,0747	132,000	0,896	0,616	37,130	18,570	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-12	0,8001	0,2909	0,1324	0,4937	0,0743	0,3185	91,000	1,224	0,887	31,940	15,970	**Não atende B.I. 1**
DEG-14	1,9157	0,7548	0,2739	1,1735	0,2235	0,6725	384,000	2,944	2,070	34,900	17,450	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-18	0,4322	0,065	0,0378	0,4626	0,3546	0,0521	90,000	0,535	0,869	47,600	23,800	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-19	0,8592	0,0765	0,1628	0,8773	0,6725	0,0104	182,000	1,099	1,560	34,730	17,370	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-20	0,896	0,3094	0,1571	0,773	1,1167	0,0356	237,000	1,363	1,925	34,230	17,120	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-72	0,3977	0,2634	0,1299	0,4203	0,0743	0,4809	120,000	0,791	0,976	20,880	10,440	**Balanceado**
DEG-75	0,2714	0,1875	0,0773	0,2573	0,4398	0,1081	79,000	0,536	0,805	40,110	20,060	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-81	0,3597	0,188	0,0946	0,3329	0,134	0,2436	88,000	0,642	0,710	10,090	5,050	**Balanceado**
DEG-82A	0,7267	0,5049	0,25	0,5416	0,6463	0,1582	147,000	1,482	1,346	9,580	4,790	**Balanceado**
DEG-109	0,7925	0,2829	0,1916	0,5896	0,1592	0,3748	159,000	1,267	1,124	12,000	6,000	**Balanceado**
DEG-114	0,3314	0,1325	0,0954	0,3611	0,2333	0,2311	106,000	0,559	0,826	38,440	19,220	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-118A	0,5256	0,196	0,1283	0,4401	0,4709	0,0325	147,000	0,850	0,944	10,450	5,220	**Balanceado**
DEG-120	1,6391	0,2509	0,2369	1,7011	0,7086	0,0895	255,000	2,127	2,499	16,100	8,050	**Não atende B.I. 1**
DEG-125	0,5632	0,3309	0,1472	0,5021	0,9102	0,2332	124,000	1,041	1,646	44,970	22,490	**Não atende B.I. 1 e 2**
DEG-128	1,4122	0,3859	0,3347	1,6475	0,3955	0,1405	250,000	2,133	2,184	2,350	1,170	**Balanceado**
DEG-130	0,4966	0,2495	0,1867	0,3696	0,0743	0,1711	167,000	0,933	0,615	41,060	20,530	**Não atende B.I. 1 e 2**

PONTO DE COLETA	Na+K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}+ HCO_3^-	SO_4^{2-}	C.E.	∑ CÁTIONS	∑ ÂNIONS	CUSTÓDIO E LLAMAS (1976) (1)	LOGAN (1965) (2)	OBSERVAÇÃO
	meq/L									% Erro		
DEG-142	4,0476	3,5043	2,0478	8,999	3,9178	0,0541	14,900	9,600	12,971	29,870	14,940	**Balanceado**
DEG-175	0,9713	1,0298	0,3594	0,3329	1,8035	0,2873	240,000	2,361	2,424	2,640	1,320	**Balanceado**
DEG-176	0,578	0,2959	0,1637	0,4542	0,0743	0,5163	197,000	1,038	1,045	0,690	0,350	**Balanceado**
SUP-01	1,9334	2,3595	2,9113	1,2977	0,0743	6,7873	847,000	7,204	8,159	12,430	6,220	**Não atende B.I. 1**
SUP-02	1,3086	0,219	0,2525	1,4105	0,3529	0,0491	189,000	1,780	1,813	1,810	0,910	**Balanceado**
SUP-03	3,4791	4,5491	2,2945	2,2455	0,0743	19,6749	2044,000	10,323	21,995	72,230	36,120	**Não atende B.I. 1 e 2**
SUP-04	1,9073	2,7794	3,4541	1,2159	0,0743	9,2024	1253,000	8,141	10,493	25,240	12,620	**Não atende B.I. 1**
SUP-05	2,7606	4,0992	1,7928	2,1637	0,0743	16,1771	2025,000	8,653	18,415	72,130	36,070	**Não atende B.I. 1 e 2**
SUP-08	0,8562	0,155	0,1752	0,7758	0,1777	0,1728	140,000	1,186	1,126	5,190	2,590	**Balanceado**

O gráfico apresenta a relação entre o somatório de cátions e ânions das amostras referentes a água subterrânea e superficial, respectivamente. A representação dos pontos se dá a partir do método de Logan (1965), onde quanto mais próximo da linha de equilíbrio, mais balanceada a amostra se encontra.

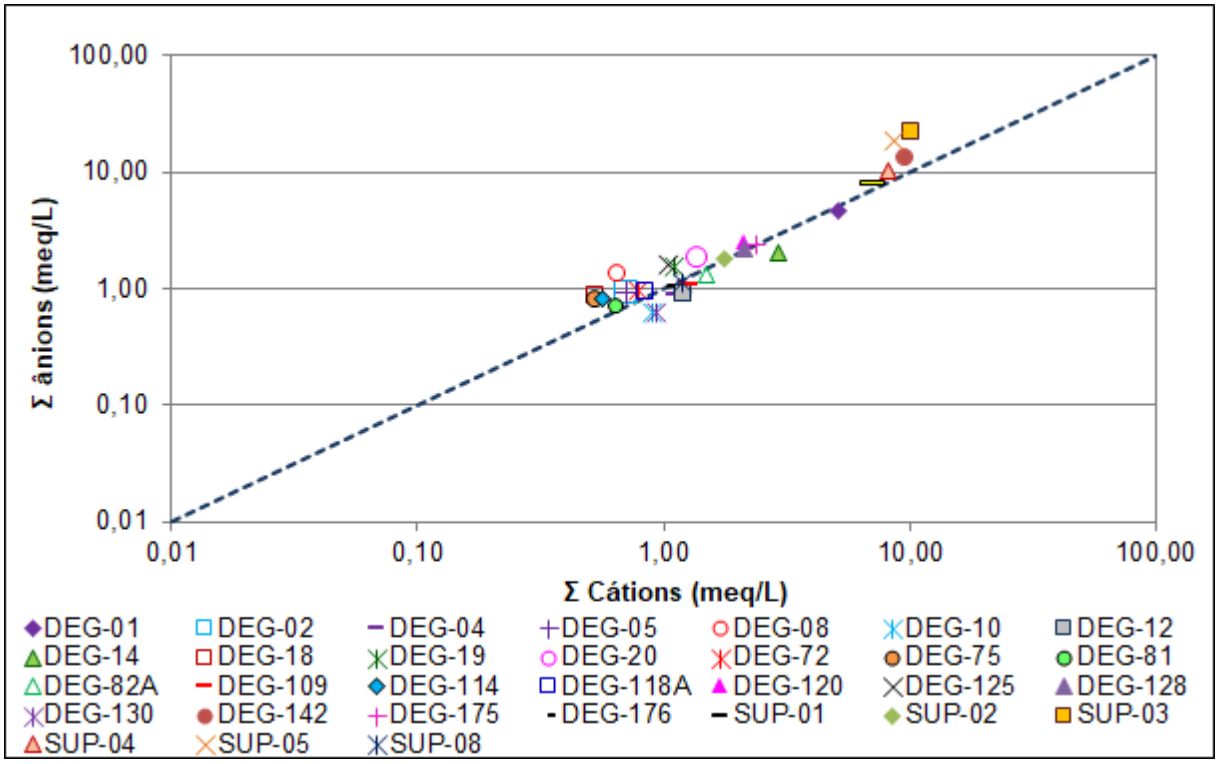


Figura 8.2: Representação do balanço iônico nas amostras de água subterrânea e superficial.

A partir dos pontos analisados, notou-se que 12 pontos estiveram desbalanceados segundo Logan (1965). Destes, 2 representam água superficial e 10 subterrânea. Tal alteração pode estar associada a eventuais erros analíticos do método e a influência de fatores externos.

Outra possível fonte de erro pode ser decorrente da análise dos elementos na fração total. Nesse caso pode ocorrer a dissolução de alguns coloides presentes da amostra pelos ácidos preservantes do frasco e, assim, alterar as concentrações normais da água subterrânea.

Vale ressaltar ainda que a acidificação das águas geradas pela caracterização da água pode fazer com que mais metais sejam solubilizados na água, o que dificulta o balanço iônico.

Para esse estudo verifica-se que as amostras subterrâneas e superficiais localizadas na comunidade de Degredo/ES próximo ao litoral estiveram desbalanceados (SUP-03, SUP-05, DEG-08, DEG-10, DEG-14, DEG-18, DEG-19, DEG-20, DEG-75, DEG-114, DEG-125 e DEG-130) segundo o método de Logan (1965).

8.2.2 Classificação e tratamento dos dados hidroquímicos

A classificação e tratamento dos dados hidroquímicos foram feitos através dos diagramas de *Piper Hill-Langelier* e de *Stiff*, como é descrito adiante.

8.2.2.1 Diagramas de Piper Hill-Langelier

Para a elaboração do Diagrama Triangular de *Piper-Hill-Langelier*, por meio do *software Qualigraf* v.1.17, serão considerados apenas os íons maiores (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, Cl^{-} e SO_4^{-}) como referência para classificação. Ressalta-se que, para os parâmetros que apresentaram concentrações abaixo dos respectivos Limites de Quantificação dos Métodos Analíticos - LQM, foi adotada a metade de seus valores. Esse procedimento é normal em análises estatísticas, para não apresentar lacunas no banco de dados e conservar as normalidades dos resultados.

O Diagrama de *Piper* é utilizado para a classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes. Esse diagrama é elaborado plotando as proporções dos cátions (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}+K^{+}) e ânions (CO_3^{2-}+HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}) principais em dois gráficos triangulares respectivos, e combinando tais informações em um losango situado entre eles.

8.2.2.2 Diagramas de Stiff

Para verificar a proporção e magnitude das concentrações dos íons dominantes em cada ponto amostrado, foi elaborado o Diagrama de *Stiff*. Para isso, as concentrações de cátions (Na+, K+, Mg2+, Ca2+) são plotadas à esquerda do eixo central, enquanto as concentrações de ânions (Cl-, SO42-, CO32-+HCO3-) são plotadas à direita desse eixo, ambas em miliequivalentes. Os pontos são então conectados, resultando em um polígono irregular que ilustra as quantidades relativas dos principais íons encontrados.

8.2.3 Avaliação da qualidade da água subterrânea

Na Tabela 8.9 estão os resultados analíticos da campanha de amostragem realizada no período de janeiro de 2020 das águas subterrâneas na comunidade de Degredo. Os laudos analíticos encontram-se no Anexo III.

Tabela 8.9: Resultados do Monitoramento Qualitativo das Águas Subterrâneas.

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 396/2008 - Consumo Humano	DEG-01	DEG-02	DEG-04	DEG-05	DEG-08	DEG-10	DEG-12	DEG-14	DEG-18	DEG-19	DEG-20	DEG-72	DEG-75	DEG-81	DEG-82A	DEG-109	DEG-114	DEG-118A	DEG-120	DEG-125	DEG-128	DEG-130	DEG-142	DEG-175	DEG-176
			23/01/2020	20/01/2020	22/01/2020	09/01/2020	09/01/2020	09/01/2020	13/01/2020	14/01/2020	14/01/2020	16/01/2020	14/01/2020	28/01/2020	21/01/2020	27/01/2020	27/01/2020	23/01/2020	30/01/2020	30/01/2020	28/01/2020	16/01/2020	29/01/2020	13/01/2020	22/01/2020	03/02/2020	03/02/2020
Alumínio Dissolvido	mg Al/L	0,2	0,01	0,01	0,06	0,05	0,04	0,04	0,85	0,13	0,07	0,07	0,02	0,08	0,01	0,26	0,15	0,05	0,03	0,01	0,1	0,04	0,11	3,4	0,01	0,02	0,31
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,01	0,0005	0,003	0,0005	0,004	0,005	0,004	0,0005	0,0005	0,004	0,008	0,015	0,002	0,007	0,004	0,002	0,002	0,002	0,021	0,002	0,0005	0,011	0,0005	0,0005	0,0005	0,003
Bário Dissolvido	mg Ba/L	0,7	1,41	0,03	0,005	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,06	0,05	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,32	0,35	0,02
Bicarbonato	mg HCO3/L	-	272	20,8	11,9	15,4	29,4	7,55	2,5	11,6	19,6	39	66,1	2,5	24,8	6,14	37,4	7,68	12,2	26,7	41,2	53,5	22,1	2,5	237	108	2,5
Boro Dissolvido	mg B/L	0,5	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,23	0,025	0,025
Cádmio Dissolvido	mg Cd/L	0,005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Cálcio Dissolvido	mg Ca/L	-	61,3	4,88	6	2,1	6,49	7,08	5,82	15,1	1,3	1,53	6,19	5,27	3,75	3,76	10,1	5,66	2,65	3,92	5,02	6,62	7,72	4,99	70,1	20,6	5,92
Carbonato	mg CO3/L	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chumbo Dissolvido	mg Pb/L	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,03	0,005	0,005	0,005	0,005
Cloreto	mg Cl-/L	250	7,03	11	14,8	22,9	14,5	13,6	17,5	41,6	16,4	31,1	27,4	14,9	9,12	11,8	19,2	20,9	12,8	15,6	60,3	17,8	58,4	13,1	319	11,8	16,1
Cobalto Dissolvido	mg Co/L	-	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cobre Dissolvido	mg Cu/L	2	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,122	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
Condutividade Elétrica	µS/cm	-	453	94	124	199	116	132	91	384	90	182	237	120	79	88	147	159	106	147	255	124	250	167	14,9	240	197
Cromo Dissolvido	mg Cr/L	0,05	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Estanho Dissolvido	mg Sn/L	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ferro Dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,05	1,86	0,64	13,4	7,26	3,76	0,05	0,05	5,23	14,6	18,4	1,29	4,5	2,11	2,47	4,95	7,68	17	0,67	0,28	8,58	0,37	0,61	0,95	0,89
Ferro Total	mg Fe/L	0,3	1,42	2,26	1,48	14	7,26	3,83	0,05	0,12	5,49	14,6	18,9	1,54	4,68	2,26	7,96	6,63	7,76	17,2	2,89	0,31	13,9	0,37	1,92	0,96	1,03
Fluoreto	mg F-/L	1,5	0,3	0,025	0,06	0,025	0,08	0,08	0,15	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,15	0,27	0,12	0,025

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 396/2008 - Consumo Humano	DEG-01	DEG-02	DEG-04	DEG-05	DEG-08	DEG-10	DEG-12	DEG-14	DEG-18	DEG-19	DEG-20	DEG-72	DEG-75	DEG-81	DEG-82A	DEG-109	DEG-114	DEG-118A	DEG-120	DEG-125	DEG-128	DEG-130	DEG-142	DEG-175	DEG-176
			23/01/2020	20/01/2020	22/01/2020	09/01/2020	09/01/2020	09/01/2020	13/01/2020	14/01/2020	14/01/2020	16/01/2020	14/01/2020	28/01/2020	21/01/2020	27/01/2020	27/01/2020	23/01/2020	30/01/2020	30/01/2020	28/01/2020	16/01/2020	29/01/2020	13/01/2020	22/01/2020	03/02/2020	03/02/2020
Fósforo Total	mg P/L	-	0,22	0,005	0,02	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,06	0,005	0,005	0,005	0,18	0,005	0,38	0,005	0,38	0,16	0,005
Magnésio Dissolvido	mg Mg/L	-	11,2	1,48	2,55	1,93	1,24	1,76	1,61	3,33	0,46	1,98	1,91	1,58	0,94	1,15	3,04	2,33	1,16	1,56	2,88	1,79	4,07	2,27	24,9	4,37	1,99
Manganês Dissolvido	mg Mn/L	0,1	0,06	0,02	0,03	0,06	0,07	0,05	0,1	0,07	0,03	0,06	0,2	0,05	0,05	0,09	0,08	0,06	0,07	0,06	0,04	0,05	0,03	0,13	0,31	0,07	0,05
Manganês Total	mg Mn/L	0,1	0,06	0,03	0,03	0,07	0,09	0,06	0,1	0,08	0,03	0,06	0,21	0,05	0,05	0,09	0,1	0,06	0,07	0,07	0,1	0,06	0,04	0,13	0,31	0,07	0,05
Mercúrio Dissolvido	mg Hg/L	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel Dissolvido	mg Ni/L	0,02	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Nitrato (N)	mg N_NO3/L	10	0,07	0,45	0,17	0,01	0,44	0,12	5,74	18	0,01	0,01	3,19	0,01	0,01	0,01	0,36	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	10	0,03	0,01	3,04
Nitrito (N)	mg N_NO2/L	1	0,02	0,03	0,03	0,01	0,06	0,06	0,06	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,05
Nível da água	m	-	2,32	2,33		0,78	1,45	3,84	2,4	3,11	2,19	2,57	1,87	0,87	2,58	1,99		1,39		0,88		3,21	2,02	2,67		2,16	1,58
Oxigênio Dissolvido	mg/L	-	0,62	0,29	0,39	0,68	0,98	2,38	0,85	1,95	1,21	1,31	0,58	0,15	0,32	0,14	1,33	0,76	0,71	0,58	0,53	1,2	0	1,8	0,49	3,25	2,26
pH	-	-	7,2	5,66	5,74	5,88	5,95	5,89	4,46	5,49	5,61	5,98	6,85	6,23	5,8	5,75	7,59	6,15	5,67	6,02	8,36	5,55	6,09	4,12	6,95	6,63	5,62
Potássio Dissolvido	mg K/L	-	3,25	1,45	2,54	1,04	0,78	3,94	2,88	8,91	0,3	0,6	8,33	4,12	0,66	2,19	2,22	2,07	0,73	1,16	10	2,29	2,49	2,73	22,7	3,79	3,21
Potencial de Oxirredução	mV	-	47,9	169,3	145,5	-17,4	1,1	54,3	25,5	202,6	129	30	-4,4	12,2	50,3	36,6	84,6	-17,7	-16,1	-19	75,7	549	-20	398,2	18,6	-30,6	72,4
Prata Dissolvido	mg Ag/L	0,1	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
Profundidade	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180	-	-
Sódio Dissolvido	mg Na/L	200	24,3	7,03	12,6	9,57	4,77	6,82	16,7	38,8	9,76	19,4	15,7	6,72	5,85	6,98	15,4	17	7,19	11,4	31,8	11,6	31	9,81	79,7	20,1	11,4
Sólidos Dissolvidos Totais	mg SDT/L	1000	276	69	75,5	100	85,5	96	111	341	118	119	212	71,5	60	54	100	96,5	59,5	65,5	186	75	170	98,5	697	242	90
Sulfato	mg SO4/L	250	2,57	10,9	11,6	0,5	18,1	3,59	15,3	32,3	2,5	0,5	1,71	23,1	5,19	11,7	7,6	18	11,1	1,56	4,3	11,2	6,75	8,22	2,6	13,8	24,8
Sulfeto	mg S2-/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 396/2008 - Consumo Humano	DEG-01	DEG-02	DEG-04	DEG-05	DEG-08	DEG-10	DEG-12	DEG-14	DEG-18	DEG-19	DEG-20	DEG-72	DEG-75	DEG-81	DEG-82A	DEG-109	DEG-114	DEG-118A	DEG-120	DEG-125	DEG-128	DEG-130	DEG-142	DEG-175	DEG-176
			23/01/2020	20/01/2020	22/01/2020	09/01/2020	09/01/2020	09/01/2020	13/01/2020	14/01/2020	14/01/2020	16/01/2020	14/01/2020	28/01/2020	21/01/2020	27/01/2020	27/01/2020	23/01/2020	30/01/2020	30/01/2020	28/01/2020	16/01/2020	29/01/2020	13/01/2020	22/01/2020	03/02/2020	03/02/2020
Temperatura da Amostra	°C	-	26,87	30,13	28,58	30,55	29,53	28,64	28,77	27,19	28,24	28,16	28,36	27,3	28,92	28,35	30,27	26,41	29,76	29,15	31,49	28,32	27,28	30,26	26,75	28,02	31,04
Temperatura do Ambiente	°C	-	26,25	29,66	29,27	32,44	-	-	-	-	-	29,25	-	28,54	27,9	27,32	27,49	25,76	42	39,43	28,59	28,1	28,49	-	26,49	41,58	40,86
Tempo	-	-	Nublado	Bom	Nublado	-	-	-	Bom	Nublado	Chuvoso	Bom	Chuvoso	Nublado	-	Nublado	Nublado	Nublado	Bom	Bom	Nublado	Bom	Bom	Bom	Nublado	Bom	Bom
Turbidez	NTU	-	36,3	2,32	18,39	6,2	0	0	0	0	0	8,64	0	0	0	20,9	49,3	48,7	0	0	52,1	0	26,5	0	21,8	5,55	8
Última Chuva	-	-	12H Antes	24H Antes	24H Antes	-	-	-	Mais de 5 dias	12H Antes	12H Antes	-	Na hora da coleta	24H Antes	-	12H Antes	24H Antes	12H Antes	Últimos 5 dias	Últimos 5 dias	24H Antes	-	24H Antes	Mais de 5 dias	24H Antes	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias
Zinco Dissolvido	mg Zn/L	5	0,07	0,09	0,09	0,07	0,09	0,08	0,12	0,08	0,09	0,09	0,11	0,08	0,09	0,09	0,12	0,09	0,13	0,1	0,21	0,09	0,14	0,1	0,08	0,08	0,13

Para avaliarmos os resultados do ponto de vista legal, foi elaborada, de forma sucinta, a Tabela 8.9, que apresenta a estatística dos parâmetros analisados e exibe os limites de concentração de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (subterrânea).

Os parâmetros destacados na tabela acima, correspondem àqueles que apresentaram não conformidade aos valores limites da CONAMA Nº 396/2008 para consumo humano. A Figura 8.3 ilustra a frequência de ocorrência dos parâmetros não conformes.

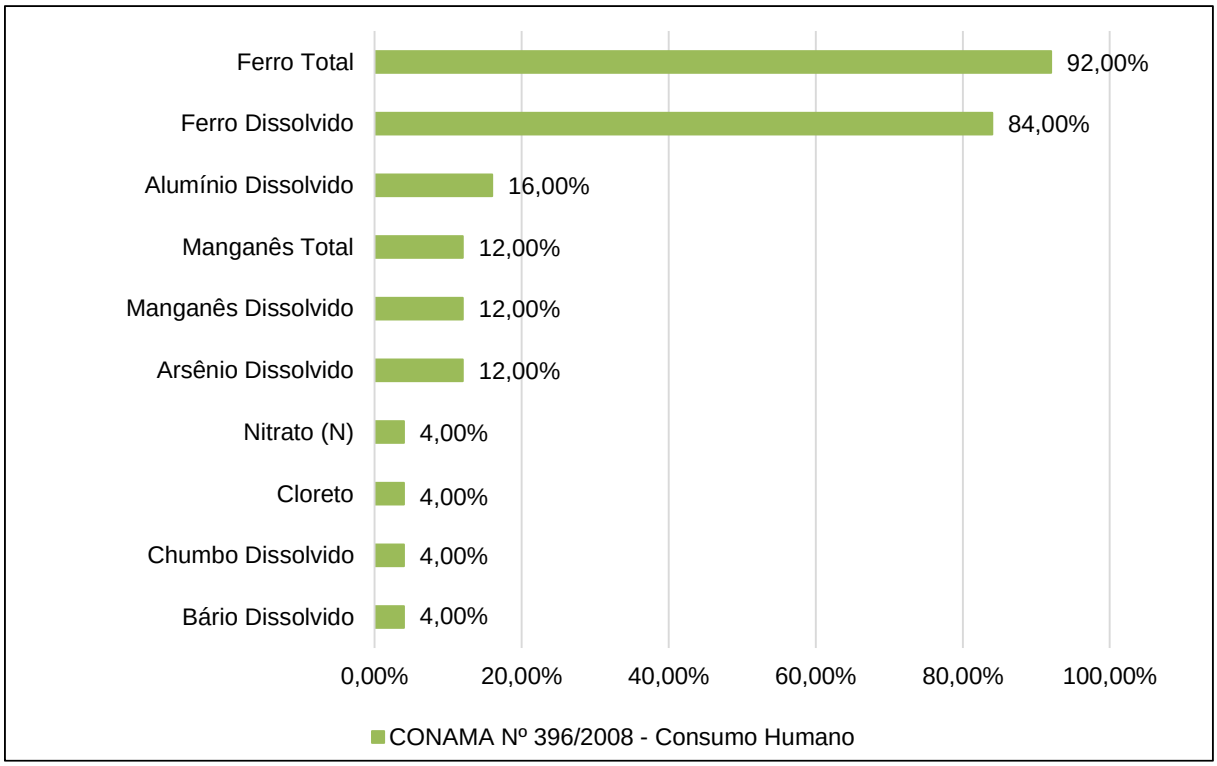


Figura 8.3: Frequência de ocorrência de parâmetros NÃO conformes à CONAMA 396/2008 – Consumo humano.

Nas análises de água subterrânea os parâmetros não conformes foram: Bário Dissolvido, Chumbo Dissolvido, Cloreto, Nitrato (N), Arsênio Dissolvido, Manganês Dissolvido, Manganês Total, Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Ferro Total o que representa aproximadamente 35,7% de não conformidades.

Abaixo segue (Figura 8.4) os pontos de coleta subterrânea da comunidade de degredo/Linhares.

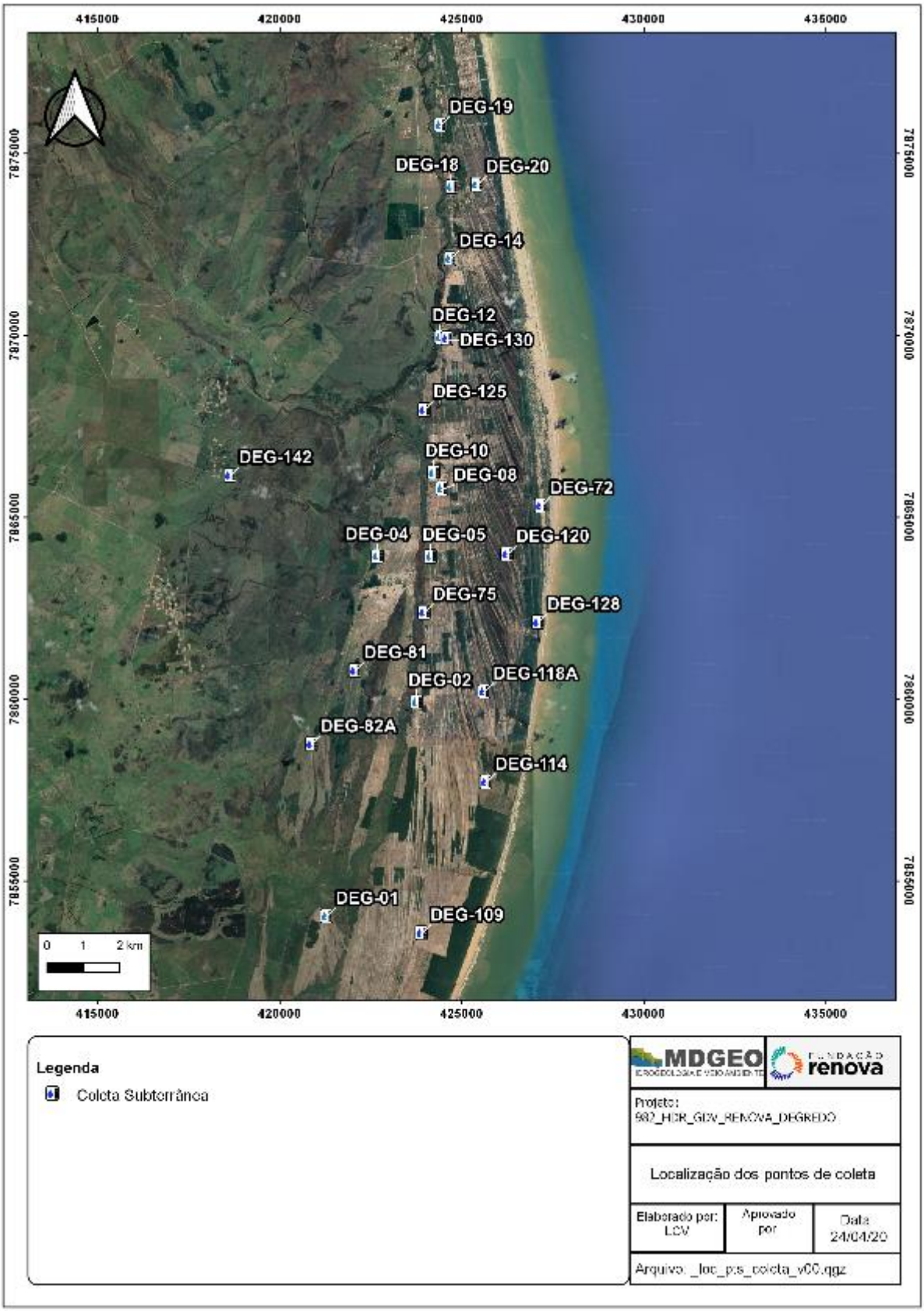


Figura 8.4: Pontos de coletas subterrâneas em Degredo.

Para esses parâmetros que apresentaram resultados acima dos padrões e limite de referência adotado, foram confeccionados os gráficos representados na Figura 8.5, Figura 8.6, Figura 8.7, Figura 8.8, Figura 8.9, Figura 8.10, Figura 8.11, Figura 8.12, Figura 8.13 e Figura 8.14, nos quais são mostrados os valores obtidos nas amostras de cada ponto, comparados com os limites da legislação.

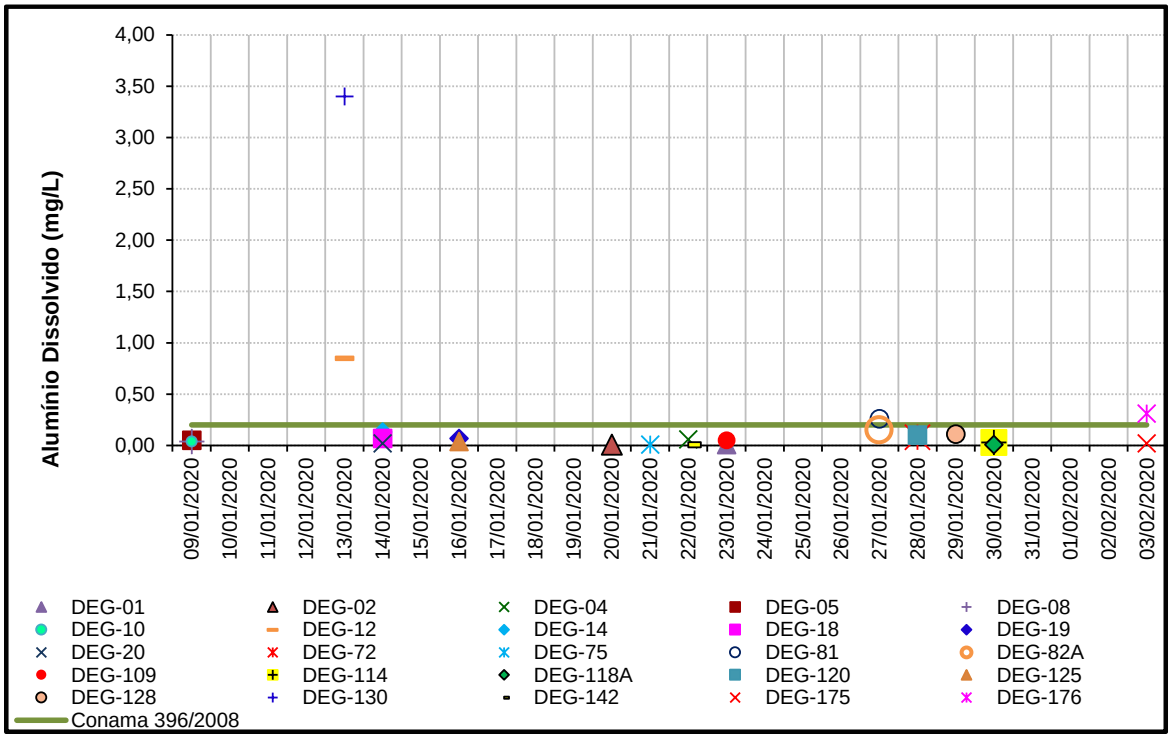


Figura 8.5: Gráfico de Alumínio (mg/L) x Ponto.

Os únicos pontos que apresentaram concentração de alumínio superior ao limite estabelecido pela legislação foram o DEG-12, DEG-176. Esses poços estão localizados na porção norte da área de estudo (DEG-12) e na porção central (DEG-176).

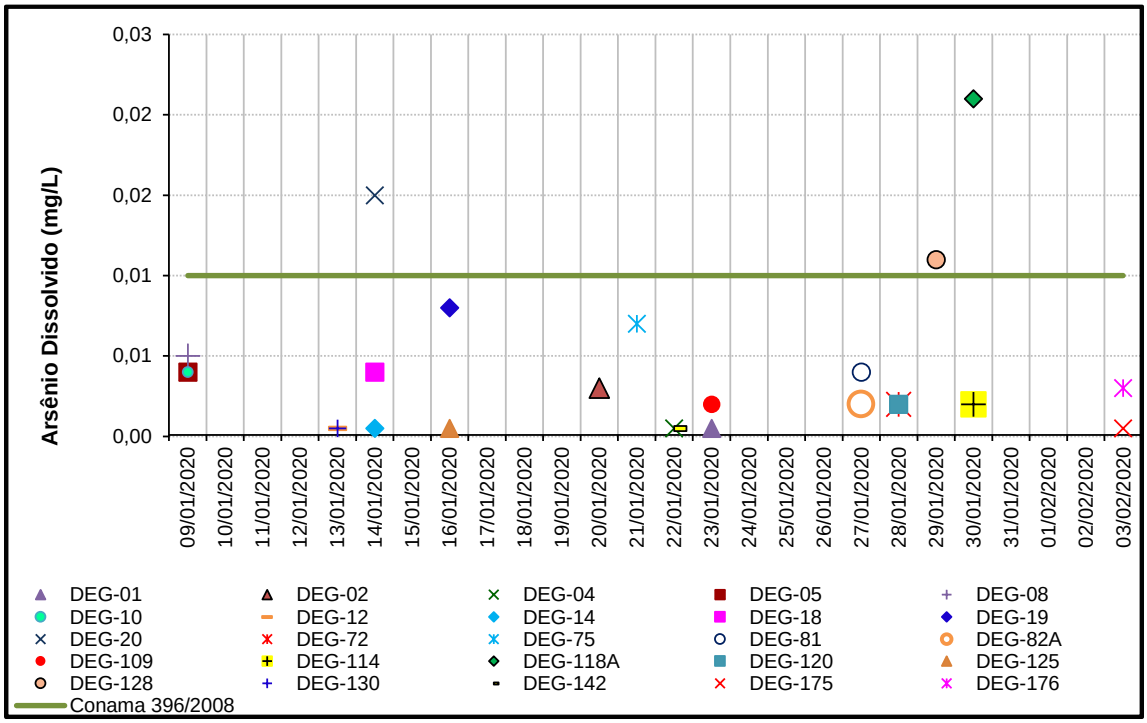


Figura 8.6: Gráfico de Arsênio (mg/L) x Ponto.

Assim como para o Alumínio, tiveram alguns instrumentos que apresentaram concentrações acima do VMP pela legislação em relação à concentração de Arsênio Dissolvido que foram DEG-20, DEG-128 e DEG-118A, sendo que eles estão localizados na porção central ao sul da área de estudo, sendo que o DEG-118A, está longe do rio Ipiranga.

Um elemento onde tem maior concentração foi próximo a praia, sendo contrário o que a comunidade relata, dizendo que na beira do rio Ipiranga tem maior concentração, o que se pode inferir que não tem relação aquífero e água superficial nesse caso.

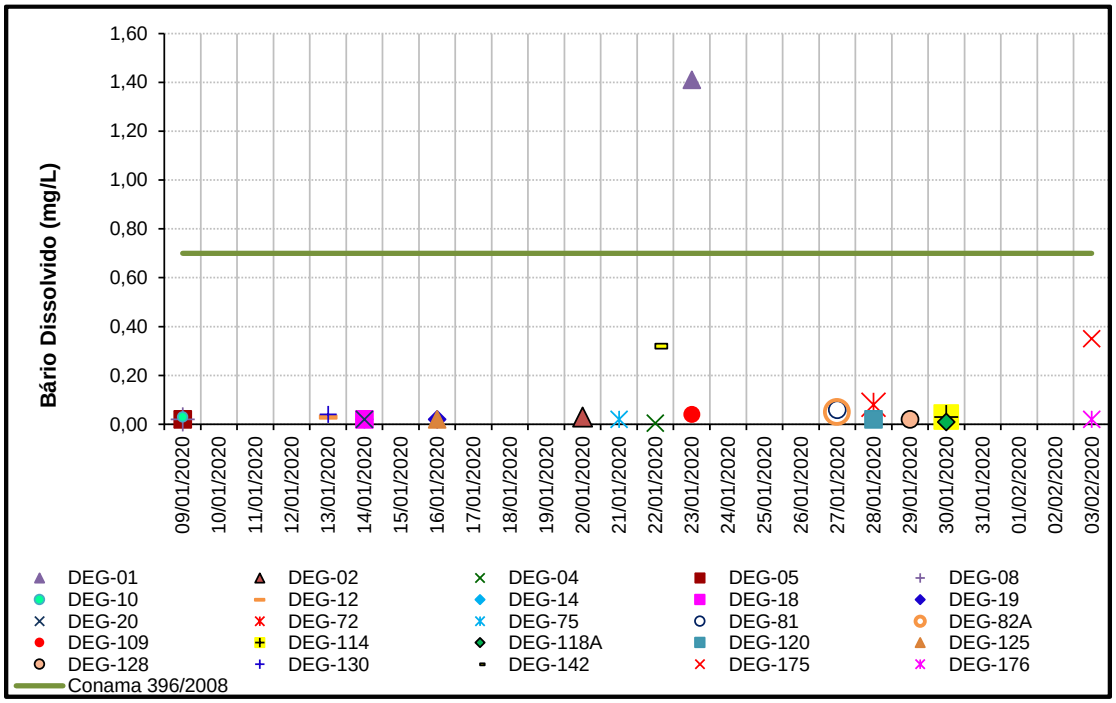


Figura 8.7: Gráfico de Bário Dissolvido (mg/L) x Ponto.

O único ponto que apresentou não conformidade em relação à concentração de Bário Dissolvido foi DEG-01 localizado na porção sul da área de coleta, próximo à área da Petrobrás o que pode ter correlação.

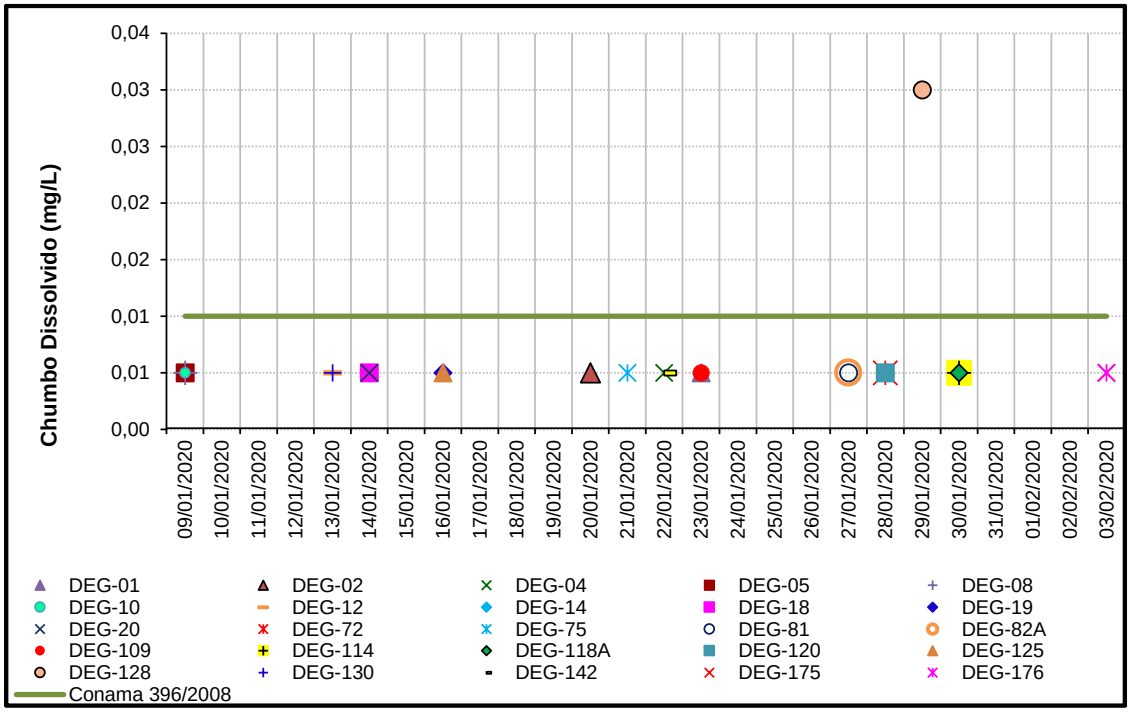


Figura 8.8: Gráfico de Chumbo Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Somente o ponto DEG-128 esteve acima do valor máximo permitido pela legislação em relação à concentração de Chumbo Dissolvido, o qual está localizado na porção central da área de coleta.

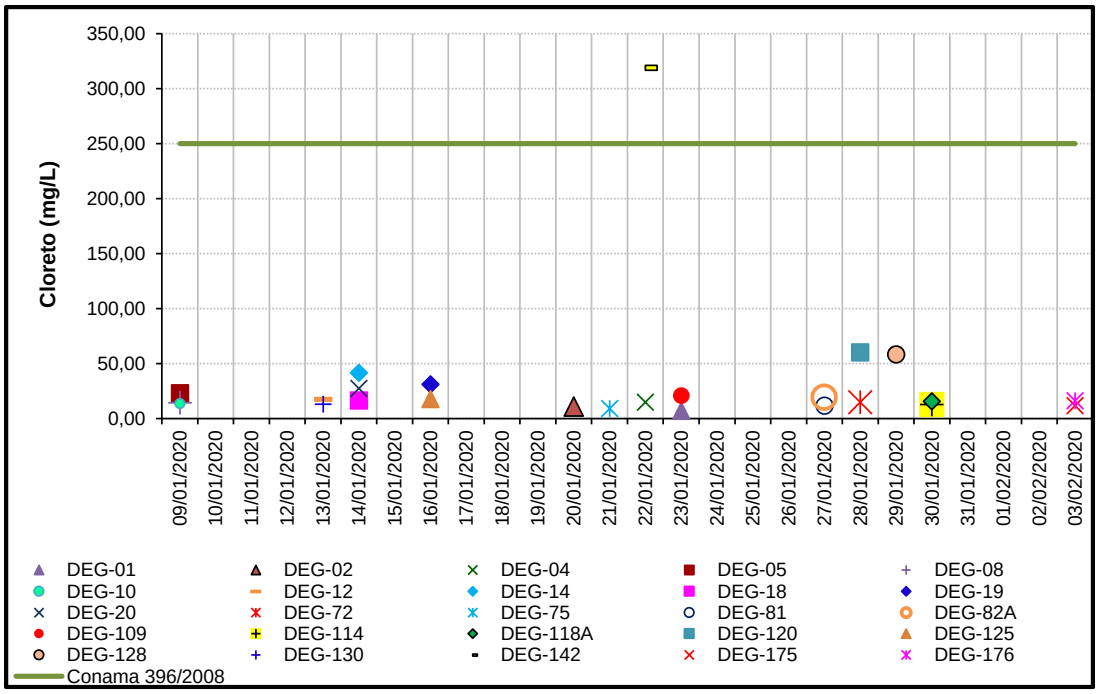


Figura 8.9: Gráfico de Cloreto (mg/L) x Ponto.

O ponto que apresentou não conformidade em relação à concentração de Cloreto foi o DEG-142, que está localizado na porção oeste da área de coleta, sendo que no dia da coleta e do cadastramento de usuário os moradores que utilizam água desse poço relataram que é muito salgada, o que está relacionado a profundidade do poço que provavelmente pode ter parado a perfuração em uma cunha salina.

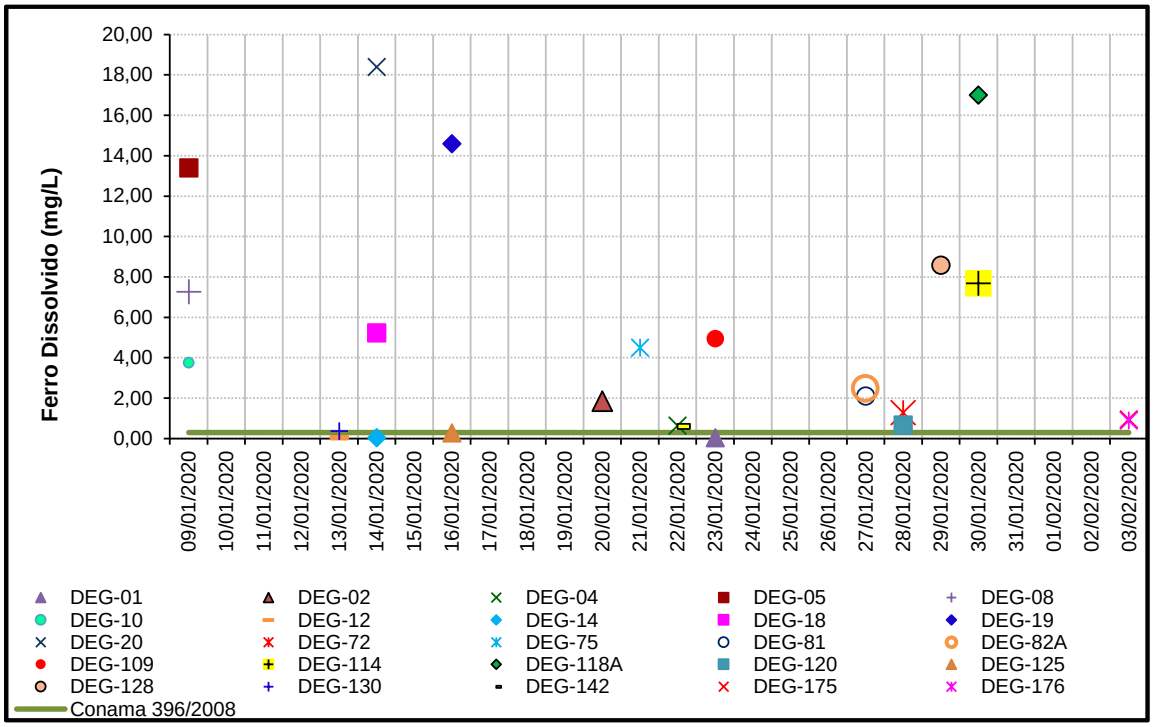


Figura 8.10: Gráfico de Ferro Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Ferro Dissolvido foram: DEG-10, DEG-08, DEG-05, DEG-18, DEG-19, DEG-20, DEG-02, DEG-75, DEG-142, DEG-04, DEG-109, DEG-81, DEG-82A, DEG-72, DEG-120, DEG-114, DEG-128, DEG-118A, DEG-176, DEG-130, DEG-142 e DEG-175. Grande parte dos instrumentos apresentaram acima do permitido, por causa, que o solo é característico de ferruginoso, por isso, estão grande parte acima do permitido.

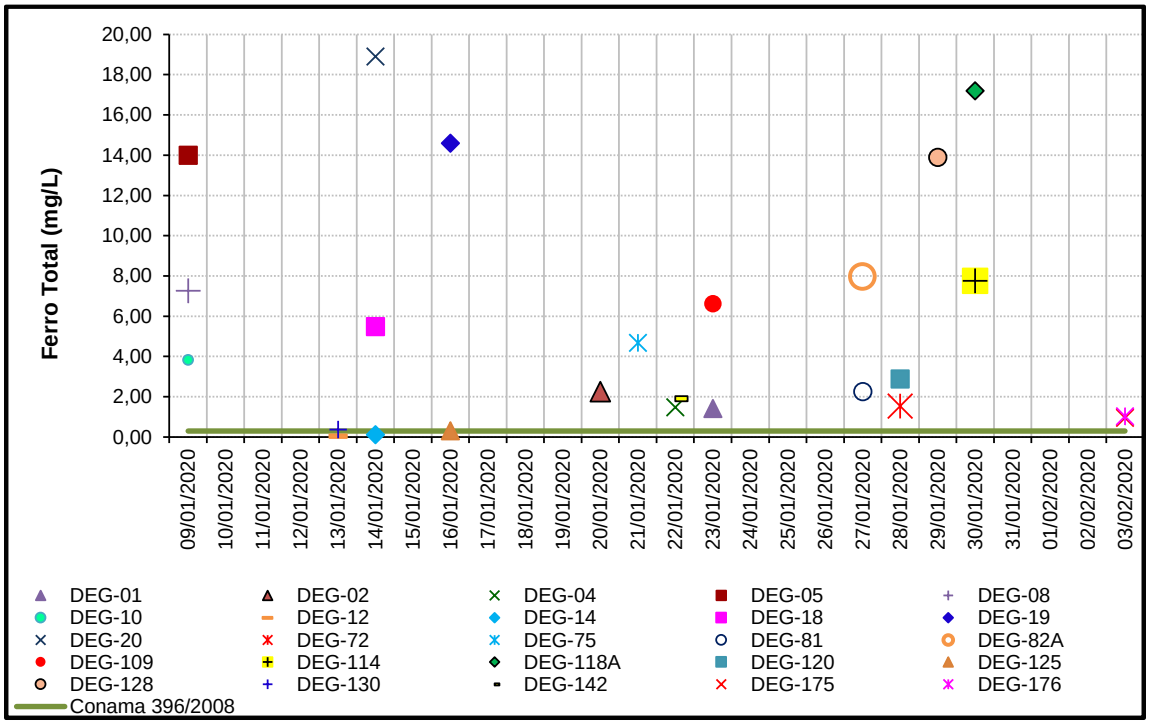


Figura 8.11: Gráfico de Ferro Total (mg/L) x Ponto.

Analogamente ao parâmetro anterior, todos estão acima do VMP em relação à concentração de Ferro Total exceto o DEG-12 e DEG-14 para o CONAMA 396/2008.

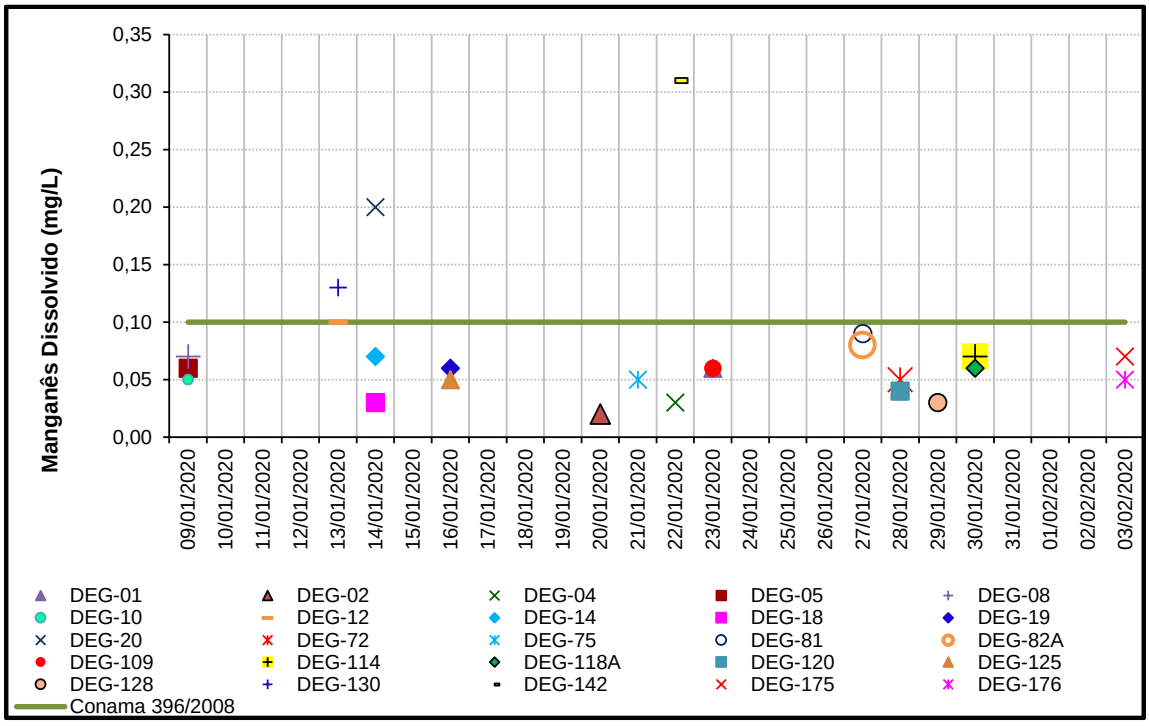


Figura 8.12: Gráfico do Manganês Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Manganês Dissolvido foram: DEG-20, DEG-130, DEG-142, localizados na porção norte próximos (DEG-20 e DEG-130) e na porção oeste (DEG-142) relacionado analogamente com o cloreto.

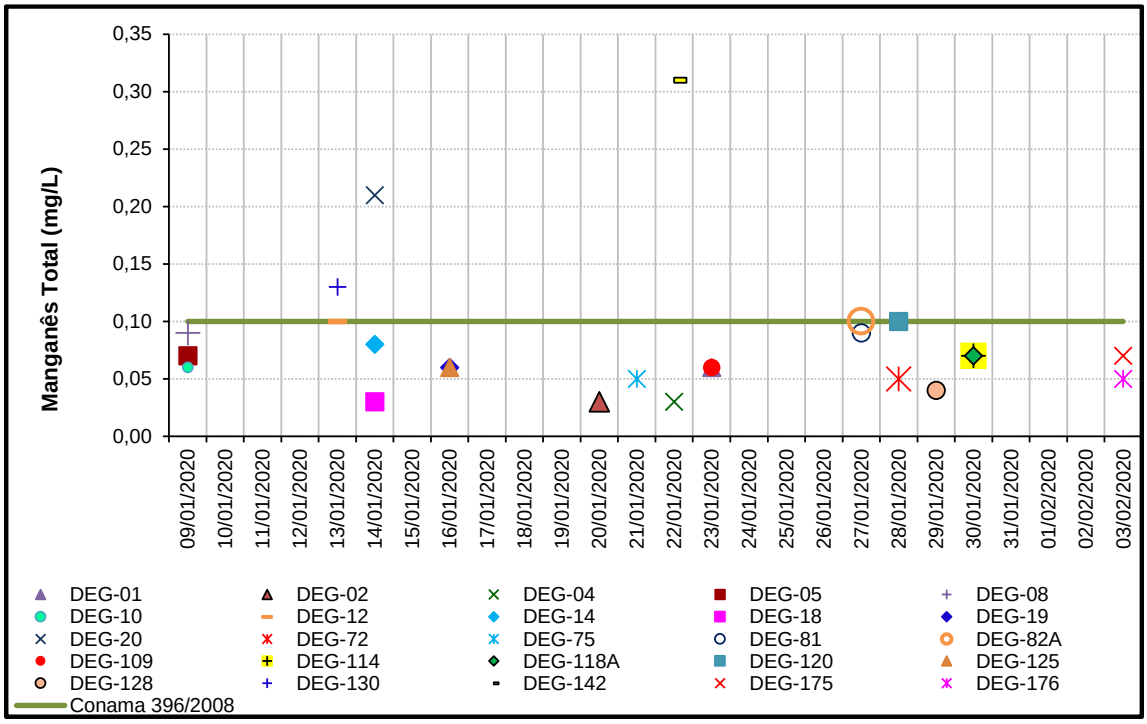


Figura 8.13: Gráfico do Manganês Total (mg/L) x Ponto.

Analogamente ao parâmetro anterior, os mesmos pontos estiveram acima do VMP em relação à concentração do Manganês Total que foram: DEG-20, DEG-130, DEG-142, localizados na porção norte próximos (DEG-20 e DEG-130) e na porção oeste (DEG-142) relacionado analogamente com o cloreto.

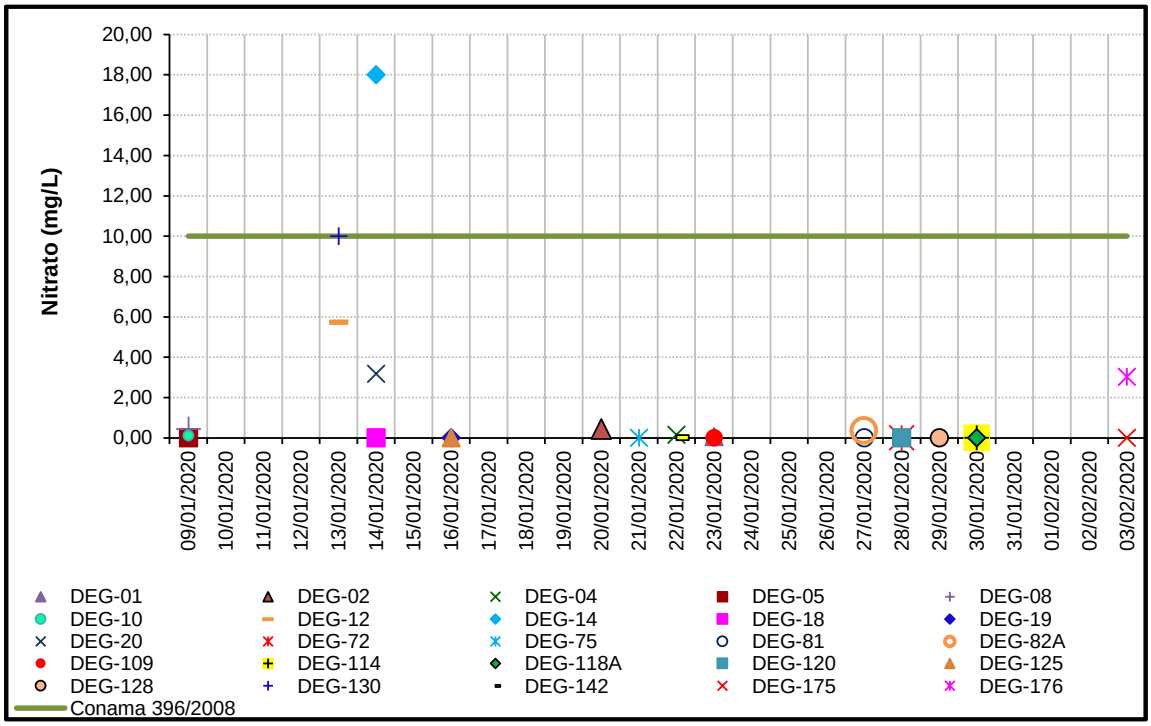


Figura 8.14: Gráfico de Nitrato (mg/L) x Ponto.

Somente o ponto DEG-14 esteve acima do valor máximo permitido pela legislação em relação à concentração de Nitrato, o qual está localizado na porção norte da área.

A análise geral das desconformidades indica que os pontos mais críticos com relação às águas subterrâneas são DEG-20, DEG-128 e DEG-118A, possuindo Arsênio, chumbo e outros elementos pesados.

8.2.3.1 Diagrama de Piper e Stiff de amostra Subterrânea.

Uma forma de classificar os distintos grupos de água é a partir do Diagrama de *Piper*, separando nos triângulos os campos de domínio dos cátions e ânions e no paralelogramo os principais tipos hidroquímicos. A Figura 8.15 ilustra o diagrama construído a partir dos resultados para as águas subterrâneas.

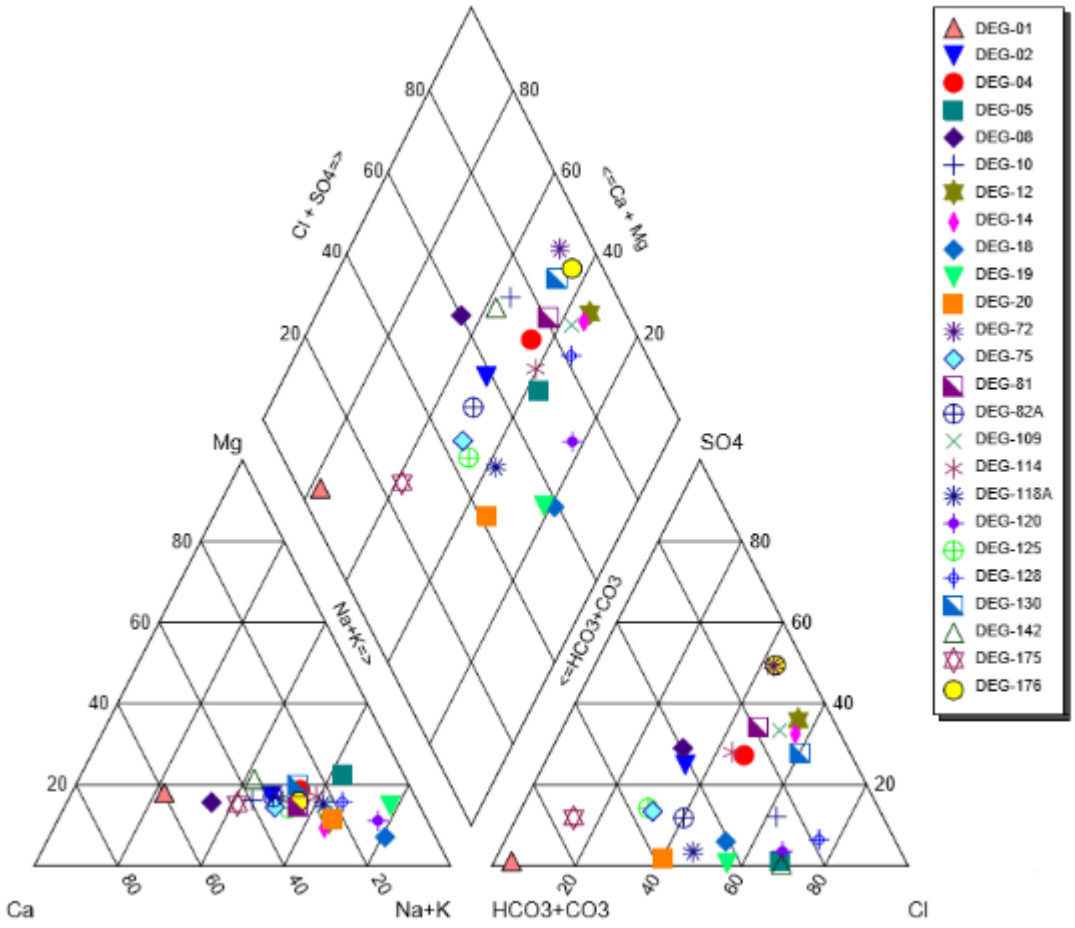


Figura 8.15: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas.

A Tabela 8.10, por sua vez, apresenta a classificação hidroquímica associada para cada ponto de água subterrânea.

Tabela 8.10: Classificação hidroquímica das águas subterrâneas.

PONTO	CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA
DEG-01	Bicarbonatada Cálcica
DEG-02	Mista Mista
DEG-04	Mista Sódica
DEG-05	Cloretada Sódica
DEG-08	Mista Mista
DEG-10	Cloretada Mista
DEG-12	Cloretada Sódica
DEG-14	Cloretada Sódica
DEG-18	Cloretada Sódica
DEG-19	Cloretada Sódica
DEG-20	Bicarbonatada Sódica
DEG-72	Mista Sódica
DEG-75	Bicarbonatada Sódica
DEG-81	Mista Sódica
DEG-82A	Mista Mista
DEG-109	Cloretada Sódica
DEG-114	Mista Sódica
DEG-118A	Mista Sódica
DEG-120	Cloretada Sódica

PONTO	CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA
DEG-125	Bicarbonatada Sódica
DEG-128	Cloretada Sódica
DEG-130	Cloretada Sódica
DEG-142	Cloretada Mista
DEG-175	Bicarbonatada Mista
DEG-176	Mista Sódica

Nos pontos DEG-01, DEG-20, DEG-75, DEG-125 e DEG-175 o ânion predominante foi o bicarbonato, já para os pontos DEG-12, DEG-14, DEG-18, DEG-19, DEG-109, DEG-120, DEG-128, DEG-130 e DEG-142 predominantemente foi o cloreto e finalmente, para os pontos DEG-72, DEG-81, DEG-82A, DEG-114, DEG-118A e DEG-176 há presença de bicarbonato, sulfato e cloreto, sendo classificados como mistos, tanto sódico ou mista.

Em relação aos cátions observa-se que na porção norte e central da área de coleta, os pontos DEG-12, DEG-14, DEG-18 e DEG-128, há predominância de sódio. O ponto DEG-01 (parte sul da área de coleta) mais afastada apresenta predominância de cálcio. Enquanto os demais pontos, foram classificados como água mista (Mg^{2+} e Na^{+} + K^{+}).

Para uma análise mais espacial da concentração dos principais íons em cada amostra, os diagramas de *stiff* são bastante úteis, pois facilitam na identificação de águas de mesma família, de acordo com as figuras geométricas formadas. Desta forma, o Mapa de *Stiff* da Figura 8.16 ilustra os resultados obtidos para estes pontos.

De maneira geral, os diagramas mais largos representam as amostras mais salinas (mais mineralizadas) e os diagramas mais estreitos representam as amostras menos salinas (menos mineralizadas). As amostras apresentaram as mesmas características em relação a salinidade, exceto as amostras DEG-142 e DEG-01 apresentarem anomalia de ser mais mineralizadas, sendo bicabornatada e cloretadas.

O DEG-120 obteve o mesmo comportamento do DEG-128, na qual, o DEG-120 característico água de brejo e o DEG-128 um poço desativado próximo à beira de um rio, a menos de 50 metros da praia e os dois na mesma direção.

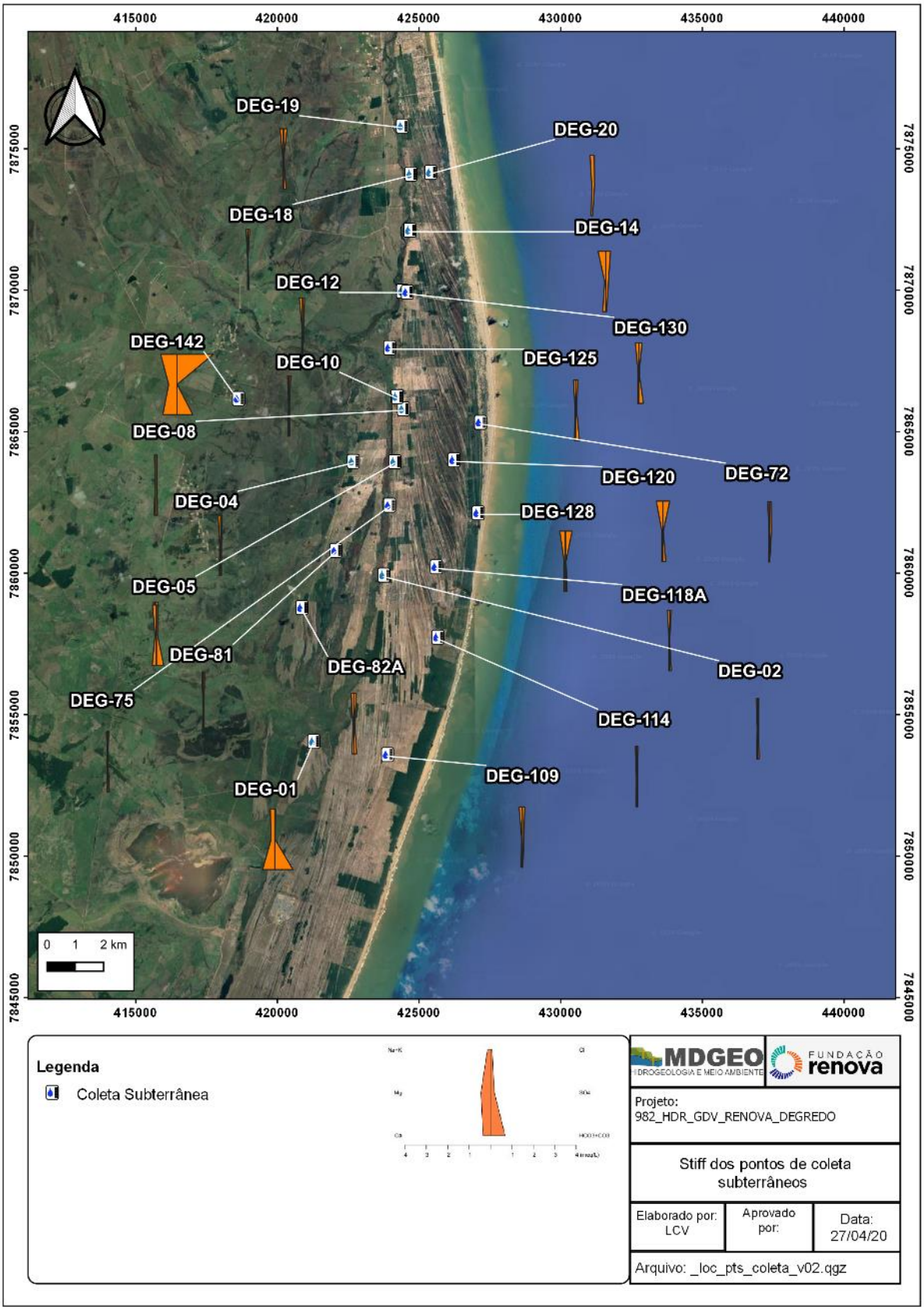


Figura 8.16: Diagrama de *Stiff* das águas subterrâneas.

8.2.4 Avaliação da qualidade da água superficial

Na Tabela 8.11 estão os resultados analíticos da campanha de amostragem realizada no período de janeiro de 2020 das águas subterrâneas na comunidade de Degredo. Os laudos analíticos encontram-se no Anexo III.

Tabela 8.11: Resultados dos Monitoramento Qualitativo das Águas Superficiais.

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 357/2005 - Classe 2	SUP-01	SUP-02	SUP-03	SUP-04	SUP-05	SUP-08
			20/01/2020	29/01/2020	13/01/2020	16/01/2020	16/01/2020	03/02/2020
Alumínio Dissolvido	mg Al/L	0,1	1,53	0,01	33,7	10,8	30,4	0,01
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,01	0,0005	0,002	0,001	0,0005	0,001	0,0005
Bário Dissolvido	mg Ba/L	0,7	0,14	0,02	0,05	0,08	0,04	0,02
Bicarbonato	mg HCO3/L	-	2,5	19,5	2,5	2,5	2,5	8,81
Boro Dissolvido	mg B/L	0,5	0,08	0,025	0,1	0,08	0,1	0,025
Cádmio Dissolvido	mg Cd/L	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Cálcio Dissolvido	mg Ca/L	-	47,2	4,38	91	55,6	82	3,1
Carbonato	mg CO3/L	-	1	1	1	1	1	1
Chumbo Dissolvido	mg Pb/L	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Cloreto	mg Cl-/L	250	46	50	79,6	43,1	76,7	27,5
Cobalto Dissolvido	mg Co/L	0,05	0,02	0,005	0,15	0,05	0,13	0,005
Cobre Dissolvido	mg Cu/L	0,009	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
Condutividade Elétrica	µS/cm	-	847	189	2044	1253	2025	140
Cromo Dissolvido	mg Cr/L	0,05	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Estanho Dissolvido	mg Sn/L	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ferro Dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,52	0,41	21,6	9,31	14,6	0,11
Ferro Total	mg Fe/L	-	1,75	3,91	21,6	11	14,6	0,75
Fluoreto	mg F-/L	1,4	0,25	0,025	1,1	0,025	0,98	0,025
Fósforo Total	mg P/L	0,1	0,005	0,005	0,005	0,01	0,03	0,005
Magnésio Dissolvido	mg Mg/L	-	35,4	3,07	27,9	42	21,8	2,13
Manganês Dissolvido	mg Mn/L	-	2,26	0,03	3,25	1,49	2,83	0,02
Manganês Total	mg Mn/L	0,1	2,27	0,04	3,28	1,51	2,92	0,05
Mercúrio Dissolvido	mg Hg/L	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel Dissolvido	mg Ni/L	0,025	0,005	0,005	0,08	0,03	0,07	0,005
Nitrato (N)	mg N_NO3/L	10	0,01	0,01	0,21	0,01	0,01	0,01
Nitrito (N)	mg N_NO2/L	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Oxigênio Dissolvido	mg/L	5	1,24	0,13	1,5	0,61	1,34	4,01
pH	-	6 a 9	4,05	6,6	2,8	3,16	2,81	6,69
Potássio Dissolvido	mg K/L	-	7,05	3,03	11,7	6,71	8,95	1,67
Potencial de Oxirredução	mV	-	270	99,8	524,3	475,1	510,7	91,6
Prata Dissolvido	mg Ag/L	0,01	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
Sódio Dissolvido	mg Na/L	-	40,3	28,3	73,1	39,9	58,2	18,7
Sólidos Dissolvidos Totais	mg SDT/L	500	523	135	1162	777	1082	80
Sulfato	mg SO4/L	250	326	2,36	945	442	777	8,3
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Temperatura da Amostra	°C	-	31,27	29,33	30,87	30,22	31,22	32,66
Temperatura do Ambiente	°C	-	30,14	28,29	-	36,73	30,18	37,08

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA Nº 357/2005 - Classe 2	SUP-01	SUP-02	SUP-03	SUP-04	SUP-05	SUP-08
			20/01/2020	29/01/2020	13/01/2020	16/01/2020	16/01/2020	03/02/2020
Tempo	-	-	Bom	Nublado	Bom	Bom	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	9,97	21,1	0	0,6	0	22,1
Última Chuva	-	-	24H Antes	24H Antes	Mais de 5 dias	-	-	Mais de 5 dias
Zinco Dissolvido	mg Zn/L	0,18	0,11	0,01	0,22	0,07	0,18	0,01

A Tabela 8.11 permite a análise dos resultados do ponto de vista legal, já que apresenta a estatística dos parâmetros analisados e exibe os limites de concentração de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para águas de classe 2.

Os parâmetros destacados na tabela acima, correspondem aos que tiveram não conformes aos valores limites da CONAMA N° 357/2005 para águas de Classe 2. A Figura 8.17 ilustra a frequência de ocorrência dos parâmetros não conformes em águas superficiais.

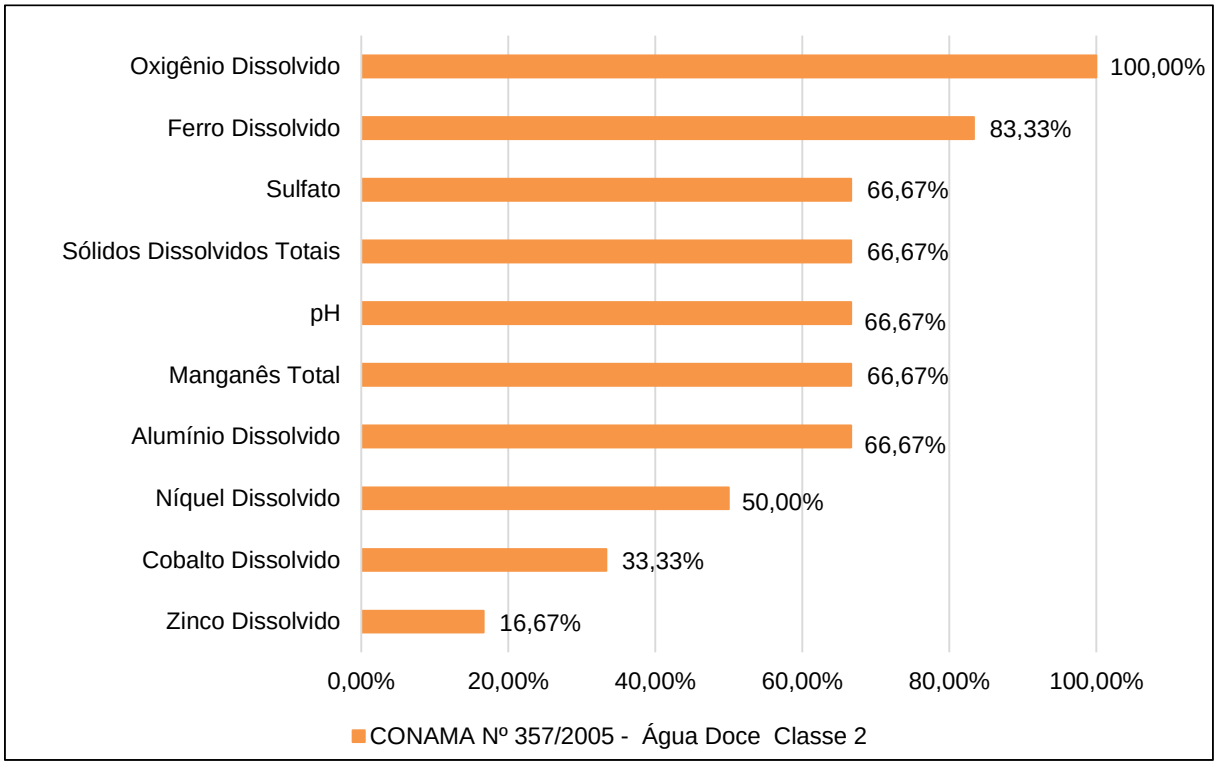


Figura 8.17: Frequência de ocorrência de parâmetros NÃO conformes à CONAMA 357/2005 – Classe 2.

Os parâmetros não conformes foram: Zinco Dissolvido, Cobalto Dissolvido, Níquel Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Manganês Total, pH, Sólidos Dissolvidos Totais, Sulfato, Ferro Dissolvido, Oxigênio Dissolvido. Observa-se também que dos

41 parâmetros com VMP definido, 10 apresentaram acima da legislação adotada, representando 24,39% de não conformidades.

Segue abaixo os pontos coletados (Figura 8.18) superficialmente na região de Degredo/Linhares para as interpretações hidroquímicas.

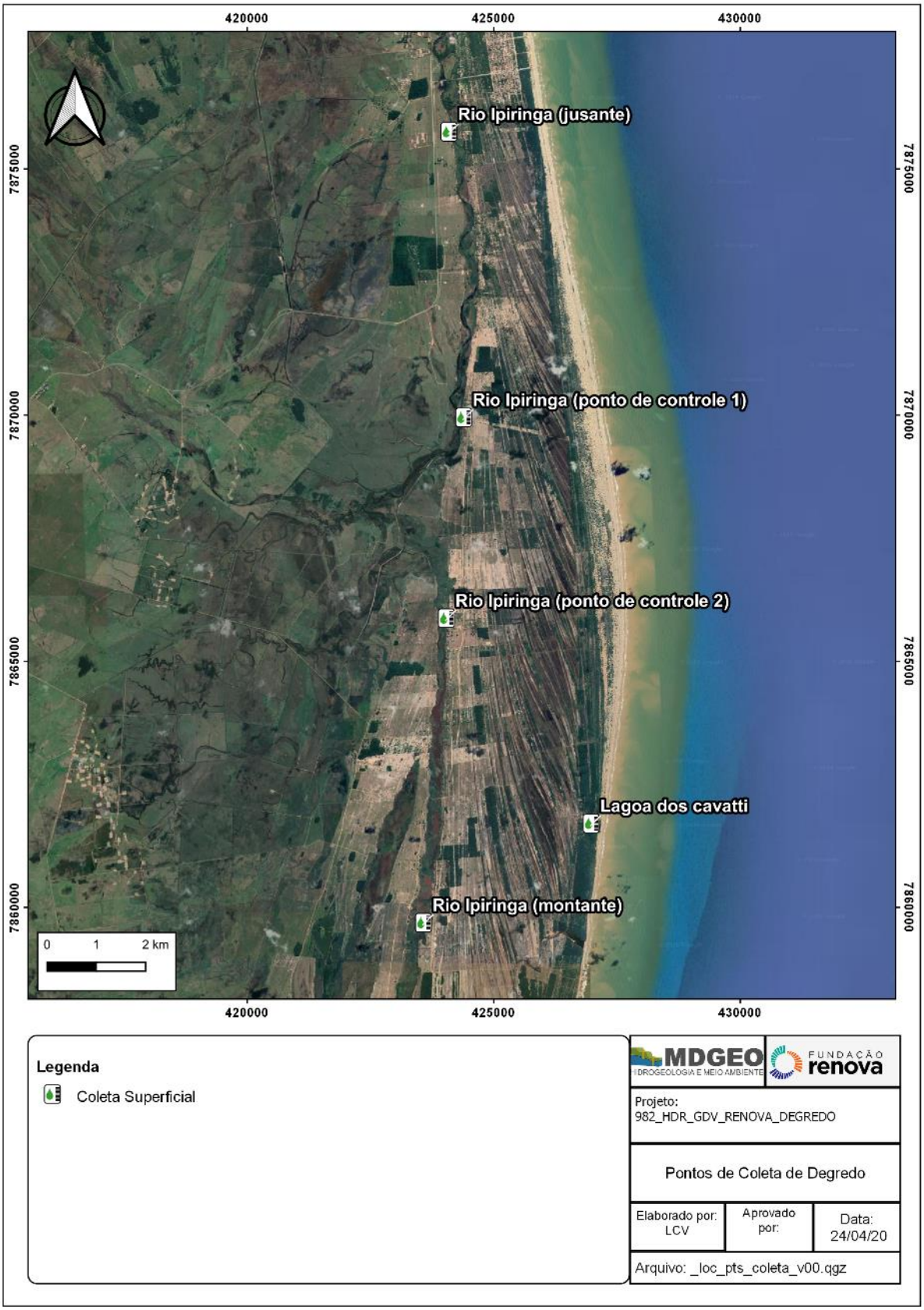


Figura 8.18: Localização dos pontos de coletas superficiais em Degredo.

Para esses parâmetros que apresentaram resultados acima dos padrões e limite de referência adotado, foram confeccionados os gráficos representados na Figura 8.19, Figura 8.20, Figura 8.21, Figura 8.22, Figura 8.23, Figura 8.24 e Figura 8.25, nos quais são mostrados os valores obtidos nas amostras de cada ponto, comparados com os limites da legislação.

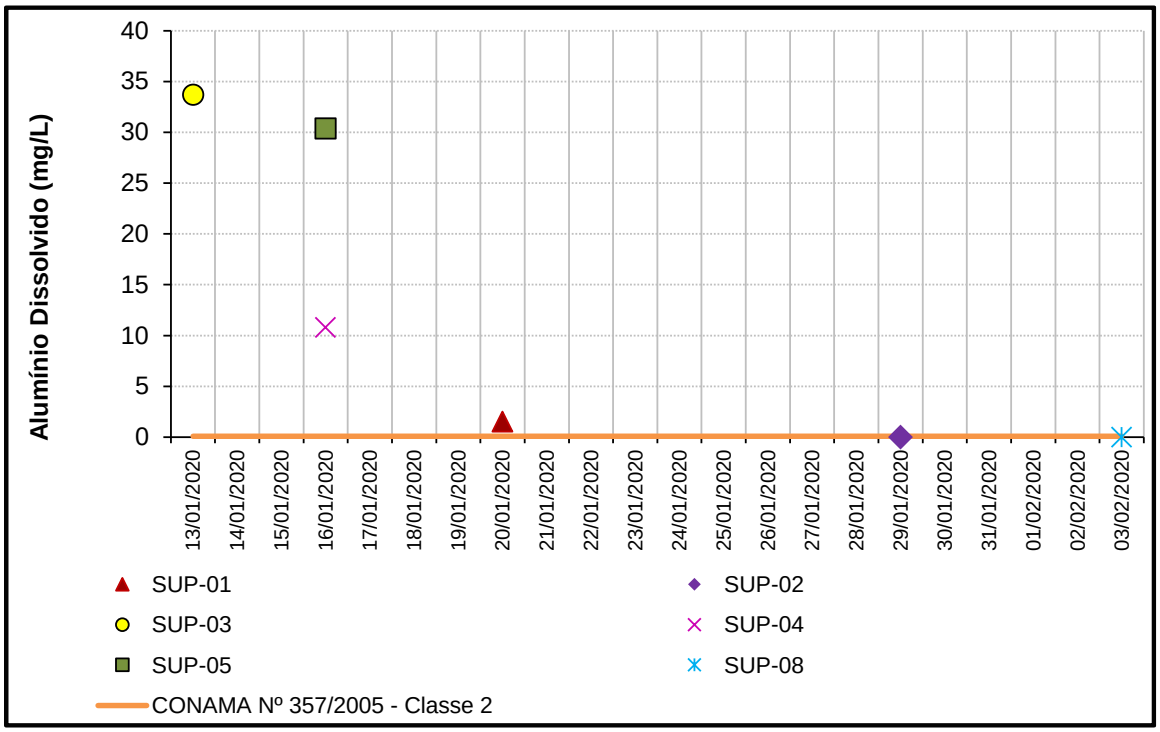


Figura 8.19: Gráfico de Alumínio Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Alumínio Dissolvido foram: SUP-01, SUP-03, SUP-04, SUP-05, os quais estão localizados grande parte na porção norte e com maior concentração de Alumínio da área de estudo exceto o SUP-01, que está localizado na parte sul.

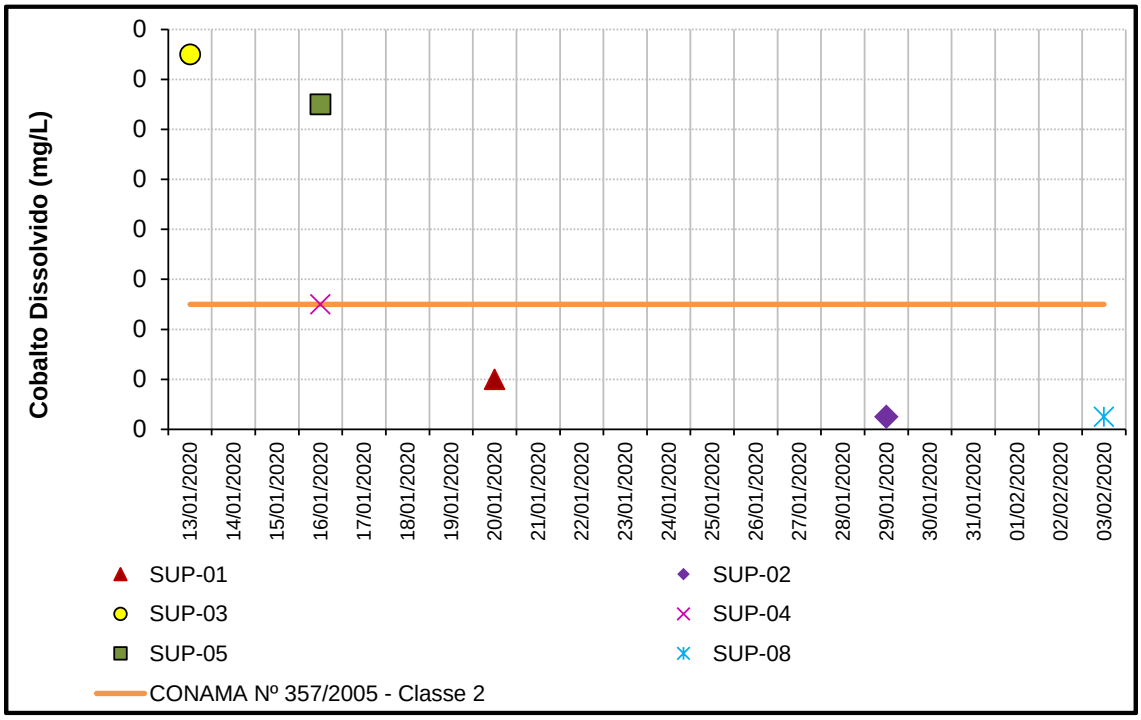


Figura 8.20: Gráfico de Cobalto Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Cobalto Dissolvido foram: SUP-03, SUP-05, os quais localizados na porção norte da área, e possuindo maior concentração, analogamente igual o alumínio. Entretanto, a não conformidade não se deu na água subterrânea, fazendo não ter conectividade.

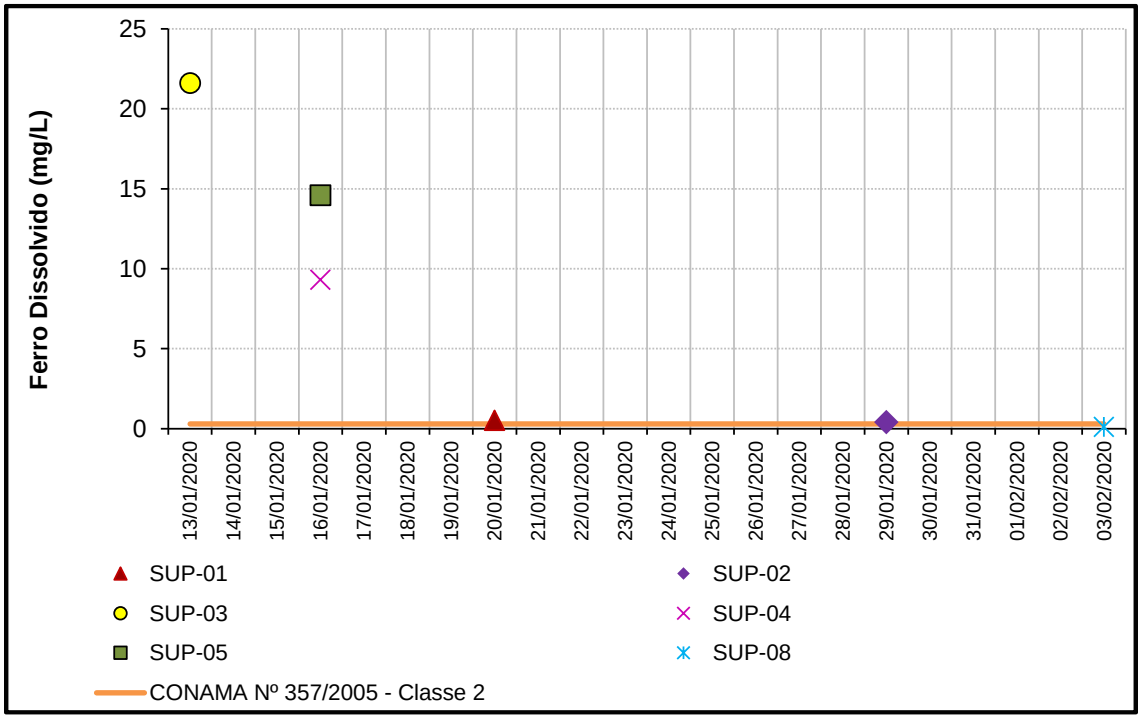


Figura 8.21: Gráfico de Ferro Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Ferro Dissolvido foram: SUP-01, SUP-02, SUP-03, SUP-04 e SUP-05, os quais estão localizados em toda área de estudo. Nota-se que o parâmetro de Ferro Dissolvido é o que está mais desconforme e que apresenta o maior número de ocorrências entre todos os analisados. Mais uma vez, tal fenômeno ocorre devido a geologia, solo da região pela Formação característico de ser ferruginoso e essas características não faz ser semelhante com a água subterrânea.

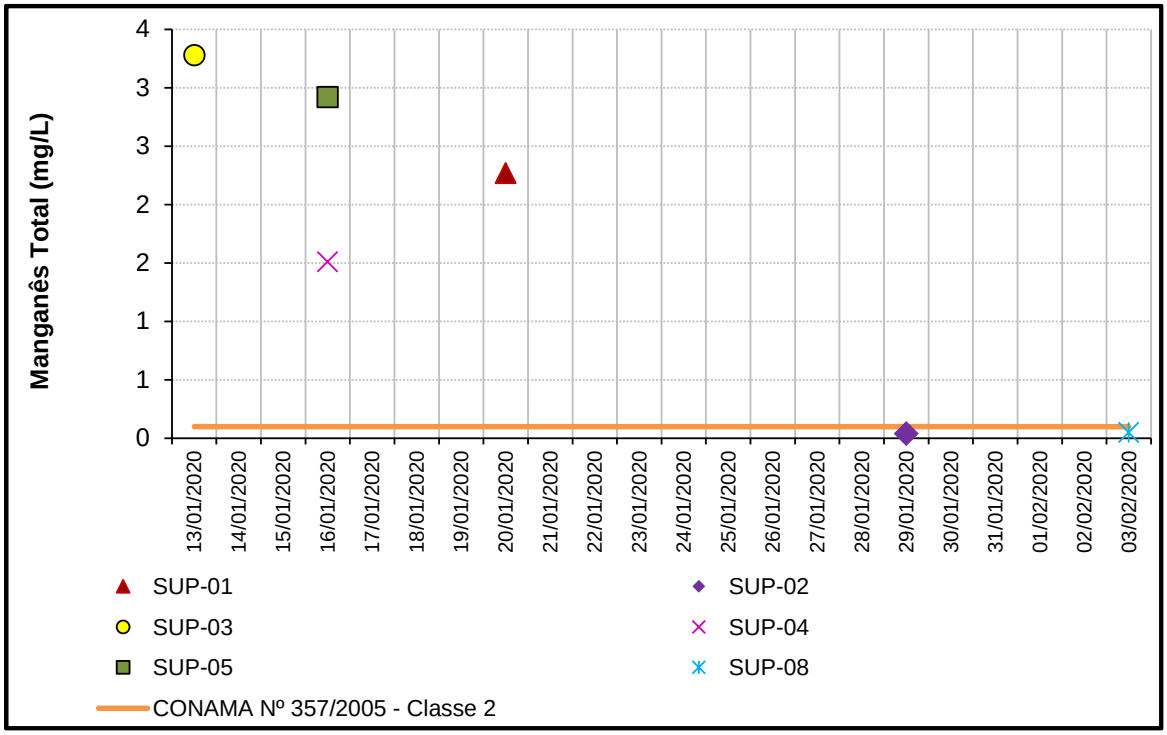


Figura 8.22: Gráfico de Manganês Total (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Manganês Total foram: SUP-01, SUP-03, SUP-04 e SUP-05, os quais estão localizados na porção norte da área de estudo, exceto o SUP-01 que está localizado na parte sul do mapa.

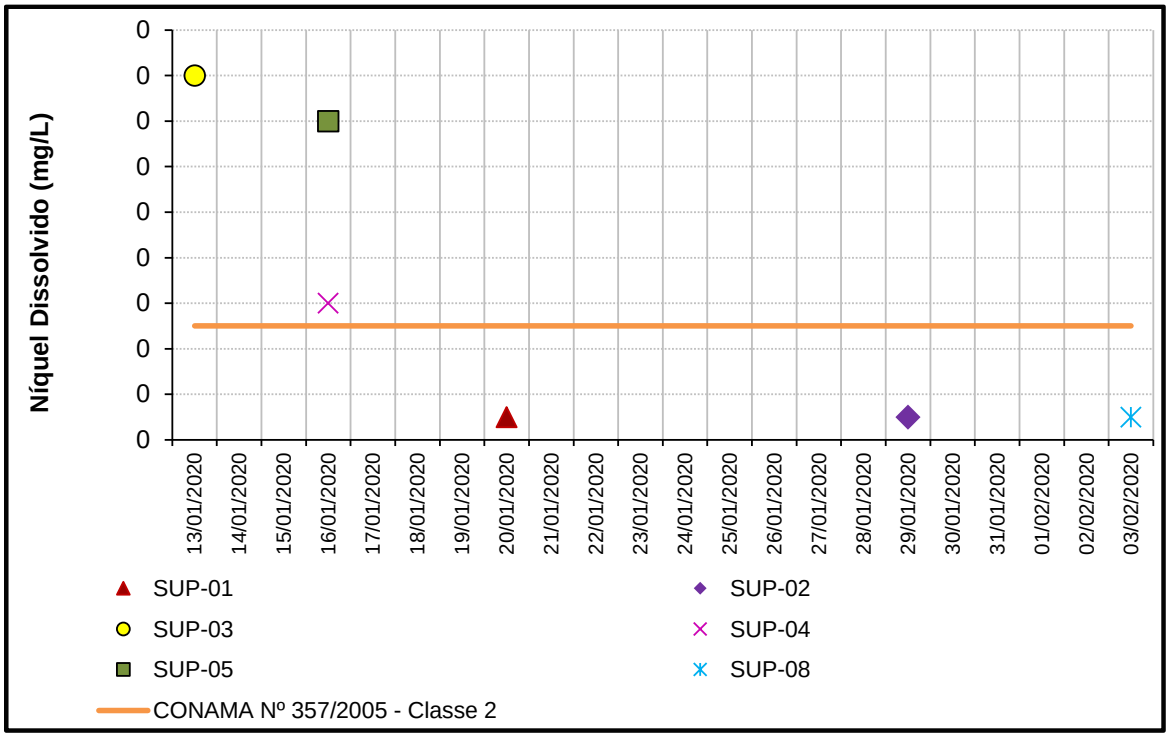


Figura 8.23: Gráfico de Níquel Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Níquel Dissolvido foram: SUP-03, SUP-04 e SUP-05, os quais estão localizados na porção norte da área de coleta, com o fluxo indo para norte.

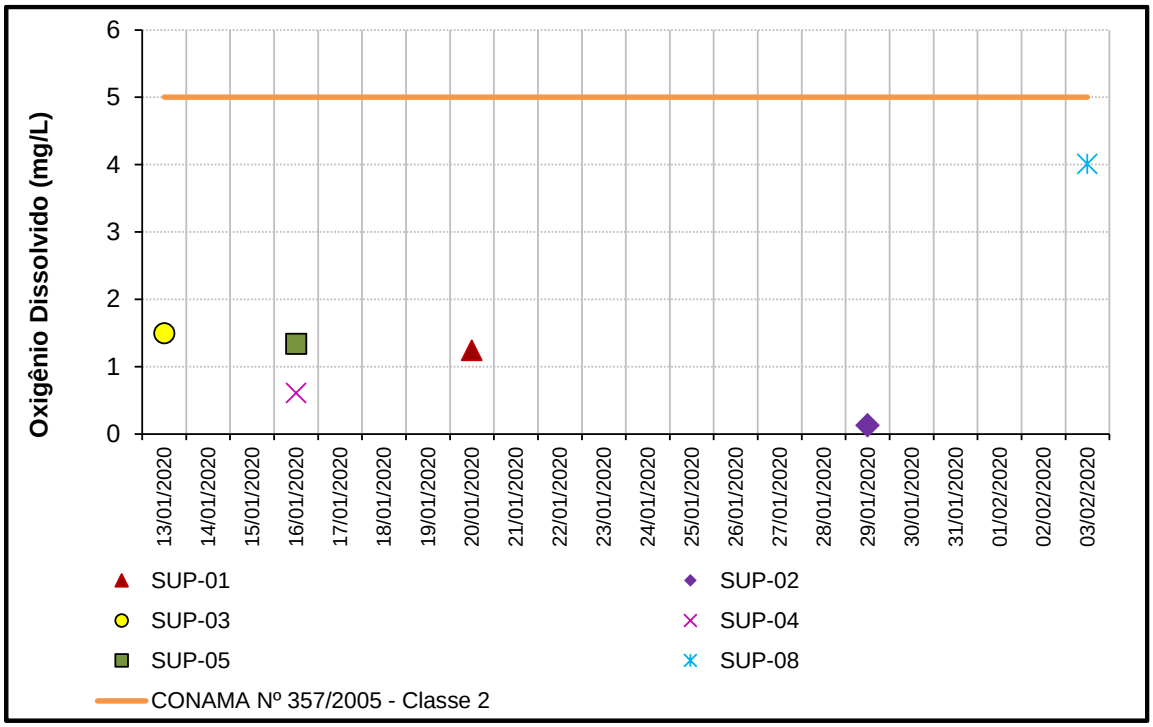


Figura 8.24: Gráfico de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Todos os pontos apresentaram não conformidade em relação à concentração de Oxigênio Dissolvido, sendo que o limite permitido 5,0 mg/L, mas foram todos abaixo de 4,0 mg/L, característico da região de todos os pontos superficiais possuírem OD baixo.

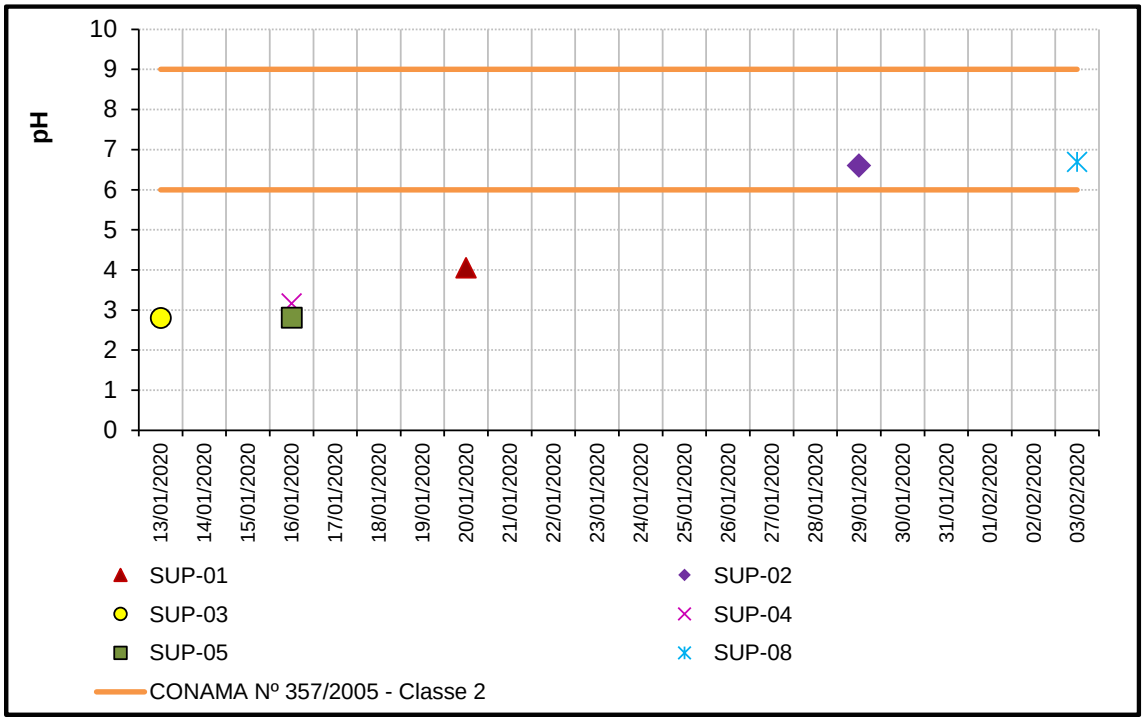


Figura 8.25: Gráfico de pH x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação a classificação de pH permitido foram: SUP-01, SUP-03, SUP-04 e SUP-05, esses pontos ficaram com o pH abaixo de 6,0, os quais estão localizados na porção norte da área, sendo que quanto mais subindo para a região norte menor vai ficando o pH.

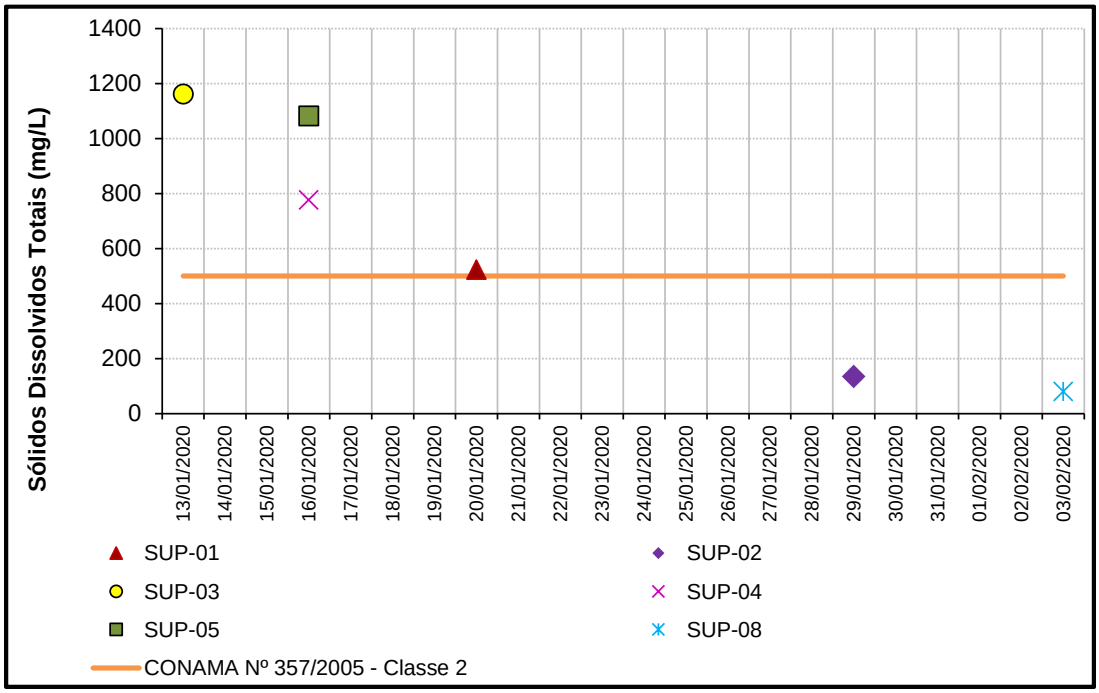


Figura 8.26: Gráfico de Sólidos Dissolvidos (mg/L) x Ponto.

Os pontos que apresentaram não conformidade em relação à concentração de Sólidos Dissolvidos foram: SUP-01, SUP-03, SUP-04 e SUP-05, localizados na área norte do mapa, podendo correlacionar com o oxigênio dissolvido sendo diretamente proporcional os dois parâmetros.

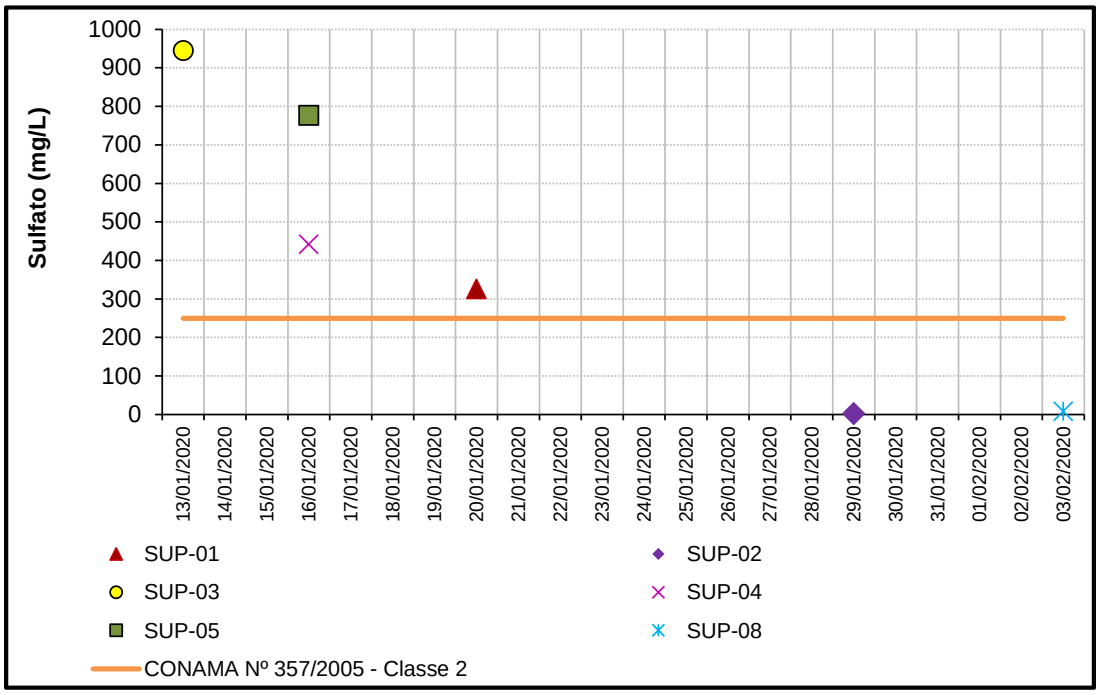


Figura 8.27: Gráfico de Sulfato (mg/L) x Ponto.

Analogamente ao parâmetro anterior, os mesmos pontos estiveram acima do VMP em relação à concentração de Sulfato para o CONAMA 357/2005, sendo eles: SUP-01, SUP-03, SUP-04 e SUP-05, localizados na porção norte da área.

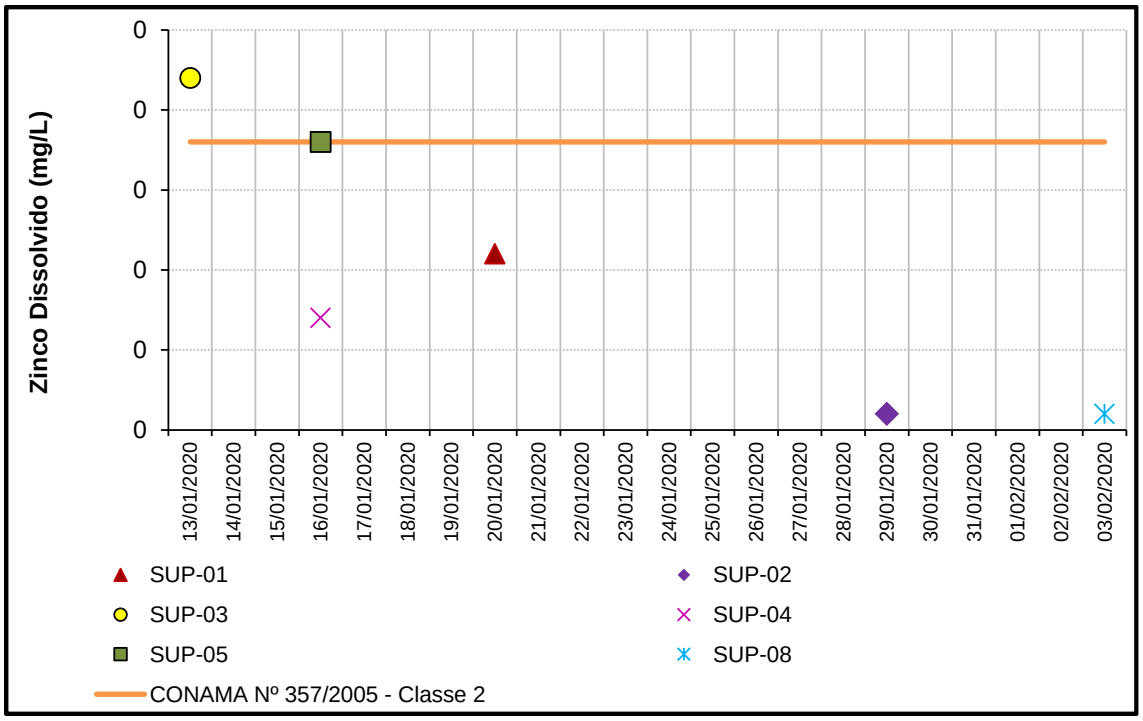


Figura 8.28: Gráfico de Zinco Dissolvido (mg/L) x Ponto.

Somente o ponto SUP-03 esteve acima do valor máximo permitido pela legislação em relação à concentração de Zinco Dissolvido, o qual está localizado na porção norte do mapa.

No caso das águas superficiais, os pontos que apresentaram mais desconformidades em relação à CONAMA 357/2005 foram os pontos SUP-03 e SUP-05 localizados no rio Ipiranga, mais precisamente na porção norte da área, sendo que no dia da coleta o rio estava com uma vegetação muito densa, o que pode ter favorecido para essas alterações dos parâmetros.

8.2.4.1 Diagrama de Piper e Stiff de amostra Superficial

Uma forma de classificar os distintos grupos de água é a partir do Diagrama de *Piper*, separando nos triângulos os campos de domínio dos cátions e ânions e no paralelogramo os principais tipos hidroquímicos. A Figura 8.29 ilustra tal diagrama construído a partir dos resultados para as águas superficiais.

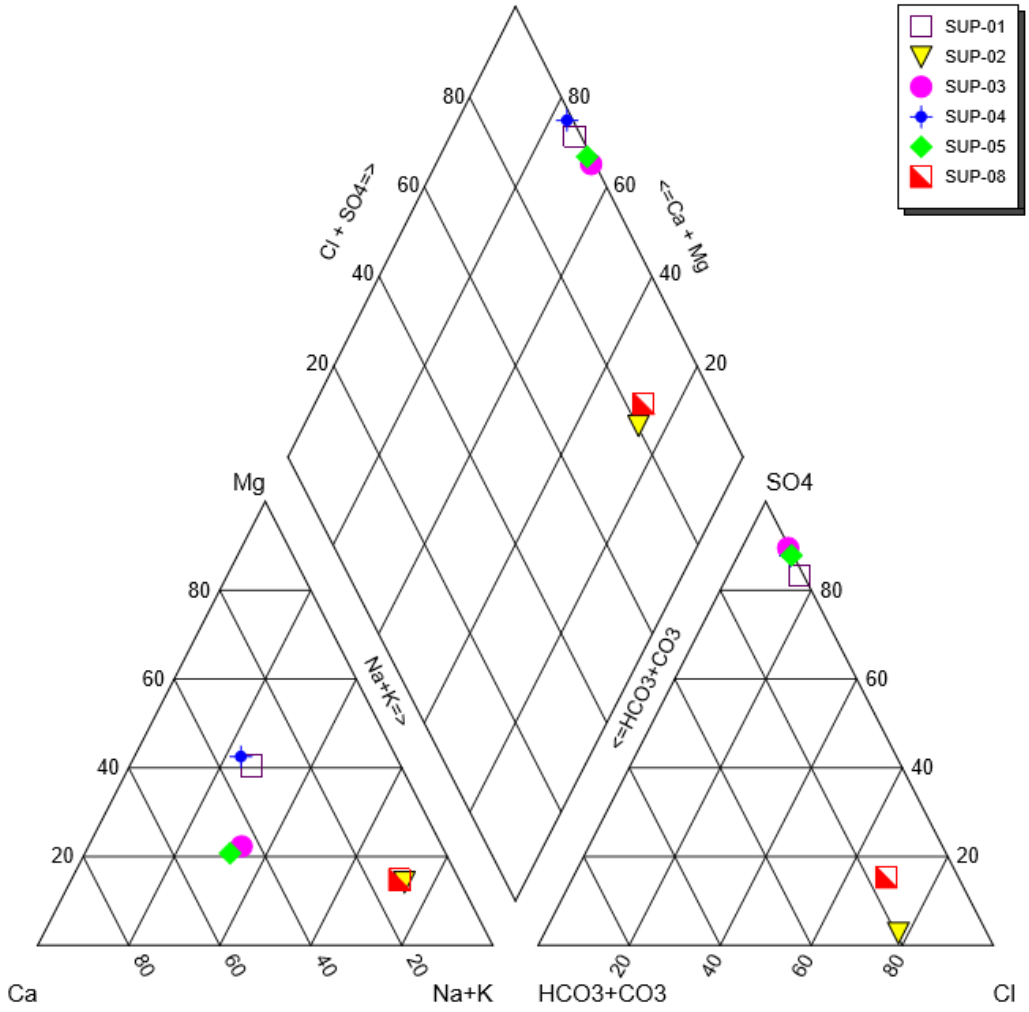


Figura 8.29: Diagrama de Piper para as águas superficiais.

A Tabela 8.12, por sua vez, apresenta a classificação hidroquímica associada para cada ponto das águas superficiais.

Tabela 8.12: Classificação hidroquímica das águas superficiais.

PONTO	CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA
SUP-01	Sulfatada Mista
SUP-02	Cloretada Sódica
SUP-03	Sulfatada Mista
SUP-04	Sulfatada Mista
SUP-05	Sulfatada Mista
SUP-08	Cloretada Sódica

A maioria das amostras foi classificada como sulfatada. No entanto, 2 das 6 amostras analisadas deram resultados diferentes, sendo os pontos SUP-02 e SUP-08 caracterizada como cloretada sódica segundo a tabela e o diagrama de *Piper*.

Sendo possível uma seguinte interpretação, na qual, grande parte foi caracterizada como sulfatada mista sendo que nenhuma amostragem subterrânea obteve essa característica, portanto, não possui ligação entre aquífero e superficial.

Uma outra observação é o SUP-02 e SUP-08, que foram coletadas a menos de 50 metros da praia, que foi caracterizada como cloretada sódica, portanto, não tem ligação com a água subterrânea da comunidade de degredo.

Para uma análise mais espacial da concentração dos principais íons em cada amostra, os Diagramas de *Stiff* são bastantes úteis, pois facilitam na identificação de águas de mesma família, de acordo com as figuras geométricas formadas. Desta forma, o Mapa de *Stiff* da Figura 8.30 ilustra os resultados obtidos para estes pontos.

De maneira geral, os diagramas mais largos representam as amostras mais salinas (mais mineralizadas) e os diagramas mais estreitos representam as amostras menos salinas (menos mineralizadas). Assim, as amostras mais salinas foram a SUP-05 e SUP-03, consideradas sulfatadas mistas e as menos salinas SUP-02 e SUP-08, consideradas cloretadas.

Mas em relação às águas subterrâneas, são totalmente diferentes pois não tem conectividade as salinidades de cada amostragem em comparação as amostras superficiais.

Com relação à concentração de sulfato, nota-se que os maiores valores estão ao norte da área de coleta, na parte norte do rio Ipiranga, já na lagoa dos Cavatti é inferior a região norte.

A concentração elevada de sulfato nas águas superficiais é explicada pelo fato da evaporação em uma região litorânea, na qual, expõe os sulfetos e gera sua oxidação, levando à acidificação das águas como explicado acima.

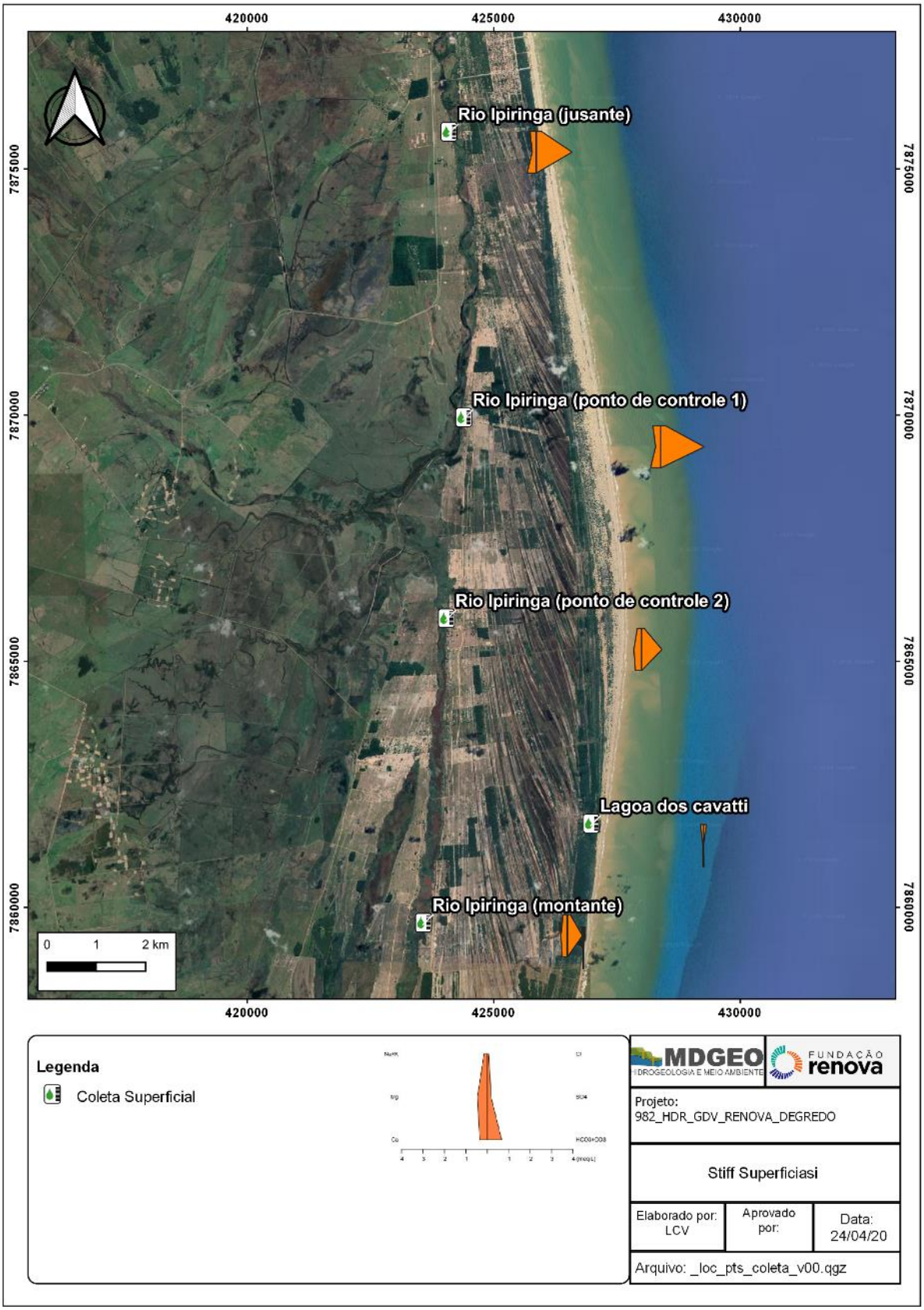


Figura 8.30: Diagrama de *Stiff* das águas superficiais.

8.2.5 Discussão hidroquímica

8.2.5.1 Sulfato

Os resultados da análise hidroquímica realizada em conjunto com o histórico de monitoramento hidroquímico mostram que a contaminação de sulfato está mais concentrada nas águas superficiais do que nas águas subterrâneas.

Pois os sulfatos formam-se geralmente em ambientes evaporíticos, onde águas de alta salinidade são lentamente evaporadas, permitindo a formação de sulfatos e de haloides na interface entre a água e o sedimento.

Como comentado anteriormente, as áreas fontes dessa contaminação de sulfato estariam relacionadas à ocorrência dos minerais sulfetados, que são característicos da própria geologia, sendo uma região litorânea.

Sabe-se que nas águas subterrâneas, os principais locais com anomalia de sulfato é o ponto DEG-142 na porção oeste da área de coleta, sendo considerado um poço profundo.

Já nas águas superficiais, as áreas mais críticas são os pontos SUP-03, SUP-04 e SUP-05 localizado na porção norte do empreendimento.

Com relação a esses altos valores estão associados a coleta dentro do rio Ipiranga monitorado o SUP-01 (326 mg/L), SUP-03 (945 mg/L), SUP-04 (442 mg/L) e SUP-05 (777 mg/L).

A Figura 8.31, a seguir, mostra as concentrações de sulfato da campanha de janeiro/2020, permitindo a comparação entre os diversos pontos de amostragem.

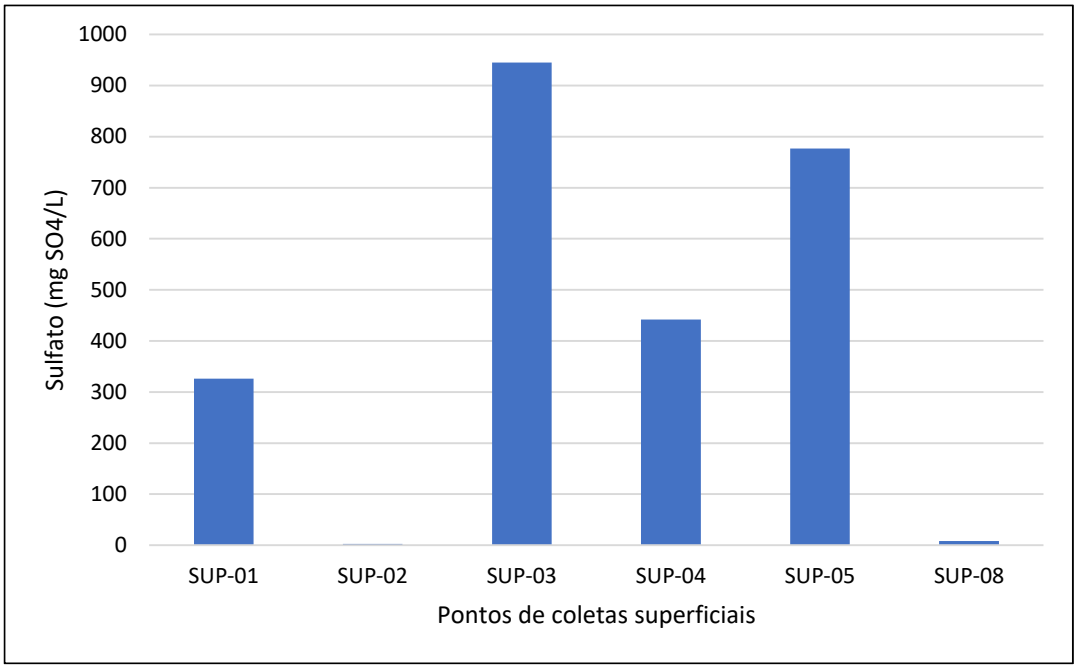


Figura 8.31: Concentrações de sulfato na campanha hidroquímica de janeiro/2020.

A partir dos parâmetros pH e condutividade elétrica aferidos durante a última campanha de coleta, foi possível inferir a relação dos parâmetros (Figura 8.32).

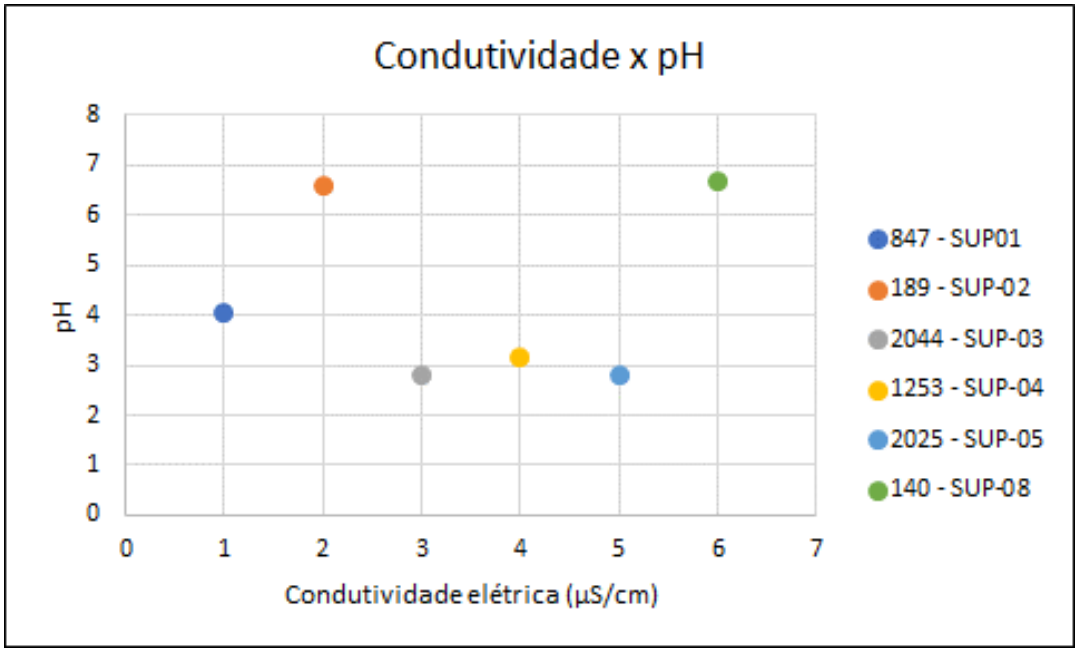


Figura 8.32: Gráfico condutividade elétrica x pH.

Assim, percebe-se que os pontos monitorados (grupo 1) que são o SUP-03, SUP-04 e SUP-05, no geral, possuem o pH variando entre 2,0 e 4,0 e condutividade entre 1200 e 2050 µS/cm. Já o segundo grupo SUP-02 e SUP-08, possuem o maior pH variando entre 6,0 e 7,0 e com a menor condutividade. E o SUP-01 que varia o pH

entre 4,0 e condutividade alta, portanto, quanto maior a condutividade menor será o pH em relação à água superficial. Seguindo o mesmo raciocínio, os pontos subterrâneos possuem um comportamento diferente, variando, não seguindo um padrão diretamente ou inversamente proporcional, pois tem influência de turbidez, sólidos dissolvidos e etc.

Por fim, tem-se uma correlação positiva entre a concentração de sulfato e condutividade elétrica para águas superficiais.

8.2.5.2 Análise de cluster

A fim de identificar as regiões quimicamente mais parecidas em relação às concentrações de sulfato e metais pesados foram feitas análises utilizando diagrama de cluster. Os parâmetros analisados foram os resultados da análise hidroquímica. Para as águas subterrâneas e superficiais foram avaliados, juntamente com o sulfato, os metais de alumínio, bário, chumbo, cromo, ferro, manganês, níquel e cloreto.

Segue abaixo diagrama utilizado pelo método de euclidiana.

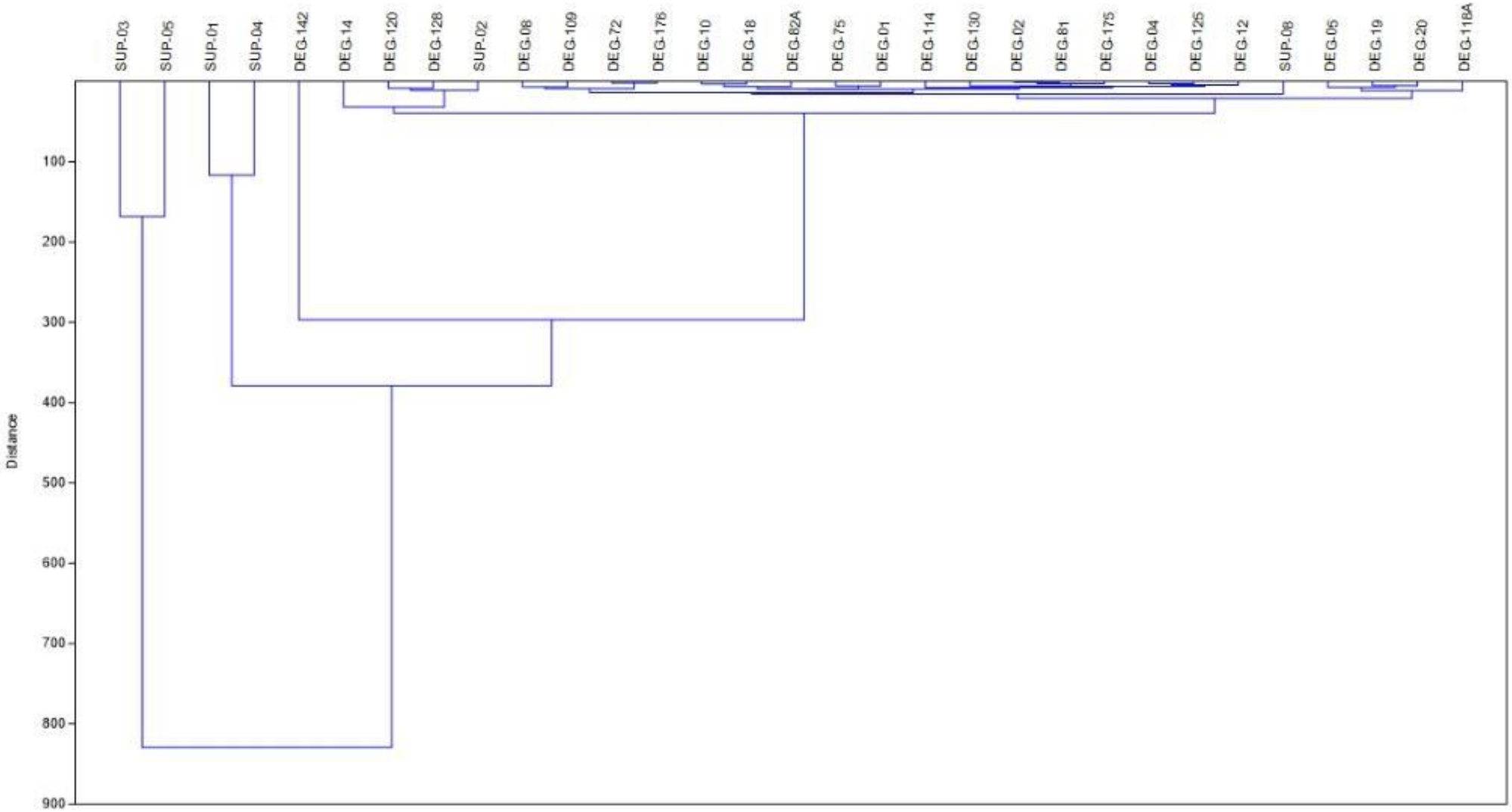


Figura 8.33: Diagrama de Cluster com similaridade medida pela distância euclidiana, coeficiente de correlação de 0,98.

O diagrama de cluster divide os pontos coletados em dois grandes grupos, dos quais o da direita representa aqueles com menor concentração de sulfato que são os subterrâneos.

Já para as águas superficiais foram avaliados juntamente com o sulfato e outros elementos significantes. Analogamente à análise de água subterrânea, os pontos superficiais onde tiveram os maiores valores pertencendo a um só grupo.

Percebe-se que SUP-02 possui similaridade com o DEG-128, que é um poço desativado na fazenda da lagoa dos Cavatti, podendo possuir ligação, pois o poço está na beira do rio, com isso, tendo influencia apenas neste ponto.

Já o DEG-120 foi coletado em um brejo, mas caracterizado como subterrâneo para ver análises correlacionada ao subterrâneo, portanto, é satisfatório as análises, fazendo com que ele seja caracterizado como superficial, batendo com as análises superficiais. Portanto, não possui conexão rio-aquífero nessa região.

Já o DEG-142, possui uma anomalia a parte, pois fica a oeste da área de coleta caracterizado como poço tubular profundo beirando aproximadamente 180 m, podendo ter perfurado a cunha salina e ter esse aspecto igual aos pontos superficiais.

8.3 CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA (^{18}O E ^{2}H)

Nas últimas décadas, a ciência nuclear vem desenvolvendo um conjunto de ferramentas analíticas cujos resultados têm contribuído para um melhor entendimento das águas subterrâneas e suas relações com o ciclo hidrológico, as quais subsidiam o manejo adequado dos recursos hídricos.

São técnicas que empregam traçadores naturais, por meio da análise de isótopos de elementos químicos presentes naturalmente na água, ou mesmo pela adição de traçadores artificiais ao sistema hídrico e que proporcionam a obtenção de diversos parâmetros relacionados à dinâmica dos fluxos de água no meio ambiente. Essas técnicas vêm sendo utilizadas, em conjunto com as técnicas tradicionais não nucleares, na caracterização hidrológica, na qual são particularmente eficientes.

Diante do cenário anteriormente exposto e no ensejo de apropriar subsídios e informações complementares mediante ao emprego de técnicas isotópicas, visando

verificar a conexão, características e semelhanças da água subterrânea com a superficial da comunidade de Degredo, a MDGEO, procedeu a coleta de amostras para determinação do desvio isotópico de ^{2}H ou D (Hidrogênio-2 ou Deutério), ^{18}O (Oxigênio-18).

8.3.1 Método isotópico

8.3.1.1 Isótopos estáveis ^{18}O e ^{2}H

O estudo dos isótopos estáveis naturais ^{2}H e ^{18}O, os quais marcam as distintas partes do ciclo hidrológico como verdadeiras “impressões digitais”, possibilita o conhecimento da história da água (origem e trajetória).

As propriedades que caracterizam os diferentes elementos químicos são determinadas pelo número de prótons que o núcleo atômico contém, sendo que um mesmo elemento químico contém sempre um determinado número de prótons. Entretanto, o número de nêutrons pode ser variável. Os átomos com mesmo número de prótons e diferentes números de nêutrons são denominados isótopos. O hidrogênio, por exemplo, pode apresentar três formas isotópicas distintas, com nomes especiais, sendo: $^{1}H_{1}$ o hidrogênio simplesmente, $^{2}H_{1}$ ou D, o Deutério.

A molécula de água é composta por átomos de hidrogênio e oxigênio. Como dito anteriormente, na natureza existem três isótopos distintos de hidrogênio, mas o $^{3}H_{1}$ ou T não será abordado por não fazer parte do escopo do trabalho.

- $^{1}H_{1}$ ou H: Hidrogênio. Constitui a maioria do hidrogênio natural (99,984%);
- $^{2}H_{1}$ ou D: Deutério. Existe em uma proporção aproximada de 160 ppm no hidrogênio natural e é estável;

O oxigênio por sua vez apresenta vários isótopos estáveis, sendo que não existem isótopos radioativos na natureza. Dentre estes isótopos temos:

- $^{16}O_{8}$ ou O-16, que constitui a maioria do oxigênio natural (99,76%);
- $^{17}O_{8}$ ou O-17, que só existe em ínfimas quantidades (400 ppm);

- $^{18}O_8$ ou O-18, que é o isótopo mais abundante depois do O-16, embora sua concentração seja muito pequena (~2000 ppm).

A partir da combinação destes isótopos (hidrogênio e oxigênio) podemos ter 18 moléculas de água isotopicamente diferentes, mas as combinações mais importantes e frequentes, além da $H_2{}^{16}O$, são $HO^{16}O$ e $H_2{}^{18}O$.

Todas as moléculas de água possíveis, a partir das combinações dos isótopos de hidrogênio e oxigênio, têm propriedades físicas e químicas muito parecidas e pode-se admitir que seus comportamentos mediante os processos naturais sejam quase idênticos. Entretanto, as pequenas diferenças de pressão de vapor, mobilidade iônica, difusividade, peso atômico, entre outros fatores, fazem com que a água natural, segundo sua origem e forma de intervenção no ciclo hidrológico, apresente ligeiras diferenças em sua composição isotópica, que são de grande interesse em hidrogeologia.

Anteriormente, os isótopos da água foram classificados em estáveis e radioativos. A principal utilidade dos isótopos radioativos (T no caso da molécula de água) é o cálculo da “idade” da água (quanto tempo faz que a água infiltrou no aquífero), enquanto que os isótopos estáveis (D e O-18) são utilizados para conhecer as fontes de recarga (origem da água subterrânea) ou os processos responsáveis pela modificação da composição da água desde que ela se infiltrou.

O fluxo de umidade partindo dos oceanos e seu retorno por meio da precipitação e do escoamento superficial e subterrâneo estão, em uma base anual e em escala global, próximos de um equilíbrio dinâmico. Somente mudanças climáticas de grande porte alterarão, de modo considerável o armazenamento de água doce nos reservatórios glaciais, subterrâneos e superficiais.

Dentro do ciclo existente, no entanto, ocorre uma variação significativa e, como somente cerca de 10% da umidade dos oceanos atinge a superfície dos continentes, é correto esperar considerável variação na porção terrestre do ciclo hidrológico. A evaporação dos oceanos, a precipitação, a reevaporação, a acumulação e o derretimento de neve e gelo e o escoamento superficial variam sob diferentes regimes

climáticos. Cada etapa deste ciclo particiona o Oxigêno-18 e o Deutério entre os diferentes reservatórios de água doce.

As moléculas que contém D e ^{18}O são ligeiramente mais pesadas que as moléculas comuns e, devido a isto, seu comportamento ao longo do ciclo hidrológico é levemente diferente, produzindo-se o fracionamento isotópico (desvio isotópico) destes três tipos de moléculas a cada mudança de estado da água (evaporação e condensação) em função da diferença de pressão de vapor entre elas.

Os desvios isotópicos de ^{2}H e de ^{18}O em uma amostra de água dependem de sua história, desde o momento em que saiu do oceano, considerado o padrão de referência para estudos isotópicos, até o momento de sua coleta. Estas diferenças tornam esses isótopos excelentes traçadores naturais, possibilitando o estudo de numerosos problemas hidrológicos, em particular daqueles referentes às águas subterrâneas. O desvio observado em amostras de água é medido por técnicas de espectrometria de massa, onde se leva em consideração razões isotópicas e um padrão de referência.

Os valores δ representam desvios das concentrações dos isótopos estáveis contidos nas amostras de água em relação ao padrão internacional normalmente utilizado, conhecido como Viena - SMOW (*Standard Mean Ocean Water*), preparado pela AIEA, com sede em Viena, na Áustria. Este desvio vem dado pela seguinte expressão:

$$\delta_{AMOSTRA} = \frac{R_{AMOSTRA} - R_{SMOW}}{R_{SMOW}} 10^3 (‰)$$

Onde:

R representa a razão isotópica entre as moléculas pesadas ($D_1H_1{}^{16}O_1$ ou $^{1}H_2{}^{18}O_1$) e as moléculas leves ($^{1}H_2{}^{16}O_1$). Pelo fato de serem esses desvios números muito pequenos, os valores são geralmente multiplicados por mil; daí serem expressos em partes por mil (per mil).

Os isótopos estáveis Deutério e Oxigênio-18, foram determinados por meio do método de espectroscopia de massa de razão isotópica (IRMS), no Laboratório *Beta Analytic,* localizado em Miami (EUA).

8.3.1.2 Tratamento de dados isotópicos

Um exemplo prático de aplicação universal é a construção das chamadas retas ou linhas locais de águas meteóricas (LML). Com efeito, a avaliação estatística de medições isotópicas nas águas de precipitação, por meio de um programa desenvolvido desde os anos 60 do século passado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), mostra que os valores de ^{2}H da precipitação e das águas naturais de origem meteórica apresentam uma correlação linear com os valores de ^{18}O, podendo ser representada por uma reta conhecida como linha mundial de águas meteóricas (LMG), cuja equação é mostrada a seguir:

$$\delta D = 8\,\delta^{18}O + 10$$

A LML é uma reta média obtida a partir de diversas estações meteorológicas espalhadas pelo globo terrestre, utilizada com sucesso como referência em muitos estudos onde não se dispõe de uma reta meteórica local.

O fator 10 se chama excesso de Deutério (d) e é utilizado frequentemente como parâmetro interpretativo para detectar águas que sofreram evaporação prévia (*d* diminui em águas que foram submetidas à evaporação). Os valores obtidos para o excesso de Deutério (d) são calculados por meio da seguinte equação:

$$d = \delta D - 8\,\delta^{18}O$$

Para águas sujeitas à evaporação, a correlação linear ainda se sustenta, mas a inclinação da reta de evaporação normalmente é menor do que a da reta global que é igual a 8. A LML se constitui, portanto, em uma espécie de linha de referência, em relação à qual qualquer ponto (consistindo dos desvios δ dos valores de conteúdos de ^{2}H e de ^{18}O de uma dada amostra) pode ser comparado.

O resultado dessa comparação como, por exemplo, certo desvio da linha de referência, fornece uma “impressão digital” da amostra e pode indicar se ela representa água de superfície (cai na linha de evaporação), água subterrânea oriunda de recarga pela precipitação (cai na linha meteórica local ou global), água subterrânea contendo excedentes de águas de irrigação (cai na linha de evaporação) ou uma mistura de água doce subterrânea com águas provenientes do oceano, de lagos ou de rios (cai em uma linha de mistura).

8.3.1.3 Aplicação dos isótopos estáveis ^{18}O e D na hidrogeologia

Nos estudos hidrológicos e hidrogeológicos, os isótopos ambientais têm sido utilizados como ferramentas para:

- Identificação de diferentes aquíferos;
- Identificação de interação entre aquíferos;
- Identificação de interação entre água superficial e subterrânea;
- Determinação da idade das águas subterrâneas;
- Identificação de área de recarga e do tempo de residência.

8.3.2 CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA

Na campanha de janeiro de 2020 foram coletados, para todos os pontos, amostras de isótopos estáveis ^{2}H (Deutério), ^{18}O (Oxigênio-18).

Os isótopos deutério e oxigênio-18, foram determinados por meio do método de espectroscopia de massa de razão isotópica (IRMS), no Laboratório Beta Analytic, localizado em Miami.

A interpretação dos resultados dos isótopos estáveis segue abaixo.

8.3.3 Assinatura de isótopos estáveis (18o e 2h)

Os valores dos desvios isotópicos de ^{18}O e D das amostras de água subterrânea e superficial analisados pela *Beta Analytic* são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 8.13: Resultados analíticos de ^{18}O e D para águas coletadas na comunidade de Degredo.

Amostra	Tipo	$\delta^{18}O$‰	DPR	δD‰	DPR
DEG-01	Subterrânea	-3,19	0,03	-15,48	0,29
DEG-02	Subterrânea	-2,6	0	-8,9	0,09
DEG-04	Subterrânea	-2,36	0,09	-7,28	0,82
DEG-05	Subterrânea	-2,91	0,02	-11,7	0,1
DEG-08	Subterrânea	-2,61	0,01	-9,96	0,24
DEG-10	Subterrânea	-2,68	0,01	-9,42	0,31
DEG-12	Subterrânea	-2,52	0,02	-8,26	0,19
DEG-14	Subterrânea	-2,36	0,01	-7,31	0,23
DEG-18	Subterrânea	-2,68	0,02	-10,5	0,14
DEG-19	Subterrânea	-3,1	0,02	-13,01	0,2
DEG-20	Subterrânea	-2,69	0,03	-10,08	0,05
DEG-72	Subterrânea	-2,82	0,03	-9,56	0,27
DEG-75	Subterrânea	-3,12	0,01	-13,53	0,12
DEG-81	Subterrânea	-2,55	0,09	-8,92	0,73
DEG-82A	Subterrânea	-2,68	0,01	-10,5	0,33
DEG-109	Subterrânea	-2,47	0,02	-9,27	0,07
DEG-114	Subterrânea	-1,99	0,04	-5,86	0,35
DEG-118A	Subterrânea	-2,42	0,04	-10,01	0,1
DEG-120	Subterrânea	-0,18	0,01	-0,11	0,09
DEG-125	Subterrânea	-3,17	0,02	-13,47	0,24
DEG-128	Subterrânea	-2,93	0,01	-11,3	0,04
DEG-130	Subterrânea	-2,25	0,02	-5,94	0,18
DEG-142	Subterrânea	-4,07	0,05	-21,63	0,4
DEG-173	Subterrânea	-2,63	0,03	-10,32	0,17
DEG-174	Subterrânea	-1,92	0,02	-4,98	0,12
DEG-175	Subterrânea	-4,39	0,01	-23,47	0,12
DEG-176	Subterrânea	-2,58	0,02	-7,94	0,13
SUP-01	Superficial	-0,07	0,05	3,3	0,37
SUP-02	Superficial	-1,52	0,04	-5,04	0,24
SUP-03	Superficial	0,31	0,01	4,18	0,06
SUP-04	Superficial	-0,14	0,01	2,92	0,11
SUP-05	Superficial	0,29	0,06	3,66	0,51
SUP-07	Superficial	-1,51	0,01	-5,16	0,1
SUP-08	Superficial	-1,14	0,02	-3,6	0,18

Desvio padrão assegurado pelo fabricante: 1 δ ≤ 0,08 ‰, 2 δ ≤ 3,00 ‰
DPR: Desvio padrão relativo.
Os resultados são expressos em δ 0/00 (delta por mil) referido ao padrão VSMOW

Como já mencionado, uma análise dos processos ambientais que governam a água deve ser feita através de uma comparação das linhas meteóricas globais e

locais. A linha meteórica global (LMG), convencionada por Craig, 1961 é expressa na equação δD= 8(δ18O) + 10, e mostra como é o comportamento médio das concentrações dos isótopos nas águas de chuva em diversas partes do mundo. A utilização da LMG é usual para avaliar o regime climático governante de uma região perante a situação média mundial.

Já a linha meteórica local (LML) é utilizada para avaliações mais localizadas, como por exemplo, de uma cidade ou empreendimento perante uma bacia hidrográfica. Usou-se neste trabalho a linha meteórica da Bacia Hidrográfica do rio Itapemirim, localizada na região sul do estado do Espírito Santo (ES). Essa equação foi escolhida, pois está contida em um contexto meteorológico semelhante e grau de continentalidade similar (distância da linha de costa, isto é, do litoral).

A linha meteórica global e local, e desvios isotópicos de cada ponto estão expressas na Figura 8.34.

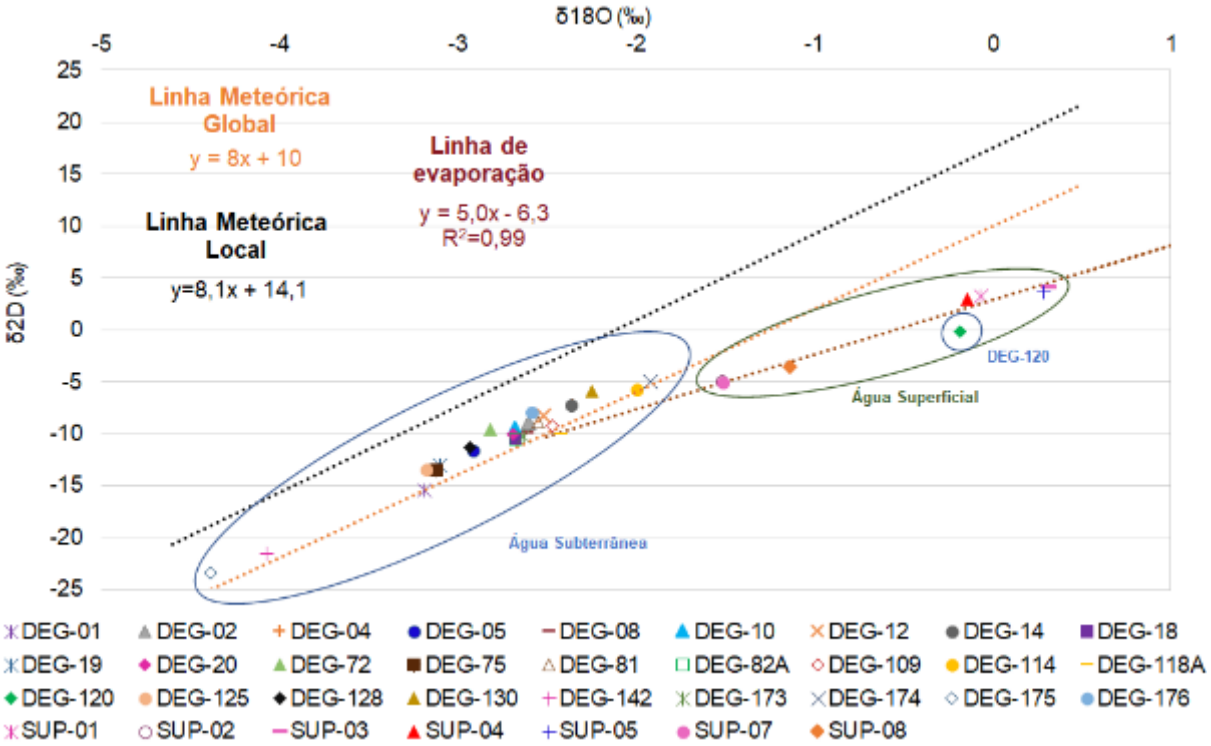


Figura 8.34: Linha meteórica global e local (LMG e LML), e dados isotópicos.

Uma análise inicial dos dados isotópicos deve ser feita levanto em consideração que, quanto mais negativos, maior é a perda de isótopos pesados, ou seja, há um

empobrecimento em ^{18}O e D na água. Enquanto, quando os dados são mais positivos, há um enriquecimento em isótopos pesados, remetendo à uma condição de maior evaporação da água.

Portanto, observa-se que todos os instrumentos subterrâneos tiveram perda de isótopos pesados, por ser água de aquífero, já as amostragens superficiais obtiveram-se valores mais positivos, podendo inferir que sofreram mais evaporação.

Exceto o DEG-120, que foi coletado como subterrâneo para observar os resultados e comparar, sendo como relatado acima, ela foi coletada em brejo, próximo à linha de praia sendo caracterizado subterrâneo, mas ela é uma superficial, portanto, os resultados são compatíveis e as características são semelhantes do DEG-120 com as superficiais, pois o mesmo foi coletado no brejo.

Portanto, a uma clara separação entre as duas, só o DEG-120 que teve o comportamento de água superficial.

A concentração de isótopos pesados é maior nos pontos superficiais, como esperado e estão localizados na reta de evaporação, por estar exposta à atmosfera, a radiação solar e elevadas taxas de evaporação, faz com que essas águas remanescentes sejam mais enriquecidas em isótopos pesados (as fases mais leves são as primeiras a serem evaporadas).

Os pontos subterrâneos estão mais próximos a linha meteórica global, talvez a linha meteórica local utilizada não esteja bem representativa, mas não há dados melhores para a região.

Há dois pontos subterrâneos que se distanciam um pouco dos demais que são o DEG-142 e DEG-175, são poços profundos com mais de 150 m, que um está localizado na porção oeste do mapa e o DEG-175 é a fábrica de biscoito, sendo assim, por ser poços profundos tem mais probabilidade de chegar a cunha salina e possuir esses valores mais negativo de oxigênio-18 e deutério.

Como grande parte dos instrumentos são rasos e apenas esses dois são os mais profundos, pode-se inferir ser água de outro aquífero da Formação Rio Doce.

Sendo corroborado pelo fato de estarem na mesma linha de evaporação, a qual apresentou alto coeficiente de determinação (R^2).

Outra abordagem que ajuda na verificação dos processos hidrogeológicos é a análise do excesso de deutério (*d*) (Tabela 8.14). Quanto maior o valor de *d*, maior é a semelhança da assinatura da água de chuva local (ou seja, mais rápida é a infiltração), em contrapartida, quanto menor é este parâmetro, maior é a exposição da água a processos evaporativos e consequentemente mais lenta é a recarga do aquífero. A linha meteórica global, possui coeficiente linear da reta de 10, esse valor corresponde ao excesso de deutério médio da água das chuvas globais.

Sendo assim, em valores superiores a 10, a tendência é que mais similar à água da chuva seja a água de um aquífero, e quanto menor, maior é a taxa de evaporação da mesma.

Tabela 8.14: Excesso de Deutério dos pontos do empreendimento.

Amostra	Tipo	d
DEG-01	Subterrânea	10,04
DEG-02	Subterrânea	11,9
DEG-04	Subterrânea	11,6
DEG-05	Subterrânea	11,58
DEG-08	Subterrânea	10,92
DEG-10	Subterrânea	12,02
DEG-12	Subterrânea	11,9
DEG-14	Subterrânea	11,57
DEG-18	Subterrânea	10,94
DEG-19	Subterrânea	11,79
DEG-20	Subterrânea	11,44
DEG-72	Subterrânea	13
DEG-75	Subterrânea	11,43
DEG-81	Subterrânea	11,48
DEG-82A	Subterrânea	10,94
DEG-109	Subterrânea	10,49
DEG-114	Subterrânea	10,06
DEG-118A	Subterrânea	9,35
DEG-120	Subterrânea	1,33
DEG-125	Subterrânea	11,89
DEG-128	Subterrânea	12,14
DEG-130	Subterrânea	12,06

Amostra	Tipo	d
DEG-142	Subterrânea	10,93
DEG-173	Subterrânea	10,72
DEG-174	Subterrânea	10,38
DEG-175	Subterrânea	11,65
DEG-176	Subterrânea	12,7
SUP-01	Superficial	3,86
SUP-02	Superficial	7,12
SUP-03	Superficial	1,7
SUP-04	Superficial	4,04
SUP-05	Superficial	1,34
SUP-07	Superficial	6,92
SUP-08	Superficial	5,52

Observando a tabela acima, é possível verificar que apenas os pontos subterrâneos possuem elevado excesso de deutério, indicando recarga rápida do aquífero e remete similaridade com a água da chuva, exceto o DEG-120, que foi coletado de forma subterrânea, mas na realidade foi coletada no brejo de maneira superficial.

E os demais apresentam baixos valores de excesso de deutério, que são as amostragens superficiais sendo o menor deles, o ponto SUP-05 E SUP-03, são característicos de água superficial.

9 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

9.1 CONCEITOS

A seguir será apresentada uma descrição conceitual sobre tipos de aquíferos e como as rochas descritas para a região de estudo se comportam quanto ao seu potencial para o armazenamento e a circulação da água subterrânea.

Aquífero

Um aquífero é toda formação geológica que permite a circulação de água por seus poros e fraturas, permitindo a explotação desta em quantidades economicamente viáveis. Esse conceito está relacionado à demanda de água local, sendo que um aquífero considerado pobre em uma região pode ser considerado como um aquífero de boa qualidade em outra.

A água contida em uma formação geológica qualquer pode ocupar tanto os vazios intergranulares quanto espaços vazios relacionados com falhas, fraturas e estruturas de dissolução/carstificação.

A seguir são apresentadas as classificações de aquíferos em relação ao tipo de porosidade e em relação ao confinamento:

Classificação em relação à porosidade: entende-se por porosidade granular ou primária os vazios formados entre os grãos da rocha, e por porosidade secundária ou fissural, aquela formada por descontinuidades da rocha, que possibilitam o armazenamento e a circulação de água subterrânea. Assim sendo, empregam-se as denominações de aquíferos com granular poroso (ou primária) e porosidade fissural (ou secundária). Existem também os aquíferos cársticos, normalmente caracterizados por redes de condutos subterrâneos formados pela dissolução de rochas, principalmente carbonáticas, e que também apresentam porosidade secundária.

Classificação em relação ao confinamento: aquíferos livres são aqueles no qual há uma superfície livre de água (em contato direto com o ar), ou seja, sob pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a água contida em seu interior está submetida a certa pressão, superior a atmosférica, e ocupa a totalidade dos poros e vazios da

formação, saturando-a totalmente. Uma variação dos aquíferos confinados são os aquíferos denominados semi-confinados, no qual a camada superior ou inferior que os confine não seja totalmente impermeável, mas semipermeável (vide definições adiante). Ou seja, um material que permita a circulação vertical da água, muito lenta, que alimente um aquífero a partir de outro situado acima ou abaixo.

9.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Em termos hidrogeológicos, na área de estudo foi possível caracterizar um único sistema aquífero, denominado Sistema Aquífero Quaternário (SAQ), que é constituído pelos sedimentos flúvio-marinhos e aluviões quaternários, que pertencem geologicamente a unidade conhecida aos Depósitos Quaternários

De acordo com a classificação em relação porosidade o SAQ está compreendido dentre os aquíferos granulares, ou seja, com porosidade primária. Enquanto na classificação em relação ao confinamento o mesmo se encaixa nos aquíferos livres, devido a água presente no SAQ não está sofrendo pressão sem ser a atmosférica, ou seja, tem superfície livre de água em contato com ar.

Como dito anteriormente o SAQ apresenta porosidade primária, a condutividade hidráulica dos aquíferos com essa característica é muito alta e consequentemente o armazenamento é elevado. A região de degredo apresenta topografia essencialmente plana, fator que assim como a porosidade contribui para que o SAQ apresente elevada capacidade de armazenamento de água, pois em locais planos a água de chuva tende a infiltrar praticamente toda no solo e recarregar o aquífero.

No período chuvoso como é de se esperar que em todos os sistemas aquíferos o nível d’água tende a ser mais elevado em relação ao período seco, devido a única fonte de recarga do sistema ao que tudo indica ser a água de chuva, o rio Ipiranga aparentemente não fornece água para aquífero.

No período chuvoso devido as chuvas, a geologia e a topografia do terreno ocorrem entrada de muita água no SAQ, enquanto no período seco essa entrada de água não existe. A descarga nos dois períodos aparentemente é a mesma (Rio Ipiranga e poços) e no período seco não existi a fonte de recarga que existe no período

chuvoso (água da chuva), logo a quantidade de água armazenada no aquífero no período seco tende a ser menor, e consequentemente o nível d'água na região de Degredo também. Então para se ter a real noção da variação do nível d'água e do comportamento do Rio Ipiranga (influente ou efluente) é necessário o acompanhamento do nível d'água dos poços, do rio Ipiranga e do mar durante o ano hidrológico.

9.3 FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Devido a topografia da região ter sido obtida por meio de tratamento de imagens de satélite e não por meio de levantamento topográfico detalhado, e a variação do nível d'água existente entre os poços ser mínima, a dinâmica de fluxo subterrânea interpretada até o momento pode não refletir a realidade. Logo o melhor a se fazer é aguardar por informações topográficas mais confiáveis e assim pode-se fazer uma interpretação mais confiável para a dinâmica de fluxo subterrânea da área de estudo, como ainda não foi possível conseguir essas informações até o momento, foi feito uma análise de acordo com os dados disponíveis

A seguir será apresentado o mapa potenciométrico preliminar da área de estudo (Figura 9.1) que levou em consideração a topografia conseguida através do tratamento de imagens raster da região. Devido ao elevado número de pontos cadastrados em algumas áreas e nenhum ponto cadastrado em outras é difícil prever corretamente a dinâmica de fluxo da área delimitada para o estudo, logo a maioria das curvas equipotenciais é inferida.

Para a confecção do mapa potenciométrico (Figura 9.1) se levou em consideração apenas alguns pontos representativos nos locais com muitos pontos próximos, ou seja, considerou-se apenas alguns níveis d'água dentre o total levantado na área.

As cargas hidráulicas, definidas pelas cotas das linhas equipotenciais do mapa potenciométrico variam de -1,0 a -7,0 metros, como a geologia da área estudo é uma só (depósitos quaternários) e o terreno é muito plano, as curvas equipotenciais apresentam espaçamento bastante uniforme, tirando o contorno noroeste da área de estudo que apresentou uma diminuição considerável desse espaçamento (devido à

falta de informação na porção leste-noroeste da área de estudo). De modo geral as linhas de fluxo indicam que a direção da água subterrânea vai da porção sudoeste para nordeste. No entanto na porção mais a leste da área as linhas indicam fluxo de sul para norte (com algumas variações para nordeste e noroeste).

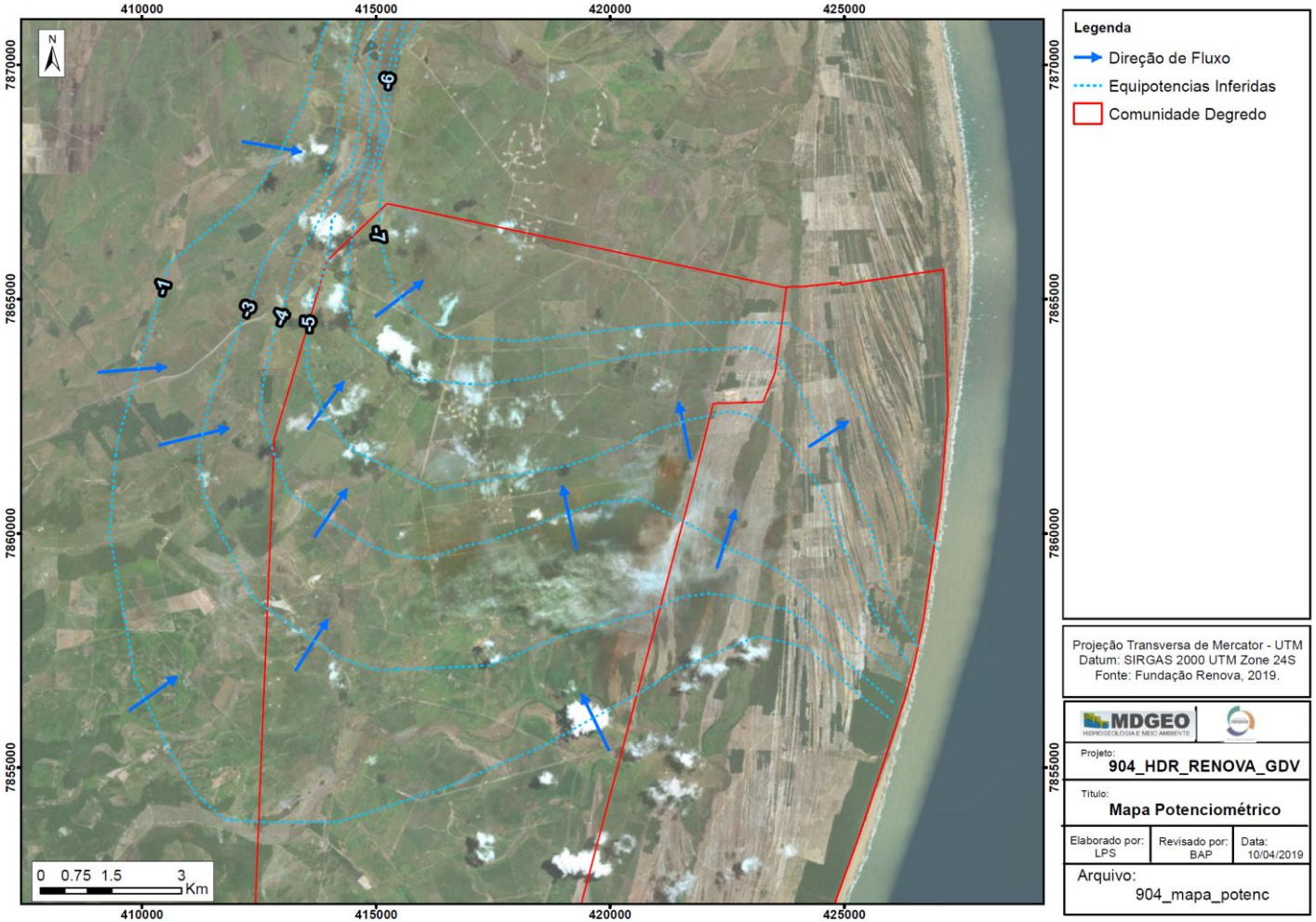


Figura 9.1: Mapa potenciométrico preliminar da área de estudo.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o trabalho de campo realizado entre 08 de julho (início do cadastramento) e dia 09 de agosto (final do cadastramento), durante este período foram visitadas 170 propriedades e cadastrados 191 pontos, sendo:

- 08 pontos d'água (Lagos, reservatórios e Rio Ipiranga);
- 04 poços profundos;
- 179 poços rasos.

Os poços rasos cadastrados no geral apresentam profundidades inferiores a 12,0 metros e os poços profundos tem mais de 100 metros de profundidade, os diâmetros mais utilizados nos poços rasos são os de 150, 200 e 100 mm, enquanto nos profundos os diâmetros mais comuns são de 150 e 100 mm. De modo geral as profundidades do nível d'água são baixas, nos poços rasos varia de 0,28 m até 6,24 metros e nos profundos de 2,11 m a 4,03 metros.

Os poços rasos apresentaram em sua maioria condutividade elétrica baixa, normalmente abaixo de 200,0 µcm/S, mas alguns poços tem condutividade bem mais elevada, podendo chegar até 594,0 µcm/S, enquanto nos poços profundos a condutividade da maioria dos poços varia de 200 a 500 µcm/S, no entanto em 1 poço ele passa de 1.000 µcm/S, no qual, junto com as informações repassadas pelos usuários da água desses poços que a água é salobra, indicam que esses poços estão sendo contaminados por cunha salina.

Em relação aos valores de Eh tanto os poços rasos quanto os profundos apresentam valores bem distribuídos, o que não permite a definição de qual o tipo de ambiente (oxidante ou redutor) as águas da região estão inseridas (oxidante ou redutor). No entanto os pontos d'água superficiais apresentaram valores característicos de ambiente oxidante.

A dinâmica de fluxo da água subterrânea indica que a direção de fluxo geral da área é de sudeste para noroeste, com a porção mais a leste da área apresentando direção preferencial de sul para norte, as cargas hidráulicas da região variam de -1,0

a -7,0 metros, com espaçamento uniforme entre as linhas equipotenciais, devido a existência na região de apenas um único sistema aquífero (SAQ), este classificado como sistema aquífero granular em relação a porosidade e sistema aquífero livre em relação ao confinamento.

Quanto a hidroquímica, os diagramas de Piper e Stiff não demonstraram uma similaridade entre às águas subterrâneas e superficiais, pois umas amostras foram mais sulfatadas que outras. O dendograma, elaborado utilizando o método euclidiano, reforçou a não semelhança entre as amostras subterrâneas com a superficiais. Vale destacar, que os pontos mais divergentes em relação as similaridades foi o DEG-120 e DEG-142.

Com o resultado da análise de concentração de oxigênio 18 e deutério foi possível verificar que a água superficial se diferencia das águas subterrâneas, confirmando o exposto no parágrafo anterior. Os dados de isótopos estáveis também sugerem a não existência de conectividade entre rio-aquífero localizado na comunidade de Degredo.

De acordo com as informações interpretadas a partir da potenciometria e da hidroquímica, é pouco provável que a afirmação da comunidade sobre a “Lama da Samarco” ter subido o Rio Ipiranga até chegar na comunidade e que então contaminou o aquífero, seja correta. O sentido de fluxo do mapa potenciométrico e do Rio Ipiranga são contrários ao apontado por eles.

Durante o cadastramento dos poços foi feita uma série de perguntas aos moradores das residências, durante este questionário as pessoas passavam informações importantes sobre a região, por exemplo algumas pessoas comentaram que a água da região nunca foi boa, sempre apresentou uma espécie de ferrugem, mas que nos últimos tempos ele tem piorado, apresentando uma espécie de capa de “óleo” na água do poço, o que também foi observado em campo. A grande parte das pessoas reclamou que está tendo coceira quando toma banho e que isso começou a pouco tempo, cerca de 6 meses antes do cadastramento.

Algumas pessoas mais velhas comentaram que a região sofreu com alguns eventos de inundação devido a subida do Rio Ipiranga, sendo que o ultimo aconteceu

em 2013, no qual teve que ser usado até barco para se conseguir chegar a algumas partes da região. Em geral a maioria das pessoas ao serem perguntadas quando a água começou a piorar citam o desastre da Samarco, mas poucas citam a data, entretanto algumas pessoas disseram que a água começou a piora depois da inundação de 2013.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. (2010). *Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste*. Fonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx

ACHÁ PANOSO, L. . (1976). Latossolo Vermelho-Amarelo de tabuleiro do Espírito Santo. . *Tese (Livre Docência) Universidade Rural de Pernambuco, Recife.*, p. 115.

APHA, AWWA, & WEF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Waterand Wastewater.*

ARAI, M. (2006). A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geolo. USP, Sér, cient., São Paulo, v. 6, n. 2.*

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, R. F.; VITA-FINZI C.; SAADI, A. (2001). Pliocene-Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coastal Plain Morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Science. v. 14, n. 1*, p. 61- 75.

BRASIL. (1983). Departamento de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Minerais. *Rio de Janeiro. Folha São Mateus (SE - 24)*.

BRICALLI, L.L. (2011). Padrões de lineamentos e fraturamentos neotectônico no estado do Espírito Santo (Sudeste do Brasil). *Tese (Instituto de Geociências - UFRJ, DSc, Programa de Pós-Graduação em Geologia), IGEO - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro*, 221 p.

CBHRP. (2013). *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga*. Fonte: http://www.cbhpiranga.org.br/a-bacia

COSTA JÚNIOR, M. P. (2008). Interações morfo-pedogenéticas nos sedimentos do Grupo Barreiras e nos leques aluviais pleistocênicos no litoral norte da Bahia-município de Conde. *Tese (Doutorado em Geologia Costeira e Sedimentar) - Universidade Federal da Bahia, Salvador*, p. 247.

CPRM. (1991). *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ponte Nova. Folha SF.23-X-B-II.* Ponte Nova.

CUSTODIO, E., & LLAMAS, M. R. (1976). *HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA* (2 ed.). BARCELONA, ESPANHA: OMEGA.

DUARTE, M.N.; CURI, N.; PÉREZ, D.V.; KÄMPF, N. & CLAESSEN, M.E.C. . (2000). Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira., v. 35*, p. 1237- 1250.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. . (1978). Levantamento de recolhimento dos solos do Estado do Espírito Santo. . *(Boletim Técnico, 45)*, p. 461.

FUGRO; SAMARCO. (2018). *MAPEAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE - BACIAS B1 E B2 DA FAZENDA FLORESTA.* 73p: FRN-01-GFS-GRE-01.

FUNDAÇÃO RENOVA. (17 de maio de 2017). Fonte: Site da Fundação Renova: http://www.fundacaorenova.org/a-fundacao/

LOGAN, J. (1965). *Interpretação de Análises Químicas da Água.* Recife/PE: US. Agency for International Development.

MACHADO FILHO, L.M; RIBEIRO, M.W; GONZALEZ, S.R; SCHENINI, C.A; NETO, A.S; PALMEIRA, R.C.B; PIRES, J.L; TEIXEIRA, E; CASTRO, H.E.F. (1983). Geologia . *Projeto Radam Brasil. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. V 32. Rio de Janeiro*.

MARTIN, L.; SUGUI, K.; DOMINGUEZ, JMM; FLEXOR, J. . (1997). Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. *Belo Horizonte: CPRM*, P. 112.

MDGEO. (2017). *Relatório dos estudos hidrogeológicos na região da Fazenda Floresta. "Compilação de dados". Rio Doce - MG.* Belo Horizonte.

MDGEO. (2017). *RG-01.IT-C-04 Ficha de campo para coleta d'água.* Belo Horizonte - MG.

MELO, V.F; NOVAIS, R.F; SCHAEFER, C.E.G.R; FONTES, M.P.F; SINGH, B. (2002). Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, Espírito Santo. *In: Revista Brasileira de Ciências do Solo, n. 1. Vol. 26.*, p. 29- 41.

MORAIS, R. (2007). Sistemas Fluviais Terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (Formação Rio Doce e Barreiras). *Programa de Pós-Graduação em geologia. Tese de Doutorado- Universodade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro*, p. 139.

QUEIROGA, G. N.; PEDROSA-SOARES A. N.; JÚNIOR, J. G. R., DIAS, P. H. A.; GUIMARÃES, H. A.; COUTINHO, M.O.G.; FREITAS, N.C. (2012). Geologia e Recursos Minerais da Folha de Nova Venécia SE.24-Y-B-IV, estado do Espírito Santo, escala 1:100.000. Organizador Luiz Carlos da Silva. *CPRM, Belo Horizonte*.

SILVA, R.M.J; LIMA, C.I.M; VERONESE, V.F; JUNIOR, R.N.R; ROCHA, M.R; JUNIOR, S.O. . (1987). Geologia. *Projeto Radam Brasil. Folhas SE-24 Rio Doce, v. 34. Rio de Janeiro*.

ANEXOS

ANEXO I – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via do Profissional

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005467591
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OS01 - ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DESENVOLVIDOS NA REGIÃO DELTÁICA DA FOZ DO RIO DOCE, EM ESPECIAL NA COMUNIDADE QUILOMBOLA DE DEGREDO.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SIND. DOS GEOLOGOS NO EST. DE MINAS GERAIS-SING

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$138.496,80. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **22/08/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005290434**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via da Obra/Serviço

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005467591
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OS01 - ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DESENVOLVIDOS NA REGIÃO DELTÁICA DA FOZ DO RIO DOCE, EM ESPECIAL NA COMUNIDADE QUILOMBOLA DE DEGREDO.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SIND. DOS GEOLOGOS NO EST. DE MINAS GERAIS-SING

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$138.496,80. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **22/08/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005290434**

DocuSign Envelope ID: 7A64C746-BA6B-45E4-9082-9AE80A3F820B

Via do Contratante

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201900000005467591
COMPLEMENTAR À ART
14201900000005001235

1. Responsável Técnico

BRENO ALEXANDRE PEREIRA

Título profissional: **ENGENHEIRO GEOLOGO;**

RNP: **1403084220**

Registro: **04.0.0000081028**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **22580**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**
Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Contrato: **2.944.991,10** Celebrado em: **30/12/2018**
Valor: **2.944.991,10** Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PÚBLICO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA RUA DO SEMINARIO** Nº: **000237**
Bairro: **CENTRO**
Cidade: **MARIANA** UF: **MG** CEP: **35420000**
Data de início: **30/12/2018** Previsão de término: **30/12/2020**
Finalidade: **AMBIENTAL**
Proprietário: **FUNDAÇÃO RENOVA MARIANA** CNPJ: **25.135.507/0002-64**

4. Atividade Técnica

	Quantidade:	Unidade:
1 - CONSULTORIA		
ESTUDO, MINERAÇÃO, AGUA SUBTERRANEA-INCL. MINERAL	**8.00**	**h/d**

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

OS01 - ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DESENVOLVIDOS NA REGIÃO DELTÁICA DA FOZ DO RIO DOCE, EM ESPECIAL NA COMUNIDADE QUILOMBOLA DE DEGREDO.....

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SIND. DOS GEOLOGOS NO EST. DE MINAS GERAIS-SING

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2019

DocuSigned by:
Breno Alexandre Pereira
BRENO ALEXANDRE PEREIRA RNP: **1403084220**

DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
FUNDAÇÃO RENOVA CNPJ: **25.135.507/0002-64**

9. Informações

- **A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.**
- **A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br**
- **A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.**

VALOR DA OBRA: R$ R$138.496,80. ÁREA DE ATUAÇÃO: HIDROGEOLOGIA,

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

CREA-MG Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Valor da ART: **85,96** Registrada em: **22/08/2019** Valor Pago: **85,96** Nosso Número: **0000000005290434**

ANEXO II – FICHAS DE CAMPO

ANEXO III – FICHAS DE COLETA / CADEIAS DE CUSTÓDIA

ANEXO IV – RESULTADOS DAS ANÁLISES HIDROQUÍMICAS

ANEXO V – FOTOS

MDGEO

HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

RELATÓRIO H

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
Edison Lobão
Ministro de Estado

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
Carlos Nogueira da Costa Júnior
Secretário

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL CPRM
Manoel Barretto da Rocha Neto
Diretor-Presidente

Thales de Queiroz Sampaio
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Roberto Ventura Santos
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Antônio Carlos Bacelar Nunes
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Eduardo Santa Helena
Diretor de Administração e Finanças

Frederico Cláudio Peixinho
Chefe do Departamento de Hidrologia

José Carlos da Silva
Chefe da Divisão de Hidrogeologia e Exploração

Ernesto von Sperling
Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

José Márcio Henriques Soares
Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Paulo Roberto Macedo Bastos
Chefe da Divisão de Cartografia

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL - CARTOGRAFIA HIDROGEOLÓGICA
Coordenação
João Alberto Oliveira Diniz

PROJETO MAPA HIDROGEOLÓGICO DO BRASIL AO MILIONÉSIMO
Coordenação Geral
João Alberto Oliveira Diniz
Coordenações Anteriores
Luiz Fernando Costa Bomfim (1ª Fase)
Marcos Alexandre de Freitas (2ª Fase)

COORDENAÇÕES TEMÁTICAS
Geoprocessamento
Robson de Carlo da Silva
Coordenações Anteriores
Patrícia Duringer Jacques (1ª Fase)
Elizete Domingues Salvador (2ª Fase)
Hidrogeologia e SIG
Adson Brito Monteiro
Thiago Luiz Feijó de Paula

EQUIPE EXECUTORA
Adson Brito Monteiro
Amilton de Castro Cardoso
Andrea Segura Franzini
Carlos José Bezerra de Aguiar
Diogo Rodrigues Andrade da Silva
Guilherme Nogueira dos Santos
Hélder Ribeiro da Silva
João Alberto Oliveira Diniz
José Luiz Flores Machado
Lúcio Anderson Martins
Luiz Antônio da Costa Pereira
Manoel Julio da T. G. Galvão
Matheus Marcilli *(in memoriam)*
Oderson Antônio de Souza Filho
Paulo Pontes Araújo
Rafael Rolim Souza
Roberto Eduardo Kirchhien
Thiago Luiz Feijó de Paula
Consultoria Externa
Albert Mente
Layout
Ana Paula Rangel Jacques
Janaína Marise França de Araújo
Estagiários
Arthur Hugo Ribeiro C. de Araújo

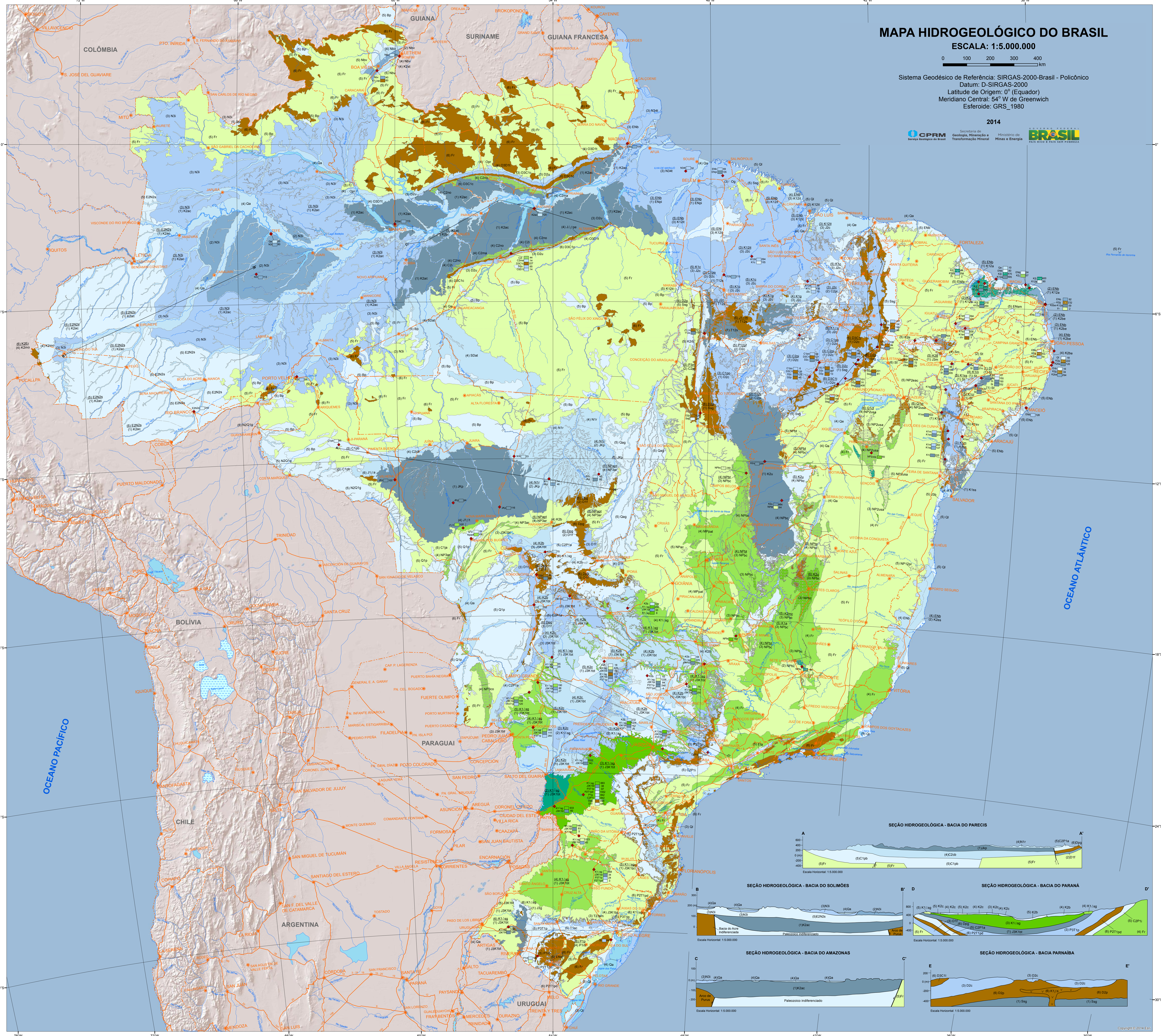
MAPA HIDROGEOLÓGICO DO BRASIL

ESCALA: 1:5.000.000

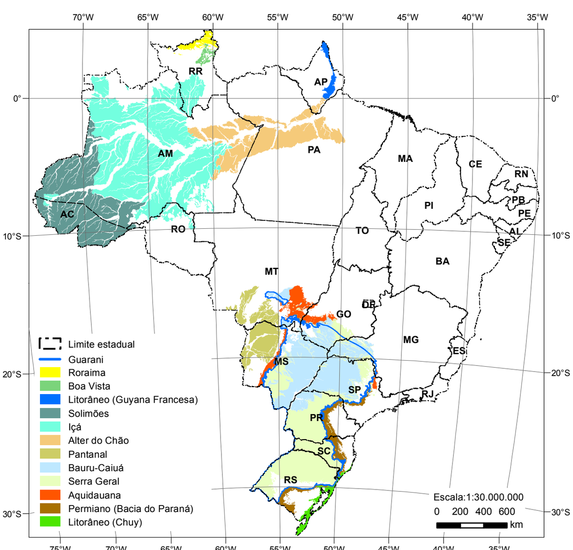
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS-2000-Brasil - Policônico
Datum: D-SIRGAS-2000
Latitude de Origem: 0° (Equador)
Meridiano Central: 54° W de Greenwich
Esferoide: GRS_1980

2014

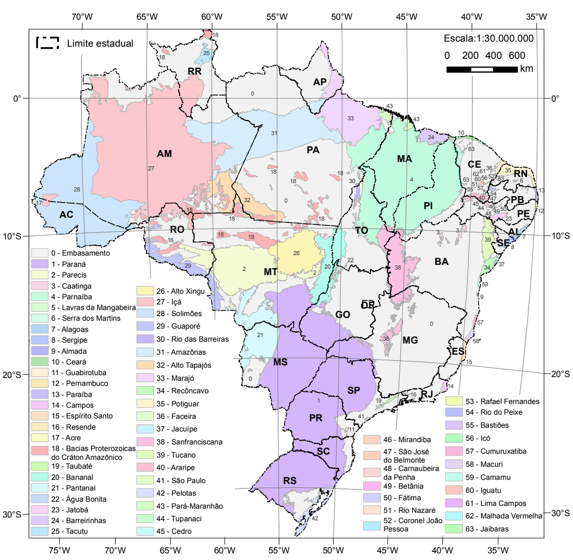
CPRM Serviço Geológico do Brasil — Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral — Ministério de Minas e Energia — Governo Federal BRASIL País rico é país sem pobreza



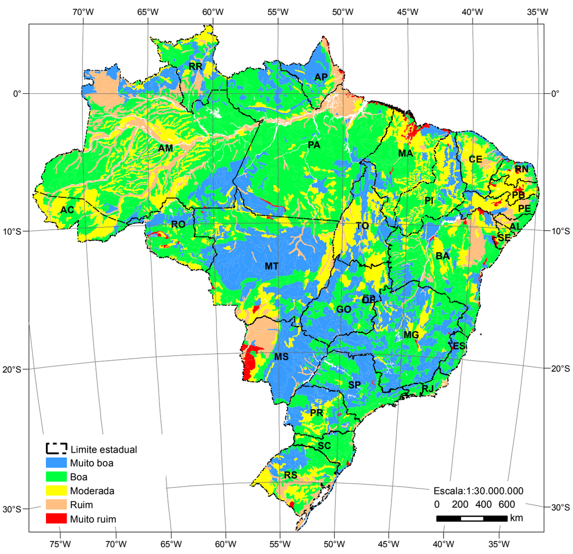
AQUÍFEROS TRANSFRONTEIRIÇOS



BACIAS E COBERTURAS SEDIMENTARES

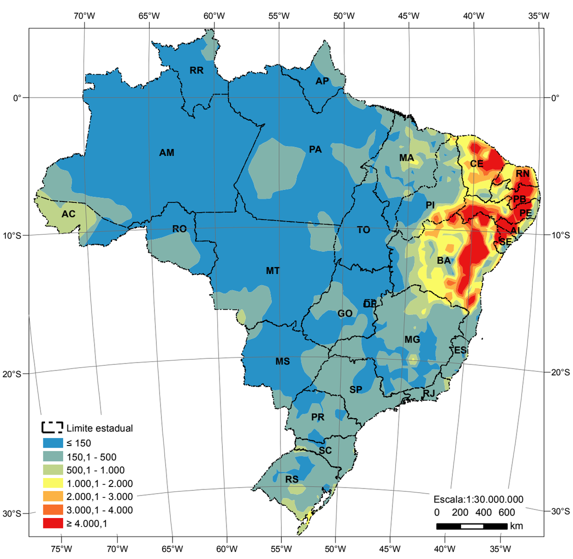


CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO SOLO

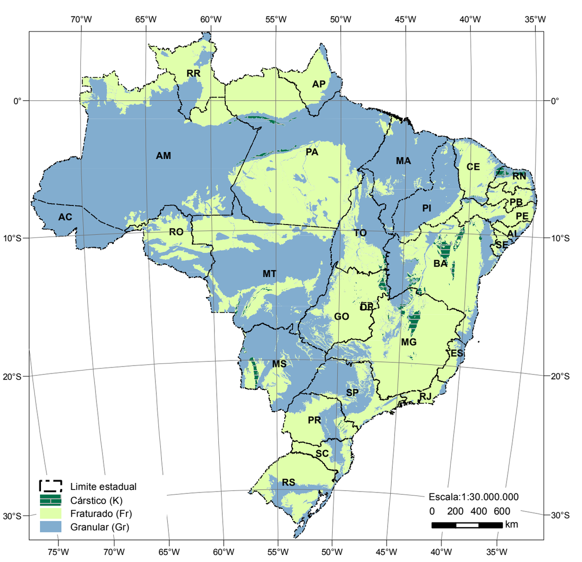


Fonte: CPRM - 2008

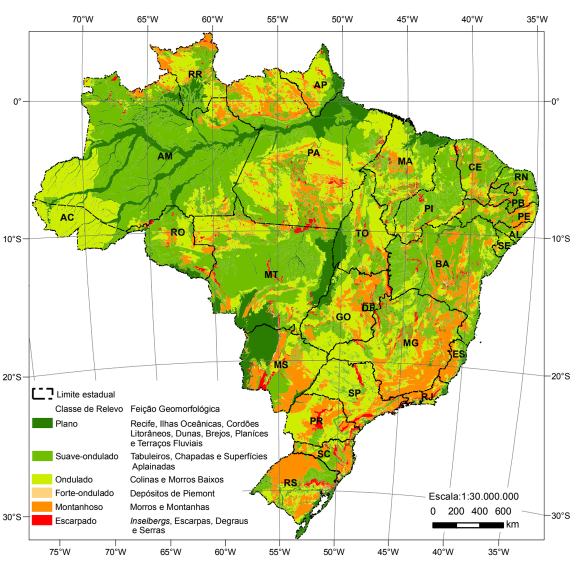
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (μS/cm)



DOMÍNIOS HIDROLITOLÓGICOS

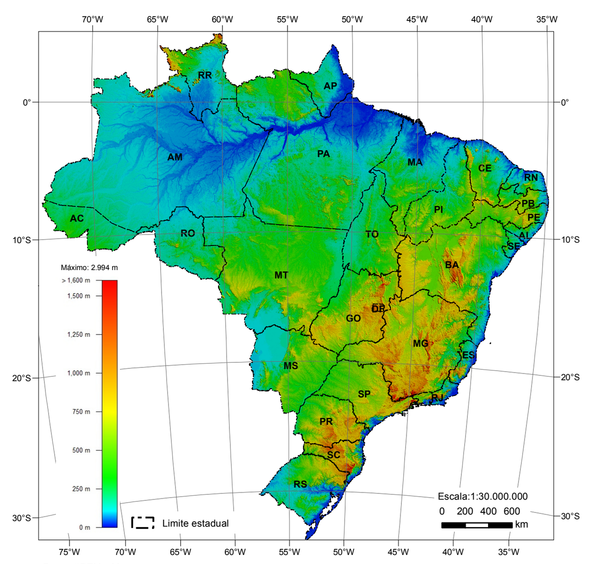


RELEVO



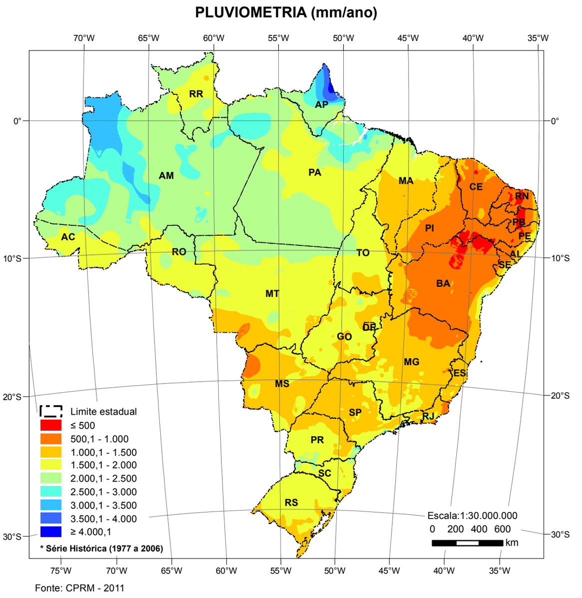
Fonte: CPRM - 2006

HIPSOMETRIA



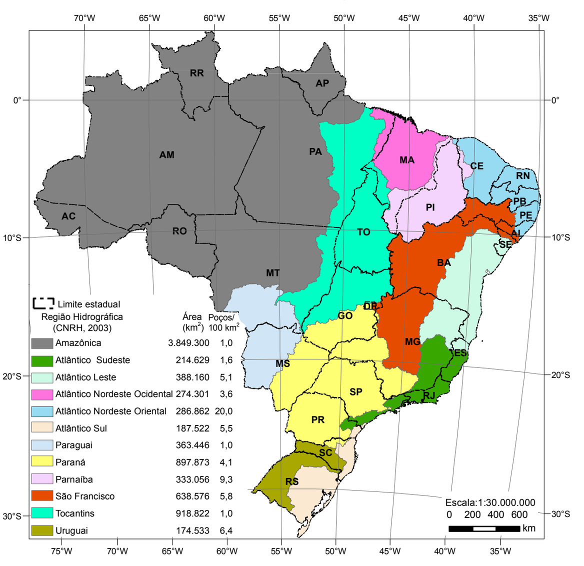
Fonte: SRTM - 90 metros

PLUVIOMETRIA (mm/ano)

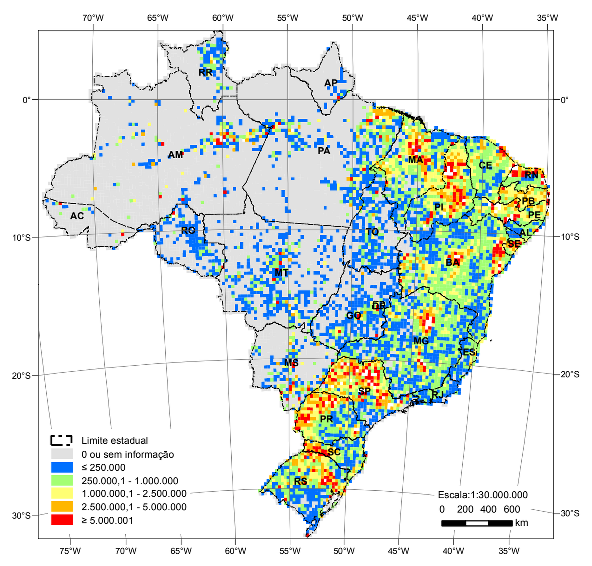


Fonte: CPRM - 2011

DENSIDADE DE POÇOS



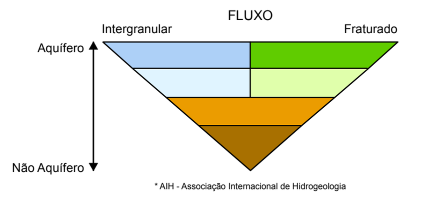
VOLUMES ANUAIS EXPLOTADOS (m³)



Domínio Hidrolitológico	Sigla da Unidade Estratigráfica	Nome da Unidade Estratigráfica	Litologia da Unidade Estratigráfica
Granular	Qa	Depósito Aluvionar	areia, silte e argila
	Qe	Depósito Eólico	areia fina a média
	Ql	Depósito Litorâneo	areia, argila, silte e cascalho
	Qag	Formação Araguaia	areia, argila, silte, arenito e conglomerado
	Q1p	Formação Pantanal	areia, argila, silte e laterita
	Nbv	Formação Boa Vista	arenito arcoseano
	N3i	Formação Içá	areia, argila, turfa e cascalho
	N34t	Formação Tucunaré	arenito e siltito
	N2Q1g	Formação Guaporé	areia, argila, silte, laterita e cascalho
	N1r	Formação Ronuro	areia, argila e cascalho
	Ec	Formação Campos Novos	argilito, arenito e basalto
	Eta	Grupo Taubaté	areia, argila, arenito, conglomerado, diamictito e pelito
	ENb	Formação Barreiras	arenito, conglomerado e argila
	ENfa	Formação Faceira	arenito e conglomerado
	ENi	Formação Ipixuna	arenito, argilito e siltito
	ENpi	Formação Pirabas	areia, argila, conglomerados e calcários
	ENsm	Formação Serra dos Martins	arenito médio, arenito conglomerático e pelito
	ENst	Formação Santa Tecla	arenito
	E3N1g	Formação Guabirotuba	arcóseo, arenito, argilito, conglomerado e siltito
	E2N2s	Formação Solimões	argilito, arenito fino e siltito
	Kp	Formação Piaçabuçu	arenito médio a grosseiro, calcário e dolomito
	Kc	Formação Algodão e Taipus-Mirim	arenito, calcário, dolomito, evaporito, folhelho, ritmito e calcário dolomítico
	K2u	Grupo Urucuia	arenito, pelito e arenito conglomerático
	K2st	Formação Serra do Tucano	arenito médio a grosso
	K2rb	Formação Rio das Barreiras	arenito, conclomerado, argilito e siltito
	K2mo	Formação Moa	arenito e conglomerado
	K2g	Formação Gramame	fosforito, calcarenito e calcário
	K2eu	Formação Urucutuca	arenito, calcário e conglomerado
	K2Er	Formação Ramon	folhelho, calcarenito, arenito e calcário
	K2Eit	Formação Itaqueri	arenito e arenito conglomerático
	K2e	Formação Exu	arenito, siltito e conglomerado
	K2ca	Formação Calumbi	arenito, argilito e folhelho
	K2c	Grupo Caiuá	arenito e conglomerado
	K2be	Formação Beberibe	arenito e siltito
	K2b	Grupo Bauru	arenito, argilito e conglomerado
	K2ag	Formação Algodoais	conglomerado e arenito conglomerático
	K2ac	Formação Alter do Chão	arenito médio a grosso e argilito
	K1sz	Formação Souza	siltito vermelho, argilito verde, folhelho, marga e calcário
	K1sv	Formação Salvador	conglomerado, arenito lítico, folhelho e argilito
	K1ss	Formação São Sebastião	arenito fino a médio
	K1sa	Grupo Santo Amaro	arenito, folhelho e siltito
	K1rp	Formação Rio das Piranhas	arenito fino a médio, arenito argiloso e arenito grosso a conglomerático
	K1pe	Formação Penedo	arcóseo, folhelho e siltito
	K1mv	Formação Malhada Vermelha	arenito, argilito e siltito
	K1m	Formação Marizal	conglomerado, arenito e folhelho
	K1lc	Formação Lima Campos	arenito, siltito e folhelho
	K1ic	Formação Icó	arenito, argilito e marga
	K1i	Grupo Ilhas	arenito, folhelho e siltito
	K1g	Formação Grajaú	arenito médio
	K1cp	Grupo Coruripe	folhelho, arenito, calcilutito,calcário e conglomerado
	K1ci	Formação Candeias / Grupo Ilhas Indiscriminados	folhelho, siltito e arenito
	K1cb	Formação Cabo	arcóseo, ritmito, conglomerado e folhelho
	K1ca	Formação Candeias	folhelho e siltito calcífero
	K1c	Formação Codó	folhelho, siltito, arenito e calcário
	K1an	Formação Antenor Navarro	arenito fino a grosseiro e conglomerado
	K1alm	Grupo Almada	arenito, calcilutito, folhelho, marga e arenito conglomerático
	K1a	Grupo Areado	arenito, conglomerado, folhelho e siltito
	K12it	Formação Itapecuru	arenito fino a grosso e arenito argiloso
	K12a	Formação Açu	arenito e siltito
	K2es	Grupo Espírito Santo	arenito e folhelho
	JKp	Grupo Parecis	arenito, siltito e conglomerado
	JKs	Formação Serraria	arcóseo e arenito
	J3s	Formação Sergi	arenito fino, arenito conglomerático e conglomerado
	J3m	Formação Missão Velha	arenito, siltito, calcário e folhelho
	J3K1bt	Formação Botucatu	quartzo-arenito
	J3g	Formação Guará	arenito
	J3bs	Formação Brejo Santo	calcário, folhelho, marga e arenito
	J3b	Grupo Brotas	arenito, calcilutito, conglomerado, folhelho e arenito conglomerático
	J3a	Formação Aliança	arenito, calcilutito, conglomerado, folhelho e arenito conglomerático
	J2pb	Formação Pastos Bons	arenito fino argiloso, folhelho e calcário
	J2c	Formação Corda	arenito fino a médio e argilito
	T3c	Formação Caturrita	arenito
	T23sm	Formação Santa Maria	arenito, arenito conglomerático e pelito
	T12s	Formação Sambaíba	arenito fino a médio
	T1sc	Formação Sanga do Cabral	arenito, argilito e siltito
	Psb	Formação Santa Brígida	arenito, conglomerado, dolomito, folhelho, silexito e siltito
	P3T1p	Formação Pirambóia	folhelho, arenito fino e arenito síltico-argiloso
	P3m	Formação Motuca	arenito fino a médio e folhelho
	P2T1pd	Grupo Passa Dois	folhelho, calcário, arenito e siltito
	P12pf	Formação Pedra de Fogo	arenito fino argiloso, silexito e calcário
	P1g	Grupo Guatá	siltito, arenito, calcário e silexito
	P1tt	Formação Tatuí	siltito, calcário, silexito e arenito fino
	P1rb	Formação Rio Bonito	arenito e siltito
	P1p	Formação Palermo	arenito, siltito, siltito arenoso e folhelho
	P1t	Formação Taciba	arenito, folhelho e ritmito
	Cc	Formação Curituba	arenito, calcário, diamictito e folhelho
	CKip	Grupo Igreja Nova - Perucaba Indiscriminados	conglomerado, arenito, siltito, folhelho, argilito e calcário dolomítico
	C2cb	Formação Fazenda da Casa Branca	arcóseo, quartzo-arenito, argilito, conglomerado e folhelho
	C2pi	Formação Piauí	arenito fino a médio
	C2P1i	Grupo Itararé	arenito, diamictito, folhelho, ritmito, siltito e conglomerado
	C2P1a	Formação Aquidauana	arenito, conglomerado e siltito
	C2no	Formação Nova Olinda	arenito, evaporito, folhelho e siltito

Domínio Hidrolitológico	Sigla da Unidade Estratigráfica	Nome da Unidade Estratigráfica	Litologia da Unidade Estratigráfica
Granular	C2ma	Formação Monte Alegre	arenito, calcário e siltito
	C2i	Formação Itaituba	arenito, calcilutito e evaporito
	C1po	Formação Poti	arenito fino a médio
	C1pb	Formação Pimenta Bueno	arenito, conglomerado, folhelho e siltito
	C1ja	Formação Jauru	arenito, conglomerado, folhelho e siltito
	Di	Formação Inajá	arenito fino e siltito
	Dpg	Formação Ponta Grossa	folhelho, arenito fino, siltito e argilito
	D1f	Formação Furnas	arenito, conglomerado e siltito
	D2c	Formação Cabeças	arenito fino a médio
	D2p	Formação Pimenteiras	folhelho e siltito
	D2u	Grupo Urupadi	arenito e siltito
	D3C1c	Grupo Curuá	siltito, folhelho e arenito
	D3C1l	Formação Longá	folhelho e siltito
	Op	Formação Piranhas	arenito, argilito e conglomerado
	O3D1t	Grupo Trombetas	arenito, diamictito, folhelho e siltito
	Sm	Formação Mauriti	arenito, conglomerado, folhelho e siltito
	Ssg	Grupo Serra Grande	arenito fino a grosseiro e conglomerado
	St	Formação Tacaratu	arenito fino a médio e arenito conglomerático
	SDab	Formação Água Bonita	arenito, conglomerado e siltito
	SDat	Grupo Alto Tapajós	arenito, argilito, siltito, conglomerado e calcário
	S12vm	Formação Vila Maria	argilito síltico e folhelho
	∈O_pr	Formação Prosperança	arcóseo, arenito, argilito arenoso e conglomerado
	∈Og	Formação Guamá	arenito arcoseano e grauvaca
	Bp	Bacia Proterozoica Indiferenciada	arenito, arcóseo, quartzo-arenito, calcarenito, dolomito, folhelho, marga, ritmito, argilito, siltito, grauvaca e conglomerado
Fraturado	E3βm	Formação Macau	basalto
	K2mc	Grupo Mata do Corda	tufo, arenito e rocha vulcânica
	K1δsg	Formação Serra Geral	basalto e dacito
	K1βs	Formação Sardinha	basalto e diabásio
	Jδβpe	Formação Penatecaua	diabásio
	J1βt	Formação Tapirapuã	basalto e diabásio
	J1βm	Formação Mosquito	basalto
	J1βa	Formação Anari	basalto
	NPapt	Grupo Alto Paraguai, unidade terrígena	quartzito, metapelito, arcóseo, arenito, ritmito, folhelho, siltito, argilito e coglomerado
	NPbt	Grupo Bambuí, unidade terrígena	quartzito, metapelito, ardósia, arcóseo, arenito, ritmito, marga, folhelho, siltito e argilito
	MPpat	Grupo Paranoá, unidade terrígena	metarritmito, metassiltito, metargilito, quartzito, filito, ardósia, e conglomerado
	Fr	Embasamento Fraturado Indiferenciado	granitóide, vulcânica, metavulcânica, metassedimento, gnaisse, migmatito, granulito, xisto e quartzito
Cárstico	Q1ct	Formação Caatinga	brecha calcífera e calcrete
	Q2x	Fomação Xaraiés	calcário e tufa
	K2j	Formação Jandaíra	calcarenito, calcilutito e folhelho
	K2ct	Formação Cotinguiba	calcário e calcilutito
	K2et	Formação Estiva	calcilutito, calcário dolomítico, folhelho e siltito
	K1rc	Formação Riachuelo	calcarenito, calcilutito, calcirrudito, calcário e folhelho
	K1s	Formação Santana	calcilutito e marga
	NPac	Grupo Araxá, unidade carbonática	calcário e metacalcário
	NPanc	Formação Antinha, unidade carbonática	mármore, metacalcário dolomítico e metacalcário calcifilito
	NPbc	Grupo Bambuí, unidade carbonática	calcarenito, calcário, metacarbonato e siltito
	NPcpm	Formação Capiru, unidade carbonática	mármore e metamarga
	NPitc	Grupo Itaiacoca, unidade carbonática	calcário, mármore, dolomito, filito, metavulcânica e meta-arenito
	NPtcm	Formação Turvo-Cajati, unidade carbonática	mármore, rocha calcissilicática, xisto e mármore dolomítico
	NP3sjuc	Formação Jucurutu, unidade carbonática	calcário
	NP3co	Grupo Corumbá	calcário e dolomito
	NP3ar	Grupo Araras	calcário, dolomito, arenito, argilito e siltito
	NP2usa	Formação Salitre	calcarenito, arcóseo, calcilutito, siltito e calcissiltito
	NP2uc	Grupo Ubajara, unidade carbonática	calcário, marga e metassiltito
	NP2usa	Formação Salitre	arcóseo, calcarenito, calcilutito, siltito e calcissiltito
	NP2o	Formação Olhos Dágua	mármore, filito, *metachert*, metapelito, metarritmito e mármore dolomítico
	NP2ja	Formação Jacoca	mármore, *metachert*, metapelito e mármore dolomítico
	NP2eac	Grupo Estância, unidade carbonática	calcarenito, calcilutito, argilito e siltito
	NP1cbc	Formação Barra Bonita, unidade carbonática	mármore
	NP12pr	Formação Serra do Paraíso	metacalcário dolomítico, metadolomito, laminito algal e estromatólito colunar
	MPsac	Sequência Serra das Andorinhas, unidade carbonática	mármore dolomítico
	MPpac	Grupo Paranoá, unidade carbonática	calcário, argilito, metassiltito, filito, mármore, ardósia e quartzito
	MPlc	Grupo Lajeado, unidade carbonática	mármore calcítico, metacalcarenito e metacalcilutito
	MPbtc	Formação Betara, unidade carbonática	mármore dolomítico, mármore calcítico e xisto carbonático
	MP3sfc	Complexo Santa Filomena, unidade carbonática	calcário
	MP3mr2c	Complexo Marancó, unidade carbonática	mármore
	MP1voc	Grupo Votuverava, unidade carbonática	metacalcarenito, metacalcirrudito e metacalcário calcítico
	MP1acc	Formação Água Clara, unidade carbonática	rocha calcissilicática e mármore calcítico
	PP1mig	Formação Gandarela	dolomito, itabirito e filito
	PP2crc	Complexo Ceará, unidade carbonática	calcário e mármore
	PP2ic	Complexo Itaizinho, unidade carbonática	mármore
	PP4oc	Grupo Orós, unidade carbonática	calcário
	PP4smc	Grupo Serra da Mesa, unidade carbonática	calcário
	A3bo	Formação Boqueirão	mármore e xisto

Determinação dos Sistemas Aquíferos



* AIH - Associação Internacional de Hidrogeologia

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS

Classes	Granulares	Fraturadas	Cársticas	Q/s (m³/h/m) *	T (m²/s)	K (m/s)	Q (m³/h)	Produtividade **
(1)				≥ 4,0	$\geq 10^{-2}$	$\geq 10^{-4}$	≥ 100	Muito alta - Fornecimento de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destacam em âmbito nacional.
(2)				2,0 ≤ Q/s < 4,0	$10^{-3} \leq T < 10^{-2}$	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	50 ≤ Q < 100	Alta - Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.
(3)				1,0 ≤ Q/s < 2,0	$10^{-4} \leq T < 10^{-3}$	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	25 ≤ Q < 50	Moderada - Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades e irrigação em áreas restritas.
(4)				0,4 ≤ Q/s < 1,0	$10^{-5} \leq T < 10^{-4}$	$10^{-7} \leq K < 10^{-6}$	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada - Fornecimento de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.
(5)				0,04 ≤ Q/s < 0,4	$10^{-6} \leq T < 10^{-5}$	$10^{-8} \leq K < 10^{-7}$	1 ≤ Q < 10	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa - Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.
(6)				< 0,04	$< 10^{-6}$	$< 10^{-8}$	< 1	Pouco produtiva ou não aquífera - Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimento restrito ao uso de bombas manuais.

Modificada de Struckmeir & Margat, 1995
* Valores válidos para teste de bombeamento de 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 metros
** Na definição de classe de produtividade para os aquíferos fraturados e cársticos, considerar apenas dados de vazão

REGIÕES HIDROGRÁFICAS

Fonte: Agência Nacional de Águas - 2010

MAPA DE LOCALIZAÇÃO

Créditos da base planimétrica: Confeccionada a partir da base 1:1.000.000 do IBGE na Divisão de Cartografia – DICART da CPRM, no ano de 2012, em coordenadas geográficas, WGS84, sendo generalizada, atualizada e ajustada às imagens do mosaico Geocover 2000 - ortorretificado e georreferenciado – WGS 84, de imagens ETM+ do Landsat 7 resultante do *sharpening* das bandas 7, 4, 2 e 8 com resolução espacial de 14,25 m, para atender ao mapeamento temático do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Serviço executado pelo técnico João Carlos de Souza Albuquerque.

Fonte da base geológica utilizada: CPRM, 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas. Projeto GIS BRASIL – Programa Geologia do Brasil.

Traçado das seções hidrogeológicas
Contato de unidade hidroestratigráfica aflorante
Limite inferido de unidade hidroestratigráfica subjacente
Poços representativos

Perfil Esquemático do Poço
Sigla da Unidade — Espessura Captada da Unidade (m)

Representação em Mapa das Classes dos Aquíferos

$\frac{(3)\ N3i}{(1)\ K2ac} = \frac{\text{(classe) unidade hidrogeológica aflorante}}{\text{(classe) principal aquífero subjacente}}$

1) A classe do aquífero + a unidade estratigráfica, seja aflorante ou subjacente, define a unidade hidroestratigráfica.
2) a unidade hidroestratigráfica subjacente, representa o aquífero mais produtivo, com boa qualidade de água e em menor profundidade.

Capital
Cidade
Limite internacional
Limite estadual
Estrada pavimentada
Estrada não pavimentada
Curso de água perene
Açude, lagoa e barragem
Área alagada
Rio de margem dupla

Copyright © 2014 Esri

RELATÓRIO I

APLYSIA
SOLUÇÕES AMBIENTAIS

FUNDAÇÃO RENOVA

PARECERES TÉCNICOS INDEPENDENTES SOBRE A QUALIDADE DO PESCADO NO RIO DOCE E ZONA COSTEIRA ADJACENTE

Relatório Técnico n° 788/2018

Revisão 00

www.aplysia.com.br

APRESENTAÇÃO

Com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana/MG, no dia 05 de novembro de 2015, a pluma de turbidez alcançou o rio Doce e percorreu sua extensão até chegar ao mar em 21 de novembro de 2015. Decorrente do evento, foram estabelecidas duas zonas de proibição de pesca.

Em fevereiro de 2016 a Justiça Federal determinou, liminarmente, a proibição da pesca na área compreendida entre a região de Barra do Riacho, Aracruz/ES, até Degredo, em Linhares/ES, dentro dos 25 metros de profundidade. Em decisão, registra-se que a continuidade da atividade pesqueira nas áreas afetadas pelos rejeitos *"... representam, ao menos em potência, risco grave de dano irreparável ou de difícil reparação ao meio ambiente e à saúde da coletividade...",* estabelecendo que tal decisão é passível de revisão quando dos resultados das análises técnicas oficiais (JUSTIÇA FEDERAL, 2016). Esta área foi redefinida para a isóbata de 20 metros de profundidade em maio do mesmo ano.

Já em novembro de 2016, o Instituto Estadual de Florestas estabeleceu por meio de Portaria a proibição da pesca profissional em toda a bacia hidrográfica do rio Doce, nos limites do estado de Minas Gerais. Em maio de 2017 a normativa é revista, sendo a proibição restrita a pesca de espécies autóctones (origem ou ocorrência natural na bacia), motivada pelos impactos ambientais sobre os recursos pesqueiros (IEF, 2016, 2017).

Estudos acerca da qualidade do pescado e da estrutura de comunidade ictiológica vem sendo conduzidos na bacia do rio Doce e na região costeira adjacente, desde o período do rompimento da barragem, a pedido da SAMARCO e posteriormente da Fundação RENOVA, ou por iniciativa dos órgãos reguladores e universidades. Estes estudos foram objeto de análise por um grupo de especialistas sêniores, que tiveram como objetivo fornecer subsídios técnicos para a avaliação da real necessidade da proibição da pesca.

O painel de especialista foi formado por profissionais/pesquisadores de notório saber em suas respectivas áreas de atuação, abrangendo conhecimentos em oceanografia física,

oceanografia química, toxicologia humana, ecotoxicologia e ecologia. O *background* resumido de cada integrante é apresentado a seguir:

Dra. Tatiana Heid Furley

Bióloga; Mestre em Oceanografia Biológica pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1993); Doutora em Oceanografia Biológica pela Universidade de São Paulo (2006). Possui 28 anos de experiência desenhando e coordenando estudos de monitoramento de efeitos ambientais de efluentes em ecossistemas aquáticos; 27 anos de experiência em bioacumulação de metais, organoclorados e hidrocarbonetos em organismos aquáticos expostos a efluentes domésticos e industriais dos setores de mineração, siderurgia, celulose e papel e petróleo; 17 anos de experiência em avaliação integrada da qualidade de sedimentos, em ecotoxicologia e investigação da causa da toxicidade; 15 anos de experiência com projetos de passivos ambientais de mineração relacionados a vazamentos antigos e recentes em solos e recursos hídricos. Já recebeu 15 prêmios pela qualidade e inovação em seus projetos ambientais. Há 18 anos participa de comitês científicos de conferências internacionais, coordena seminários e conferências sobre efeito de contaminantes na biota, moderando e apresentando projetos realizados juntamente com cientistas da academia, indústria e agências ambientais do Brasil, USA, Canadá, UK, Espanha, Itália, Austrália e Nova Zelândia. Há 3 anos coordenou e publicou o Guia de Monitoramento de Efeitos Ambientais, uma proposição de protocolo para o Brasil. Atualmente é Diretora Técnica e de Inovação da APLYSIA Soluções Ambientais, Presidente do Instituto Aplysia, Diretora da Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia, Presidente da SETAC LA - Sociedade Latino Americana de Toxicologia e Química Ambiental.

Dr. Luis Felipe Hax Niencheski

Possui graduação em Oceanologia Biológica e Geológica pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1977), mestrado em Oceanologie - Université Daix Marseille II - Station Marine DEndoume (1980), Doctorat en Oceanologie pela Université D Aix Marseille II - Station Marine D Endoume (1982) e Pós-Doc no Skidaway Institute of

Oceanography, University System of Georgia, USA. Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Tem experiência de mais de 40 anos na área de Oceanografia, com ênfase em Oceanografia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: Hidroquímica e qualidade de águas superficiais e subterrâneas; contaminação estuarina e marinha; bioacumulação de metais; especiação química de metais; transporte continente-oceano de elementos dissolvidos e particulados e Descarga de água subterrânea na América do Sul Atlântica; metais no sedimento; metais em acidentes de mineração. Professor convidado da Universitat Politècnica de Valencia e em 18 de setembro de 2012 foi aceito pelo Conselho do Skidaway Institute of Oceanography (SkIO) como Adjunct Faculty Member. Em 2018 foi aceito como Adjunct Faculty Member da University of Georgia (UGA) e em 2018 recebeu o título de Professor Emérito da FURG.

Dra. Yvette Wieder Lowney

Possui 30 anos de experiência profissional avaliando o potencial de efeito à saúde humana a partir da exposição à metais no meio ambiente, incluindo solo, ar, água, alimentos e produtos consumidos. Experiência em avaliação de risco a saúde humana em projetos de pesquisa, regulatórios e litígio; na coordenação de pesquisas na área de exposição de metais aos homens; e riscos de produtos químicos em meios ambientais, locais de trabalho e produtos de consumo. Passou as últimas duas décadas em consultoria, onde seus clientes incluíam indústria, agências e organizações não-governamentais. Em cada um desses contextos, um objetivo consistente foi identificar lacunas de dados estratégicos e, se necessário, realizar pesquisas para fornecer informações para uma avaliação mais realista de exposições e risco potencial. Experiência em avaliações de risco sob CERCLA, RCRA, FIFRA, FD e CA, CPSIA envolvendo produtos químicos e cenários de exposição. Experiência em avaliação da biodisponibilidade oral relativa e absorção percutânea e geração de modelos de extração de bench-top para estimar a biodisponibilidade relativa de produtos químicos do solo, para aplicação tanto na saúde humana quanto em avaliações de risco ecológico. Possui ainda experiência em discussões com o EPA sobre biodisponibilidade de metais e risco a saúde humana, provenientes de acidentes de mineração.

Dr. Paulo Cesar Colonna Rosman

Engenheiro Civil com ênfase em Obras Hidráulicas & Saneamento em 1977 pela Escola de Engenharia da UFRJ; MSc. em Engenharia Oceânica em 1979 na COPPE/UFRJ; e Ph.D. em Engenharia Costeira em 1987 pelo Department of Civil Engineering - Massachusetts Institute of Technology, USA. Foi Presidente da Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) do Governo do Estado do Rio de Janeiro, e membro da CECA - Comissão Estadual de Controle Ambiental de 01/95 a 02/97. É Professor Titular do Departamento de Recursos Hídricos & Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ e da Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ, onde atua desde 1979. Na COPPE/UFRJ, já orientou mais de 100 teses sendo 26 de doutorado. Já coordenou mais de 100 projetos através da Fundação Coppetec. Para currículo completo acessar: http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4787979J9.

Dr. José Galizia Tundisi

Possui graduação em História Natural pela Universidade de São Paulo (1962), mestrado em Oceanografia na University Of Southampton (1966) e doutorado em Ciências Biológicas (Botânica) pela Universidade de São Paulo (1969). Atualmente é professor titular aposentado da Universidade de São Paulo e atua na pós-graduação da Universidade Federal de São Carlos orientando mestres e doutores. É presidente da Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental (IIEGA) e pesquisador do Instituto Internacional de Ecologia (IIE). É professor convidado do Instituto de Estudos Avançados da USP. É professor titular da Universidade Feevale (Novo Hamburgo RGS) atuando no curso de pós-graduação em Qualidade Ambiental. Orientação de mestres e doutores, ministrando as disciplinas de Ecologia Teórica e Monitoramento Ambiental. É membro titular da Academia Brasileira de Ciências e do Ecology Institute - Excellence in Ecology (Alemanha). É especialista em Ecologia, Limnologia com ênfase em Gerenciamento Recuperação de Ecossistemas Aquáticos. Atuou como consultor em 40 países nas áreas de limnologia, gerenciamento de recursos hídricos, recuperação de lagos e reservatórios e planejamento e otimização de usos múltiplos de represas. Atualmente dirige programa internacional mundial de formação de

gestores de recursos hídricos para o IAP (InterAcademy Pannel - que representa 100 Academias de Ciências). É consultor de vários Projetos de Gestão de Recursos Hídricos a cargo do Instituto Internacional de Ecologia e de Gerenciamento Ambiental. Tem 30 livros publicados e 1 livro no prelo, 320 trabalhos científicos publicados e prêmios no Brasil no exterior. Orientou 41 mestres e 35 doutores nas áreas de Ecologia, Limnologia, Oceanografia, Gestão de Recursos Hídricos e Gestão Ambiental. Foi presidente do CNPq de 1995 à 1999 e assessor do Ministro de Ciência e Tecnologia Ronaldo Sandenberg de 1999 à 2001. Foi presidente do Programa Institutos do Milênio do Ministério de Ciência e Tecnologia. Em 1999 fundou a Secretaria Municipal de Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento Econômico em São Carlos. Desde 2001 é Presidente da Associação da Revista Brasileira de Biologia. Para currículo completo acessar: (http://buscatextual. cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4727817E8).

Ao final do projeto, quando da consolidação de um parecer técnico único, o grupo buscará responder aos seguintes questionamentos:

(i) Se há justificativa sob o ponto de vista ambiental e de risco à saúde humana para a manutenção da área de proibição da pesca delimitada atualmente (área compreendida entre a região de Barra do Riacho (Aracruz/ES) até Degredo/Ipiranguinha (Linhares/ES);
(ii) Se o consumo próprio do pescado oferece risco à saúde humana;
(iii) Se os estudos disponíveis até o momento são suficientes para responder estas questões e, caso contrário, direcionamentos sobre quais estudos ainda precisam ser feitos para que estas questões sejam respondidas;
(iv) Se constatada a necessidade de manutenção da área de proibição de pesca delimitada atualmente, quais são as orientações técnicas que possibilitem seu melhor entendimento, mitigação e/ou extinção do problema em questão; e
(v) Sob quais critérios técnicos que devem fundamentar o limite geográfico desta área de proibição, a fim de distinguir claramente a área de proibição de pesca e a área que não deve ser considerada como imprópria para o pescado.

Ressalta-se que este documento consite num produto parcial deste projeto em que cada especialista apresenta um parecer técnico individual, disposto em capítulos, referente ao

material disponibilizado até o momento (em ANEXO), e portanto, não configura posição final do grupo acerca do tema.

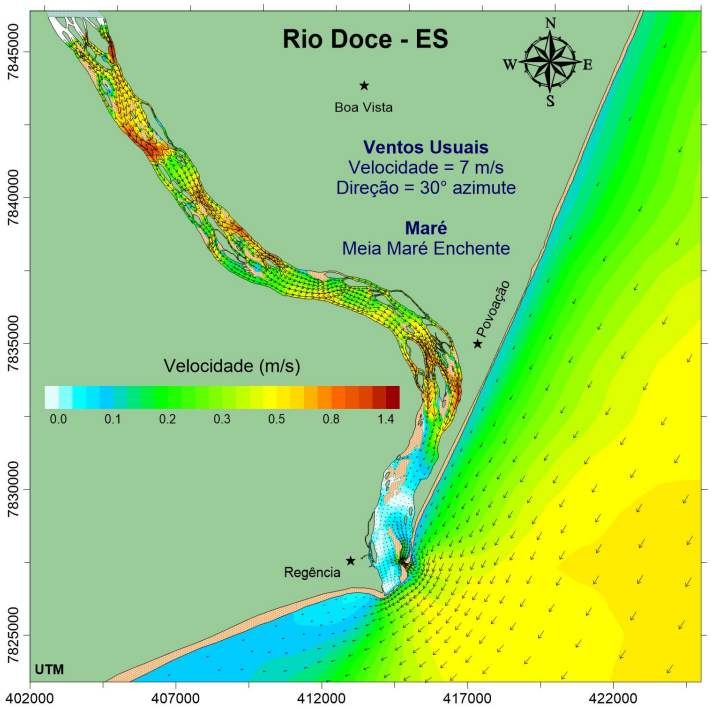
CAPÍTULO 1

ASPECTOS RELATIVOS A EXTENSÃO DA PLUMA

Dr. Paulo Cesar Colonna Rosman

ANÁLISES HIDRO-SEDIMENTOLÓGICAS NO BAIXO RIO DOCE, SEU ESTUÁRIO E ZONA COSTEIRA ADJACENTE, PARA SUBSÍDIO À AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE PESCADO

Relatório Final



Responsável técnico:
Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman, Ph.D.
Universidade Federal do Rio de Janeiro - CT - Bl. C sala 209
COPPE-PENO – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica
Escola Politécnica – Dept. Recursos Hídricos & Meio Ambiente
21941-972 - Rio de Janeiro, RJ
tel.: [55 21] 3938-8747 / 8755
e-mail: pccrosman@ufrj.br

Interessado: Aplysia Assessoria e Consultoria Ltda.
Agosto de 2018

Índice

1 Identificação 7
2 Contexto e objetivos 7
3 Sumário executivo 11
4 Sobre a modelagem computacional 13
4.1 Formulação e confiabilidade dos modelos 16
4.1.1 Sobre desenvolvimento dos modelos 16
4.1.2 Sobre calibração dos modelos 17
4.2 Cenário e dados utilizados nas modelagens 19
4.2.1 Domínios considerados com dados de batimetria e linha de orla 20
4.2.2 Modelagem Digital da Área de Interesse 22
4.2.3 Vazão fluvial 24
4.2.4 Carga de sedimentos afluentes 25
4.2.5 Caracterização física dos sedimentos afluentes 26
4.2.6 Dados de maré 27
4.2.7 Dados de vento 28
4.3 Modelo de Transporte de Sedimentos Coesivos 31
4.3.1 Condições iniciais e de contorno adotadas no modelo de sedimentos coesivos 31
4.3.2 Velocidade de Sedimentação 31
4.4 Resultados 32
4.4.1 Análise da circulação hidrodinâmica 32
4.4.2 Análise dos aspectos sedimentológicos e morfodinâmicos 41
4.5 Pluma de lama na foz do Rio Doce e possibilidade de atingir o Arquipélago de Abrolhos 52
4.5.1 Avaliação da deriva da pluma da foz por correntes de geradas por ventos 53
4.5.2 Avaliação da deriva da pluma da foz por correntes do HYCOM até 08/2018 58
5 Conclusões 61
6 Principais documentos consultados 63
7 Reconhecimentos 65

Lista de Figuras

Figura 1 – Série temporal de sólidos suspensos totais em mg/L medidos na Estação **Linhares – ES – Centro – Margem Direita**, considerando o período desde a chegada da lama no estuário do Rio Doce até o final do mês de agosto, nove meses após o acidente. Dados fornecidos pela Vale S.A. 8

Figura 2 – Imagem mostrando linhas limítrofes da zona de banimento da pesca, que se estende até 45 km para o norte da foz do Rio Doce e até 30 km para o sul da foz. A linha vermelha, interna corresponde à isóbata de 20 m, que limita a zona de banimento da pesca, e a externa amarela à isóbata de 40 m. Na imagem, aparece a cidade de Linhares, que dista cerca de 40 km da foz do Rio Doce. Destaca-se o ponto de extração de dados de velocidades de correntes do HYCOM. 9

Figura 3 – Tela de abertura do sistema de modelos utilizado para suporte às análises do trabalho desenvolvido. Maiores informações em www.sisbahia.coppe.ufrj.br. 13

Figura 4 – Diagrama de vinculação hierárquica de base de dados, projetos e modelos no SisBaHiA®. 17

Figura 5 – Resultado da modelagem digital do terreno, mostrando linha de orla e isolinhas de batimetria como vista pelo modelo implementado, no instante inicial da simulação. 21

Figura 6 – Detalhamento da região fluvial e estuarina do Rio Doce no momento inicial da simulação. É possível observar a formação de duas barras na embocadura do estuário, bem como o mapeamento dos bancos de sedimentos. Ambas informações foram extraídas de imagens georreferenciadas do Google Earth®. 22

Figura 7 – Malha de discretização do Rio Doce e região costeira adjacente em elementos finitos. 23

Figura 8 – Detalhe da malha de elementos finitos na região fluvial e estuarina do Rio Doce. 24

Figura 9 – Vazão no Rio Doce utilizada no modelo hidro-sedimentológico, gerada a partir dos dados de nível e curva-chave descritos. 25

Figura 10 – Série temporal de sólidos suspensos totais medidos na Estação **Linhares – ES – Centro – Margem Direita**, fornecido pela Vale S.A. 26

Figura 11 – Elevações de maré para o período de simulação, na fronteira aberta do modelo. 27

Figura 12 – Mapa mostrando os 4 pontos de obtenção de dados de vento. 28

Figura 13 – Estatística dos Ventos para as 4 estações utilizadas na modelagem. Dados obtidos a partir da reanálise do ERA-Interim para o período entre 20/11/2015 a 20/03/2016. 29

Figura 14 – Mapa com a série temporal de ventos da Estação 3. Dados obtidos a partir da reanálise do Era-Interim para o período entre 20/11/2015 a 20/01/2016. 30

Figura 15 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016,

com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s. 34

Figura 16 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s. 35

Figura 17 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s. 36

Figura 18 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s. 37

Figura 19 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s. 38

Figura 20 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s. 39

Figura 21 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s. 40

Figura 22 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré vazante para um dia de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s. 41

Figura 23 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada do pico de concentrações da pluma advinda do rompimento da barragem. 42

Figura 24 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada do pico de concentrações da pluma advinda da onda de cheia. 43

Figura 25 – Demarcação dos pontos de análise do modelo para os resultados de séries temporais: Foz; Norte 1km; Norte 2km; Norte 5km; Norte 10km; Fronteira Norte; Sul 1km; Sul 2km; Sul 5km; Sul 10km; Fronteira Sul. 44

Figura 26 – Séries temporais de SST calculadas pelo modelo nos pontos apresentados na Figura 25. No gráfico, o tempo zero corresponde ao dia 20/11/2015. Note que as curvas em tom azul são para sul e em tom vermelho para norte. Destaca-se que os valores para sul são amplamente maiores que para norte. 45

Figura 27 – Séries temporais de SST calculadas pelo modelo na foz do rio Doce e nas fronteiras Norte e Sul do modelo, apresentadas na Figura 25. No gráfico, o tempo zero corresponde ao dia 20/11/2015. 45

Figura 28 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão para os instantes em que foram observadas a maior dispersão da pluma para o norte (mapa da esquerda) e para o sul (mapa da direita). 47

Figura 29 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 20mg/L entre 20/11/2015 e 20/03/206. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m. 48

Figura 30 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 50mg/L entre 20/11/2015 e 20/03/206. Destaca-se que a maior ocorrência se restringe às semanas seguintes às passagens dos picos de concentração em 20/11/2015 e 20/01/2016, cf. Figura 10. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m. 49

Figura 31 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 100mg/L. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m. 50

Figura 32 – Resultado da evolução morfológica ao final do período de simulação. Como não houve formação de depósitos significativos, apresenta-se demarcada a área identificada no modelo como de maior probabilidade de deposição. 51

Figura 33 – Mapa mostrando a localização da foz do Rio Doce e do arquipélago de Abrolhos, a cerca de 215 km para NNE. As setas verdes indicam as correntes geradas por ventos na plataforma continental, que podem ocorrer para norte ou para sul, dependendo da direção dos ventos, e as setas azuis mostram a Corrente do Brasil que sempre flui para sul, em águas mais profundas, fora da plataforma continental. 53

Figura 34 – Localização dos pontos de obtenção de dados de correntes e ventos utilizados nas análises. Os dados de correntes foram medidos por ADCP e fornecidos pela Vale S.A. Os dados de ventos foram obtidos do modelo de reanálise ERA-INTERIM. 54

Figura 35 – Avaliação da magnitude da corrente medida por ADCP, considerando-se dados da camada à meia coluna d'água, em função da magnitude do vento obtido pelo modelo de reanálise ERA-INTERIM. Observou-se que a magnitude da corrente é cerca de 4% da magnitude do vento. 54

Figura 36 – Direção dos ventos para um ponto próximo à foz do Rio Doce, conforme mostra a Figura 34Figura 33, para o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016. A faixa azul destaca direções capazes de gerar correntes para norte. 55

Figura 37 – Velocidade dos ventos para um ponto próximo à foz do Rio Doce, conforme mostra a Figura 34, para o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016. .. 55

Figura 38 – Componente longitudinal da velocidade. Valores positivos indicar corrente para norte e valores negativos indicam correntes para sul. 57

Figura 39 – Os círculos verdes indicam a deriva potencial para o norte por correntes geradas pelos ventos indicados na Figura 38. Os círculos são sobrepostos à série temporal de valores de SST que chegaram na foz no Rio Doce. Fica evidente que nos eventos de máximas derivas para o norte as concentrações de SST eram muito baixas (< 20 mg/L). 57

Figura 40. Correntes médias na coluna de água paralelas à linha de costa entre 01/11/2015 e 31/08/2018. As correntes médias são as mais representativas para transporte da pluma de sedimentos da foz do Rio Doce, pois não há correntes reversas em diferentes camadas da coluna de água, v. Figura 41. 58

Figura 41. Exemplos de séries temporais de correntes entre 01/01/2016 e 20/01/2016 com valores nas profundidades de 2 a 15 m, extraídas de resultados de reanálise do HYCOM. Destaca-se que não ocorrem eventos com correntes reversas nas camadas superiores e inferiores, garantindo que a média na coluna de água efetivamente é a velocidade característica para transporte de sedimentos em suspensão..... 59

Figura 42. Distâncias de deriva da pluma de sedimentos finos da foz do Rio Doce transportada por correntes de reanálise do HYCOM entre 01/11/2015 e 31/08/2018. Os valores para Sul estão truncados, pois em face da muito maior persistência ultrapassam os 200 km indicados. Para Norte, a máxima deriva foi de quase 150 km em 06/2016, entretanto nesta época as concentrações no Rio Doce eram muito baixas, como indicam os gráficos de SST na Figura 39 e de NTU na Figura 43. 60

Figura 43. Gráfico de série temporal de turbidez no Rio Doce, próximo à foz, extraído do relatório: RT ECV 138-17_Analise_Final_REV00_red.pdf, jun./2017, da empresa Econservation, sobre "Análise integrada dos contornos da Figura 43 deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho". A linha laranja indica a linha de corte de 100 NTU (equivalente ao Limite da CONAMA 357/05 para Águas Doces Classe 2). 60

1 Identificação

Projeto COPPETEC: **PENO-21450** (Referência Contratual Aplysia Nº 10/2018)

Título: **ANÁLISES HIDRO-SEDIMENTOLÓGICAS NO BAIXO RIO DOCE, SEU ESTUÁRIO E ZONA COSTEIRA ADJACENTE, PARA SUBSÍDIO À AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE PESCADO**

Relatório Final

Interessado: **APLYSIA ASSESSORIA E CONSULTORIA LTDA.**
Sra. Heloisa Giacomin Ohnishi
Diretora de Projetos - APLYSIA Soluções Ambientais
Rua Julia Lacourt Penna, 335, Jardim Camburi
Vitória, ES - CEP: 29090-210
Contato: Sra. Heloisa Giacomin Ohnishi
heloisa@aplysia.com.br
tel. (27) 3024-4852 | (27) 3337-4877

Programa COPPE: **Engenharia Oceânica –** Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica
Responsável Técnico: Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman, Ph.D.

Data: **31 de agosto de 2018**

2 Contexto e objetivos

O contexto deste trabalho[1] é fornecer subsídios para análises pertinentes à necessidade de manter ou cancelar o banimento de pesca na zona indicada no mapa da Figura 2, limitada pela linha vermelha na isóbata de 20m.

Destaca-se que nas análises apresentadas neste trabalho, sempre que possível, isolam-se os efeitos das cargas de sedimentos trazidas pelo Rio Doce para a zona estuarina e costeira adjacente. Tal feito é possível apenas com modelagem computacional, pois ao se medir em campo ou fazer estimativas com base em imagens aéreas ou de satélite, especialmente na zona costeira, registram-se ou observam-se concentrações de sedimentos oriundos de todas as fontes possíveis ao longo do litoral. O objetivo de isolar as cargas vindas do Rio Doce é avaliar o potencial impacto das cargas de sedimentos oriundas do acidente da Samarco na zona costeira.

[1] Neste trabalho utiliza-se partes do "Capítulo 4 – *Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente*" do Relatório Final do Projeto COPPE-20275 intitulado "AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO EM MARIANA NOVE MESES APÓS O DESASTRE", contratado pela Vale S.A à Fundação Coppetec em 08/2016 e findo em 01/2017. Destaca-se que tal Relatório Final foi repassado à Fundação Renova pela Vale S.A., que o uso das informações nele contidas foi autorizado pela Vale S.A. no contexto deste trabalho, e que o responsável técnico pelo citado Capítulo 4 foi o Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman, que também é o responsável técnico por este trabalho.

Especificamente, neste trabalho foca-se nos seguintes objetivos:

1. Analisar, no período mais crítico, o impacto que o afluxo de sedimentos finos oriundos da ruptura da barragem de Fundão em Mariana causou nas concentrações de sedimentos finos em suspensão no baixo rio Doce, sua zona estuarina e a zona costeira adjacente à foz, bem como depósitos lamosos no fundo, com especial atenção à zona de banimento de pesca.

   O período mais crítico considerado estende-se por quatro meses, indo da chegada da pluma de sedimentos na região estuarina, no dia 20/11/2015 até o dia 20/03/2016. Como ilustra a Figura 1, os dados mostram que após este período, as concentrações de sedimentos em suspensão medidas em Linhares-ES, a ~40 km da foz, são muito reduzidas.

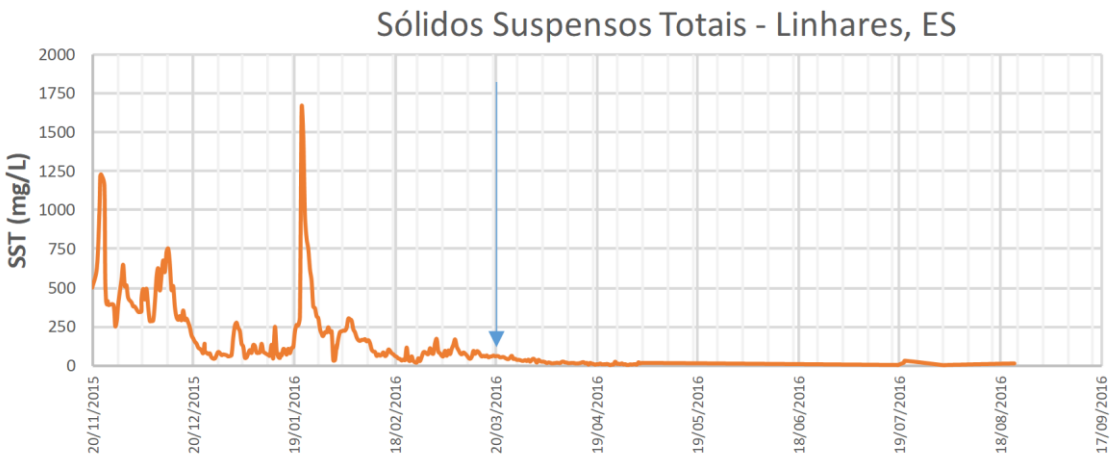


Figura 1 – Série temporal de sólidos suspensos totais em mg/L medidos na Estação **Linhares – ES – Centro – Margem Direita**, considerando o período desde a chegada da lama no estuário do Rio Doce até o final do mês de agosto, nove meses após o acidente. Dados fornecidos pela Vale S.A.

   As análises foram desenvolvidas com base em dados medidos e modelagem computacional de hidrodinâmica ambiental. A modelagem adotada nas análises incorpora a circulação hidrodinâmica e processos sedimentológicos, com efeitos de deposição, transporte e ressuspensão de sedimentos finos, além da atualização dinâmica da batimetria com as consequentes alterações morfológicas. Para isso utilizou-se modelagem hidro-sedimentológica morfodinâmica, que acopla modelos hidrodinâmico com modelos de transporte de sedimentos finos, ou coesivos, em suspensão.

2. Nos limites demarcados de banimento da pesca na zona estuarina do Rio Doce e zona costeira adjacente à sua foz, cf. Figura 2, determinar valores de persistência de concentrações de sedimentos em suspensão, especificamente oriundos do Rio Doce, acima de 20, 50 e 100 mg/L, durante o período mais crítico, entre 20/11/2015 e 20/03/2016. O conhecimento da persistência de concentrações de sedimentos, permite análises sobre persistência de concentrações de elementos de risco, que possam estar associadas aos sedimentos oriundos da ruptura da barragem da Samarco.

3. Por período estendido até 31/08/2018, avaliar quantitativamente a que distância para o norte a pluma da foz do Rio Doce pode ter sido transportada pelas correntes, e riscos de atingir áreas sensíveis como o arquipélago de Abrolhos, cotejando com a concentração

de sedimentos em suspensão medidas no Rio Doce, nos períodos em que houve transporte da pluma para o norte e para o sul da foz.

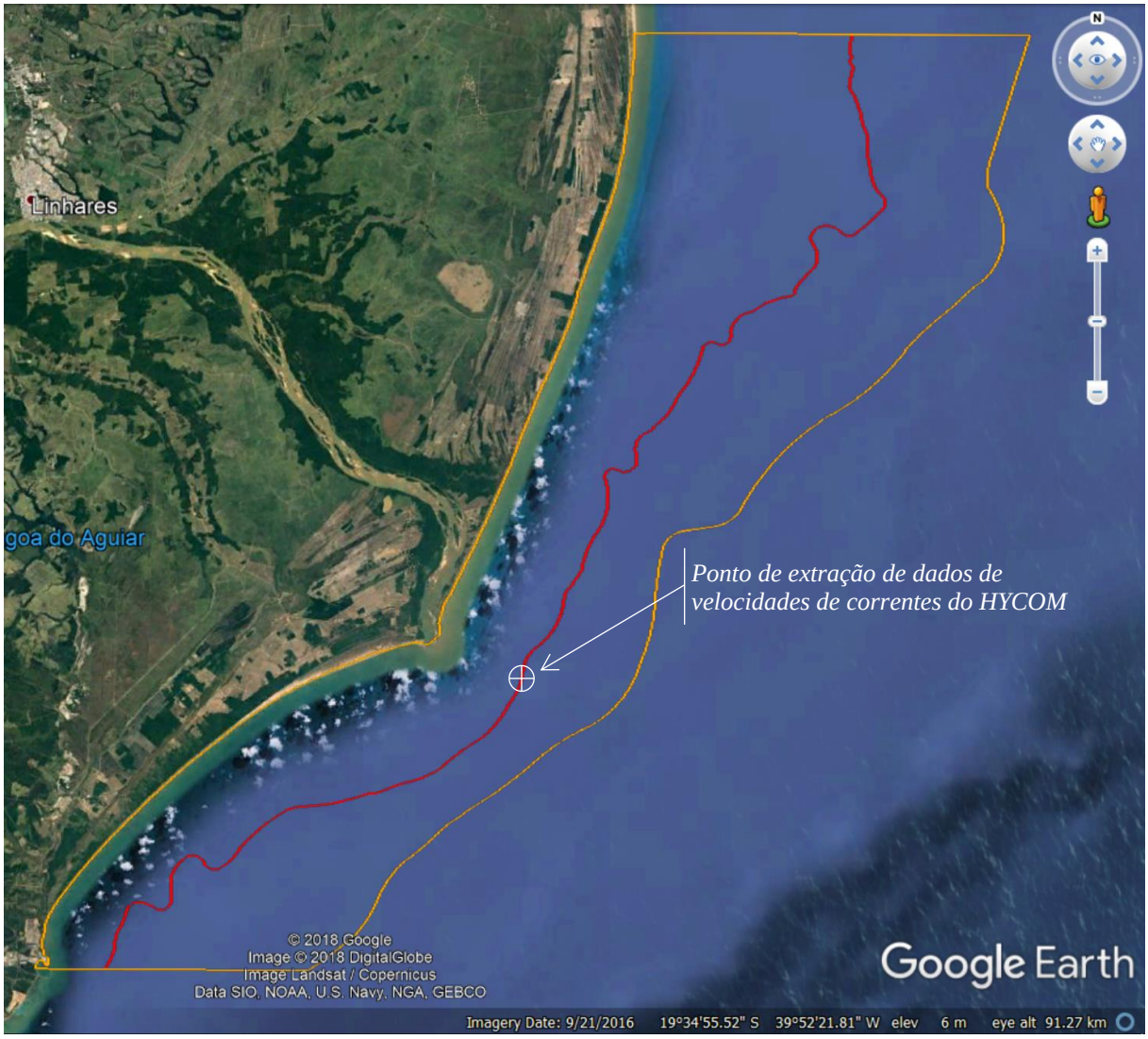


Figura 2 – Imagem mostrando linhas limítrofes da zona de banimento da pesca, que se estende até 45 km para o norte da foz do Rio Doce e até 30 km para o sul da foz. A linha vermelha, interna corresponde à isóbata de 20 m, que limita a zona de banimento da pesca, e a externa amarela à isóbata de 40 m. Na imagem, aparece a cidade de Linhares, que dista cerca de 40 km da foz do Rio Doce. Destaca-se o ponto de extração de dados de velocidades de correntes do HYCOM.

Para extensão do período de avaliação da deriva da pluma até o final de agosto de 2018, extraiu-se dados de velocidades de correntes no ponto indicado na Figura 2. Os dados de correntes médias diárias foram gerados por reanálise no Atlântico Sul através do HYCOM – *Hybrid Coordinate Ocean Model*, para o período de novembro de 2015 a agosto de 2018. O HYCOM representa um consórcio multi-institucional patrocinado pelo *National Ocean Partnership Program* (NOPP) como parte do *U.S.* GODAE – *Global Ocean Data Assimilation Experimet*, que trabalha para o desenvolvimento e avaliação do próprio modelo oceânico HYCOM e seu sistema de assimilação de dados denominado NCODA – *Navy Coupled Ocean Data Assimilation*.

Nas avaliações apresentadas, além de menções aos capítulos 4 e 8 do Relatório Final do Projeto COPPE-20275 intitulado "AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO EM MARIANA NOVE MESES APÓS O DESASTRE", contratado pela Vale S.A à Fundação Coppetec em 08/2016 e findo em 01/2017, inclui-se considerações sobre os seguintes relatórios, listados em data cronológica:

- RT ECV 073-16 - Lev_Abrolhos a Vitoria (leve).pdf, abr/2016, da empresa Ecoconservation, sobre "Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre abrolhos e Vitória".
- 5.RT AMB 075-16.pdf, abr/2016, da empresa Amblev, sobre "Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce".
- DCOM_relatorio_UERJ_versao_final.pdf, mai/2016, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, sobre "Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos."
- RT_011-159-515-2282_00-B.pdf, mai/2016, da empresa Golder Associates, sobre "Análise da ocorrência de deposição de rejeitos oriundos da barragem de fundão no ambiente marinho adjacente ao Rio Doce".
- RT ECV 138-17_Analise_Final_REV00_red.pdf, jun/2017, da empresa Econservation, sobre "Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho".
- 20171123 - Geoquímico Rev Final Desbloqueado.pdf, com planilhas Anexo E_Editável.xlsx, Anexo H_Editável.xlsx e Anexo R_Editável.xlsx, out/2017, da empresa Golder Associates, sobre "Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos".

3 Sumário executivo

Sobre premissas da proibição da pesca:

- Entende-se que a proibição da pesca na zona demarcada na imagem da Figura 2, baseou-se no princípio da precaução, em vista da suposição que a pluma de água barrenta oriunda da ruptura da barragem de Samarco que chegou ao baixo rio Doce, seu estuário e zona costeira adjacente, conteria sedimentos com elementos tóxicos.
- Presume-se que a demarcação se estendeu mais para o norte, 45km, do que para o sul, 30km, pois áreas mais sensíveis ambientalmente estariam para o norte.

Fatos relacionados às premissas:

- No "Capítulo 8 – *Amostragem e Avaliação Físico-Química e Mineralógica de Rejeitos e Sedimentos*" do Relatório Final do Projeto COPPE-20275 intitulado "AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO EM MARIANA NOVE MESES APÓS O DESASTRE", contratado pela Vale S.A à Fundação Coppetec em 08/2016 e findo em 01/2017, apresentam-se detalhadas análises sobre composição química de sedimentos colhidos ao longo de 680 km, desde o local da ruptura da barragem da Samarco até a foz do Rio Doce. A imagem abaixo ilustra os locais de coleta de cerca de 200 amostras, com os cuidados de em cada local coletar amostras em diferentes pontos, e sempre que possível uma que representasse condições naturais não impactadas, para contrapova.

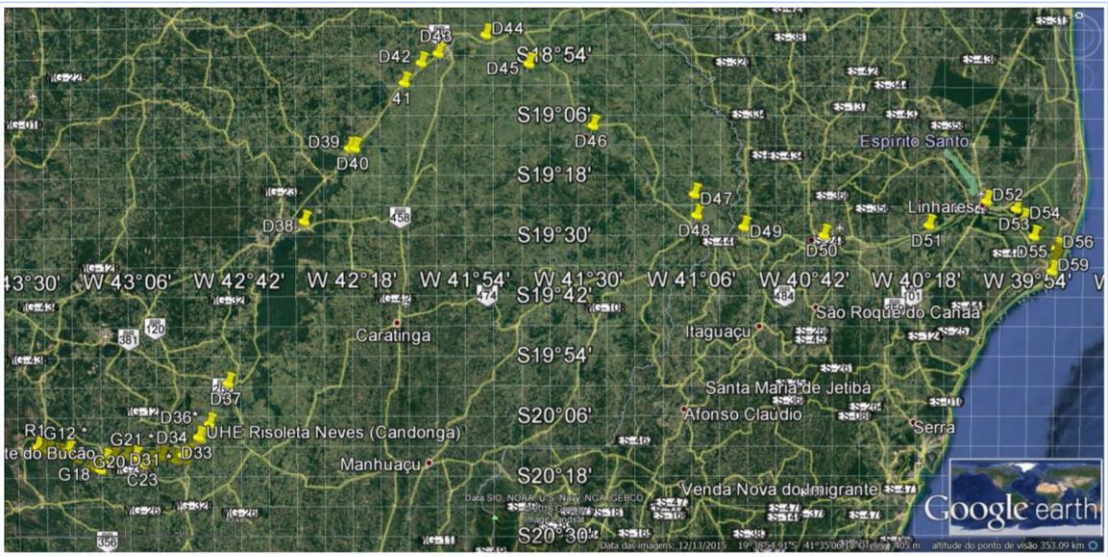


Figura 8. 5 Mapa Geral com Pontos de Amostragem

O resumo das conclusões de tal estudo foi: "*...metais pesados presentes nos rejeitos de Santarém e nos sedimentos não representam riscos à contaminação ambiental*."

- O documento 20171123 - Geoquímico Rev Final Desbloqueado.pdf, out/2017, da empresa Golder Associates, sobre "Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos", apresenta amplas análises, que são consonantes com os resultados do trabalho da Coppe/UFRJ acima mencionado. Em suas conclusões no Capítulo 11, os

analistas da Golder Associates constatam que não foram encontrados fatores que representem riscos ambientais relevantes, no que tange à presença de metais ou elementos tóxicos. Como exemplo destaca-se dois pontos:

- A qualidade da água do rio é controlada pelo comportamento de dissolução/sorção dos solos/sedimentos naturais. Os rejeitos não são uma fonte significativa de mobilização adicional de metais.
- Tendo como base uma avaliação formal de perigo e uma avaliação qualitativa em nível de triagem, a mobilização de metais dos rejeitos não constitui uma preocupação do ponto de vista biogeoquímico.

- As análises apresentadas neste relatório mostram que a pluma de sedimentos provindos do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão chega até a região costeira e tende a ser transportada predominantemente para sul da foz do Rio Doce. Esse comportamento é devido às correntes costeiras da região serem fortemente influenciadas pelos ventos. Como os ventos reinantes na região são de quadrante nordeste, as correntes induzidas vão usualmente em direção ao sul, causando o transporte predominante da pluma para sul.
- Com relação aos impactos na qualidade da água devido às concentrações de sedimentos em suspensão, levando em consideração os dados disponibilizados de sedimentos suspensos totais, SST, observou-se que concentrações mais elevadas, > 500 mg/L, ficaram restritas à região fluvial e estuarina do Rio Doce e à região costeira vizinha à embocadura, até cerca de 5 km, chegando até as proximidades do litoral da cidade de Regência. Entretanto, a partir do mês de abril, as concentrações registradas em Linhares, que chegaram à foz do Rio Doce, permaneceram em valores baixos, menores que 20 mg/L, o que presumivelmente não causa impactos significativos na qualidade da água, por ser valor até abaixo do usual em rios naturais.
- Como se vê a partir da página 48 nos mapas de isolinhas de ocorrência de concentrações acima de 20, 50 e 100 mg/L, respectivamente apresentados na Figura 29, Figura 30 e Figura 31,
- Durante passagem de frentes frias, que trazem ventos de quadrante sudeste, há períodos com correntes que vão para norte. Tais padrões persistem por poucos dias, e nesse intervalo a pluma de sedimentos da foz do Rio Doce é transportada para o norte.
- A análise de deriva da pluma por período estendido até 31/08/2018, conforme apresentado na seção 4.5.2, corrobora e sustenta os resultados prévios. Há consonância entre as análises apresentadas e os documentos analisados.
- A análise feita mostra que é muito pequena a possibilidade da pluma de sedimentos do Rio Doce migrar para norte por tempo suficiente para atingir o arquipélago de Abrolho, que fica a mais de 200 km para o norte da foz. E, mesmo que eventualmente aconteça um transporte persistente para o norte por muitos dias, de modo a levar a pluma até Abrolhos, a concentração de sedimentos na pluma diluída que lá chegasse seria insignificante.
- A este respeito, a máxima deriva da pluma para norte foi estimada em 150km, na segunda semana de junho de 2016, portanto distante ainda cerca de 70km do arquipélago de Abrolhos. Ainda assim, neste período de 8 a 17/06/2016, as concentrações de sedimentos finos em suspensão que saíram da foz foram inferiores a 15 mg/L, valor já muito

baixo para impacto relevante. Considerando ainda efeitos de diluição na zona costeira, a menos de 20 km para norte da foz as concentrações já seriam irrelevantes.

Tudo considerado, conclui-se que a sustentação do banimento da pesca carece de fundamentos.

4 Sobre a modelagem computacional

Os modelos utilizados no desenvolvimento dos trabalhos fazem parte do **SisBaHiA® - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental.** O SisBaHiA® é um sistema profissional de modelos computacionais registrado pela Fundação Coppetec, órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa da COPPE/UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A Figura 3 mostra a tela de abertura do sistema, com o projeto analisado neste relatório ativado. A seguir descreve-se as principais características do sistema.

Figura 3 – Tela de abertura do sistema de modelos utilizado para suporte às análises do trabalho desenvolvido. Maiores informações em www.sisbahia.coppe.ufrj.br.

Novas versões do SisBaHiA® têm sido continuamente implementadas na COPPE/UFRJ desde 1987, com ampliações de escopo e aperfeiçoamentos feitos através de várias teses de mestrado e doutorado, além de projetos de pesquisa. O sistema tem sido adotado em dezenas de estudos e projetos contratados à Fundação Coppetec envolvendo modelagem de corpos de água naturais. Maiores detalhes técnicos sobre o SisBaHiA® podem ser obtidos em consulta à página www.sisbahia.coppe.ufrj.br. Em linhas gerais, na versão atual, o SisBaHiA® contém:

i. **Modelagem Digital do Terreno**: no módulo Malhas e Domínios de Modelagem há muitas ferramentas para modelagem digital do terreno de interesse. Na tela "Visualiza" há ferramentas diversas para importar mapas e linhas de contorno de terra e de água de mapas, definir contornos de modelagem, gerar e editar malhas de elementos finitos triangulares e quadrangulares. O SisBaHiA® opera com coordenadas geográficas, longitudes e latitudes em graus decimais, ou métricas UTM, opera também com coordenadas métricas locais. Há várias ferramentas para interpolação de batimetria e dados de rugosidade equivalente do fundo, etc.

ii. **Modelos Hidrodinâmicos**: são modelos de circulação hidrodinâmica 3D ou 2DH otimizados para corpos de água naturais. Resultados podem ser tanto 3D quanto 2DH, dependendo dos dados de entrada. Otimizado é usado no sentido de um modelo planejado para ótima representação de escoamentos em domínios naturais com geometria complexa. Processos de calibração são minimizados devido a fatores como: discretização espacial via elementos finitos quadráticos e transformação s, permitindo ótimo mapeamento de corpos de água com linhas de costa e batimetrias complexas, campos de vento e atrito do fundo podendo variar dinamicamente no tempo e no espaço, e modelagem de turbulência multiescala baseada em Simulação de Grandes Vórtices (*ES*). Pode-se incluir efeitos de gradientes de densidade acoplando modelos de transporte de sal e calor dos Modelos de Qualidade de Água a modelos hidrodinâmicos. Pode-se também incluir evolução morfológica do fundo, com acoplamento de Modelos de Transporte de Sedimentos, de Geração e de Propagação de Ondas descritos abaixo. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.

iii. **Modelos de Transporte de Sedimentos Coesivos e Não Coesivos e Evolução Morfológica do Fundo**: trata-se de modelos que computam transporte de sedimentos e taxas de erosão e sedimentação no fundo. O usuário pode prescrever curvas granulométricas e estoques de sedimentos erodíveis diferentes em qualquer ponto da região modelada. Pode funcionar dinamicamente acoplado a um modelo hidrodinâmico, permitindo assim realizar estudos de evolução morfológica de fundo. Para sedimentos não coesivos, o modelo permite múltiplas opções de formulações de transporte de arraste: Van Rijn (1984), Meyer-Peter Müller, Nielsen, Madsen, Yalin; bem como de transporte total (arraste e suspensão: Ackers & White, Engelund-Hansen e Van Rijn(2007). Outras formulações podem ser incluídas. Pode funcionar também de modo desacoplado, apenas para estimação de vazões sólidas. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.

iv. **Modelos de Qualidade de Água e Eutrofização**: trata-se de um conjunto de modelos de transporte Euleriano, para simulação acoplada de até 11 parâmetros de qualidade de água e indicadores de eutrofização: sal, temperatura, OD-DBO, nutrientes compostos de nitrogênio e de fósforo e biomassa. Tais modelos podem ser aplicados para escoamentos 2DH, ou em camadas selecionadas de escoamentos 3D. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.

v. **Modelos de Transporte Euleriano**: são modelos de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas de escalares dissolvidos ou partículas em suspensão na massa d'água. Os modelos podem ser aplicados a escoamentos 2DH, ou em camadas selecionadas de escoamentos 3D. Permitem a utilização de praticamente qualquer tipo de reação cinética de decaimento ou produção do contaminante sendo modelado, inclusive através de curvas de decaimento fornecidas através de tabelas e valores. Pode-se também simular processos de perda ou ganho de massa por sedimentação e erosão. Este modelo opera o transporte de sedimentos coesivos com evolução morfológica do fundo. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.

vi. **Modelo de Transporte Lagrangeano - Determinístico**: é um modelo de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas, para camadas selecionadas de escoamentos 3D ou 2DH. Este modelo é especialmente adequado para simulações de vários tipos de problemas, por exemplo:

- Plumas de emissários ou pontos de lançamento de efluentes ao longo da costa. Permite a simulação de plumas de esgoto com vazões variáveis e taxas de decaimento (T_{90}) variáveis de acordo com época do ano, horas do dia, condições de cobertura de nuvens, etc.
- Derrames de óleo, instantâneos ou por período definido. No caso o modelo pode seguir as mesmas curvas de balanço de massa do $ADIOS_2$, e pode incluir efeitos da dinâmica de Fay na fase inicial do derrame. Pode incluir efeitos de barreiras fixas ou móveis e remoção de óleo por sugadores.

- Mistura de massas de água, tempos de troca e renovação de massas de água entre diferentes setores de um corpo de água.
- Transporte de detritos flutuantes, inclusive óleos e graxas.
- Determinação de tempos de residência em corpos de água naturais, permitindo obter mapas de isolinhas de tempos de residência em diferentes setores de corpos de água com geometria complexa.
- Determinação de tendências de deriva de sedimentos, substâncias dissolvidas ou particulados flutuantes.
- Determinação de correntes residuais lagrangeanas.
- Estudos de dragagens, com determinação de plumas no sítio de dragagem e em locais de bota fora.
- Determinação de massa e altura de material sedimentado, por exemplo, em bota fora de dragagens.
- O modelo permite optar por transporte livre ou condicionado. Modelagens com transporte condicionado são especialmente úteis em análises de processos sedimentológicos. O transporte pode ser condicionado por valores mínimos de velocidade, ou de tensão no fundo exercida só por correntes, ou de tensão no fundo exercida conjuntamente por ondas e correntes.
- O Modelo Lagrangeano permite a utilização de praticamente qualquer tipo de reação cinética de decaimento ou produção do contaminante sendo modelado, inclusive através de curvas de decaimento fornecidas através de tabelas e valores. Pode-se também simular processos de perda de massa por sedimentação.

vii. **Modelo de Transporte Lagrangeano - Probabilístico**: acoplado ao modelo anterior, permite obtenção de resultados probabilísticos computados a partir de *N* eventos ou de resultados ao longo de um período de tempo *T*. Exemplos de resultados: probabilidade de toque no litoral, probabilidade de passagem (ou de visita) de manchas ou plumas contaminante, probabilidade de passagem de manchas ou plumas com concentração acima de um valor limite, probabilidade de passagem com tempo de vida inferior a um limite dado, etc.

viii. **Modelo de Campo Próximo e Decaimento Bacteriano para Emissários e Fontes Pontuais:** este módulo está inserido no bloco de Modelo de Transporte Lagrangeano e funciona acoplado a um modelo hidrodinâmico. O modelo considera as características geométricas de linhas difusoras, perfis verticais variáveis de densidade no meio receptor, turbidez variável da água no cálculo da incidência de radiação solar. A radiação solar é computada em função da latitude e longitude da localidade, variando a partir da data e hora de início da simulação, com variação de cobertura de nuvem, etc. No caso de análises de balneabilidade, o modelo de decaimento bacteriano aceita diferentes tipos de bactéria, tais como coliformes termotolerantes, *escherichia colli* e *enterococcus*, além de curvas de decaimento prescritas pelo usuário.

ix. **Modelo de Geração de Ondas**: é um modelo para geração de ondas por campos de vento permanentes ou variáveis. O modelo determina se a geração de ondas será limitada pela pista ou pela duração do vento. O modelo permite calcular, ao longo do tempo, a distribuição espacial no domínio de parâmetros do clima de ondas gerado tais como: alturas significativas e médias quadráticas, períodos de pico, velocidades orbitais e tensões oscilatórias no fundo devido a ondas, etc.

x. **Modelo de Propagação de Ondas**: trata-se de um programa de propagação de ondas monocromáticas, ou espectros de ondas, com efeitos de refração, difração, dissipação e arrebentação. O programa implementado no SisBaHiA® é similar ao conhecido REFDIF. Há amplas possibilidades de analisar resultados em forma de mapas e gráficos. Pode funcionar acoplado a modelos hidrodinâmico e de transporte de sedimentos.

xi. **Módulo de Análise & Previsão de Marés**: através deste módulo pode-se realizar análises harmônicas de registros de níveis ou correntes para obtenção das constantes. Com o módulo de Previsão, fornecendo as constantes harmônicas de níveis ou de correntes, faz-se previsões de valores em séries temporais a intervalos definidos pelo usuário, bem como de séries de máximos e mínimos entre uma data inicial e uma final especificadas pelo usuário. Os algoritmos de Análise e Previsão adotados são os mesmos empregados pelo *The Global Sea Level Observing System* (GLOSS), que é um projeto internacional patrocinado pela *Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology* (JCOMM), *World Meteorological Organisation* (WMO) e pela *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC).

xii. **Ferramentas diversas -** tais como:
- Gerente de Animações: produz animações mostrando os resultados em forma dinâmica de todos os modelos.
- Inquiridor de banco de dados: para buscar informações na base de dados dos modelos desenvolvidos através de ferramenta de consulta, integrada na interface, programável em SQL.
- Conversor de tempo entre dados: a partir de uma série temporal com dados em intervalos diversos, produz outra série com dados em intervalo T definido pelo usuário com variados métodos de interpolação.
- Várias ferramentas para tratamento de dados de vento.
- Várias ferramentas para tratamento de dados espaciais e temporais.
- Filtros para dados espaciais e temporais.

- Cópia de malhas e modelos, mudança de escala, etc.

xiii. **Interface de trabalho:** Todos os modelos são integrados em uma interface de trabalho amigável, com ajuda contextual em todos os campos. Inúmeros tipos de saídas gráficas, **inclusive animações**, podem ser geradas, mesmo com modelos ainda rodando. Várias ferramentas de geração e edição de malha são disponíveis na interface. A interface interage diretamente com os seguintes programas comerciais:

a) ***Grapher* e *Surfer***: programas usados pelo SisBaHiA® para apresentação de resultados em gráficos e mapas. O SisBaHiA® funciona melhor com as últimas versões do *Grapher* e do *Surfer*. As versões anteriores destes programas também funcionam, mas podem ocorrer imperfeições em alguns casos. Em www.goldensoftware.com pode-se ter maiores detalhes sobre os programas, pode-se baixar versões demo que funcionam com limitações.

b) **Geradores de malha:** embora o SisBaHiA® tenha seu próprio gerador e muitas ferramentas de edição de malha, programas como o *Argus One* para geração e edição de malhas de elementos finitos produzem arquivos que podem ser diretamente importáveis pelo SisBaHiA®. Para detalhes sobre o *Argus One* acesse www.argusone.com. Este é um dos possíveis geradores de malhas que operam com o SisBaHiA®.

xiv. **manual de uso:** O SisBaHiA® dispõe de um detalhado manual de uso, mostrando passo a passo como desenvolver malhas e modelos. O manual está continuamente sendo ampliado, e pode ser consultado diretamente pela Internet em www.sisbahia.coppe.ufrj.br, ou em www.oceanica.ufrj.br/sisbahia/

Neste trabalho, foram utilizados os módulos i, ii, iii, ix, xi, xii e xiii.

4.1 Formulação e confiabilidade dos modelos

Amplos detalhes técnicos sobre o funcionamento do SisBaHiA® podem ser vistos através da Internet na página www.sisbahia.coppe.ufrj.br. Uma vez na página, no item "O que é?", encontra-se uma descrição geral do sistema, que inclui o subtítulo "Atributos do SisBaHiA®", onde se discute a confiabilidade geral dos modelos. No item "Referência Técnica", baixa-se a documentação técnica, com amplos detalhes da formulação matemática e numérica dos modelos do sistema.

A confiabilidade dos modelos também pode ser inferida pela ampla lista de projetos já executados com o sistema, veja o item "Aplicações-Projetos" em www.sisbahia.coppe.ufrj.br. Enfatiza-se as várias aplicações já feitas para a região da Baía de Vitória. Dentre os quais destacam-se aplicações dos modelos do SisBaHiA® no Projeto de Gerenciamento da Poluição Costeira e de Águas do Estado do Espírito Santo - Projeto Águas-Limpas (ref. Projeto BIRD 7248 – BR - SPD 002/2006). O SisBaHiA® foi implementado na CESAN e no sistema SEAMA/IEMA para atender às demandas de "MODELAGEM HIDRODINÂMICA AMBIENTAL DA BAÍA DE VITÓRIA, SISTEMA COSTEIRO E RIOS DA REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DO PROJETO ÁGUAS LIMPAS DO GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO". Ref. PENO-8929 Consórcio Coppetec-FEST, de 12/2006 a 06/2008.

Há também trabalhos desenvolvidos envolvendo o Rio Doce, em parceria com pesquisadores da UFES, além do realizado em 2016 para a Vale S.A., conforme descrito na "Nota" na seção 2 deste relatório, e que é adaptado neste trabalho.

4.1.1 Sobre desenvolvimento dos modelos

A estratégia geral do SisBaHiA® é fundamentada em bases de dados, e objetiva dar confiabilidade e facilidade de manipulação de dados e resultados aos usuários. O SisBaHiA® adota um sistema de base de dados, no qual cadastros em níveis de maior número são vinculados aos de menor, conforme indica o quadro na Figura 4.

1. **Base de Dados Selecionada:** seleciona-se a Base de Dados pertinente ao caso de interesse através da interface do SisBaHiA® dentre as muitas que podem ter sido criadas. Novas bases podem ser facilmente criadas quando necessário pela interface do SisBaHiA®.

2. **Projeto de Modelagem Selecionado:** seleciona-se através da interface do SisBaHiA® o Projeto de Modelagem desejado dentre os muitos que podem ter sido criados na Base de Dados Selecionada. Novos Projetos de Modelagem podem ser facilmente criados e inseridos na Base de Dados Selecionada, através da interface do SisBaHiA®.

3. **Domínio & Malha Selecionado:** seleciona-se diretamente na interface do SisBaHiA® o domínio e respectiva malha de discretização desejados dentre os muitos que podem ter sido criados dentro do Projeto de Modelagem Selecionado. Novos Domínios & Malhas podem ser implementados quando necessário através da interface do SisBaHiA®, e ferramentas de discretização associadas.

4. **Modelo Hidrodinâmico e Modelo de Geração de Ondas Selecionado:** seleciona-se diretamente através da interface do SisBaHiA® o Modelo Hidrodinâmico ou o Modelo de Geração de Ondas representativo do cenário de interesse, dentre os muitos que podem ter sido montados e associados com o Domínio & Malha de interesse. Cada cenário de interesse com suas condições de contorno e forçantes próprios terá seu respectivo modelo hidrodinâmico e modelo de geração de ondas. A mesma malha de um domínio pode ser usada para tantos modelos hidrodinâmicos 2DH ou 3D, ou modelos de geração de ondas que se queira montar. Novos modelos hidrodinâmicos ou de geração de ondas associados a qualquer Domínio& Malha existentes podem ser facilmente criados e montados quando necessário através da interface do SisBaHiA®.

5. **Modelo de Transporte Selecionado:** selecionados dentre os muitos que podem ter sido montados e associados com um Modelo Hidrodinâmico Selecionado. Novos modelos de transporte podem ser facilmente criados e montados quando necessário, via interface do SisBaHiA®. O SisBaHiA® oferece os seguintes tipos de modelos de transporte:

   i. Modelo de Transporte Euleriano para escalar genérico.

   ii. Modelos de Qualidade de Água, i.e., modelos de transporte Euleriano interligados para escalares representando de parâmetros de qualidade de água com reações cinéticas com sinergia. No caso, os modelos de transporte de sal e calor podem funcionar acoplados a modelos hidrodinâmicos dependendo se gradientes baroclínicos são considerados.

   iii. Modelos de Transporte Lagrangeano determinísticos e probabilísticos.

   iv. Modelos de Transporte de Sedimentos que podem funcionar acoplados ou não a modelos hidrodinâmicos. Modelos acoplados permitem análises de evolução morfodinâmica de batimetria e margens. Curvas granulométricas podem ser dadas para diferentes locais.

3'. **Modelo de Propagação de Ondas:** seleciona-se diretamente na interface do SisBaHiA® o modelo de propagação de ondas desejado. Por usar discretização automática via grade de diferenças finitas, a partir do nível 2, tal modelo segue outra linha de hierarquia, por isso aparece como nível 3'. Novos Modelos de Propagação de Ondas podem ser implementados quando necessário através da interface do SisBaHiA®, e ferramentas de discretização associadas.

Figura 4 – Diagrama de vinculação hierárquica de base de dados, projetos e modelos no SisBaHiA®.

A estrutura de base de dados explicita a interdependência existente entre malhas e modelos associados. Fica claro assim porque a solicitação de simulação de um novo caso de transporte de um escalar, por vezes, pode requerer muito trabalho prévio, e.g., uma nova modelagem hidrodinâmica ou até o desenvolvimento de uma nova malha. Como se vê na estrutura descrita acima, os modelos de transporte estão no último nível na hierarquia de modelagem, e o volume de trabalho aumenta com a necessidade de incluir desenvolvimentos nos níveis anteriores.

4.1.2 Sobre calibração dos modelos

A confirmação de que os modelos representam os fenômenos que ocorrem na natureza é obtida através de métodos de validação e calibração. Em tais métodos se compara, através de um processo interativo seguido de ajustes, valores medidos e valores computados. A seção 9 “Sobre

calibração e validação de modelos" da Referência Técnica do SisBaHiA® apresenta detalhes técnicos sobre procedimentos de calibração de modelos.

Destaca-se que, mesmo quando não se dispõe de dados medidos na forma ideal para permitir a realização de um procedimento abrangente de calibração, os modelos do SisBaHiA® tem mecanismos de auto calibração que permitem obtenção de resultados confiáveis. Porém, deve-se enfatizar que a confiabilidade depende fortemente da validade dos dados de entrada. Tipicamente na utilização do SisBaHiA® obtêm-se:

- Coerências entre valores de mapas e levantamentos de campo e valores representados nos modelos para geometria de linha de costa e batimetria dependem apenas no nível de detalhamento requerido, podendo passar de 95%.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de níveis de água são em geral melhores que 90% mesmo sem calibração. Após calibração é usual que sejam superiores a 95%.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de velocidade e direção de correntes são usualmente melhores que 70% mesmo sem calibração. Após calibração é comum se atingir coerências superiores a 90%.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de concentração de contaminantes ou parâmetros de qualidade de água são semelhantes às verificadas para velocidade e direção de correntes. Como os modelos de transporte de contaminantes recebem como dados de entradas os resultados de níveis e correntes dos modelos hidrodinâmicos, a confiabilidade dos modelos de transporte é intrinsecamente função da qualidade dos resultados hidrodinâmicos.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de processos sedimentológicos, i.e., taxas de erosão transporte e deposição, com evolução morfodinâmica de batimetria, dependem do tipo de formulação de transporte de sedimentos adotada, e da correta informação sobre a distribuição granulométrica e de estoques erodíveis de sedimentos no corpo de água de interesse.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de ondas propagadas do largo para regiões costeiras são iguais às obtidas por modelos similares. O algoritmo de modelagem de propagação de ondas no SisBaHiA® é o mesmo do amplamente utilizado modelo REFDIF. Veja por exemplo: *Coastal Engineering Manual*, Part II - Chapter 3 – *Estimation of Near Shore Waves*, seção II-3-5 *Advanced Propagation Methods*, que pode ser baixado de http://chl.erdc.usace.army.mil/cem.

Para atingir tais coerências é necessário atender aos seguintes requisitos:

- Garantir que a geometria do corpo de água implementada no sistema de modelos esteja correta e seja condizente com a existente na época de medição de níveis e correntes. Discrepâncias em dados de batimetria e contornos são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados. Valores locais de correntes e ondas são muito influenciados pela batimetria.
- Garantir que os forçantes dos escoamentos, e.g. curvas de maré, ventos e vazões fluviais, estejam corretamente implementados no sistema de modelos, e sejam condizentes com os existentes na época de medição de níveis e correntes. Erros na especificação dos forçantes dos escoamentos são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados.

- Garantir que as intensidades das fontes contaminantes e os parâmetros das reações cinéticas tenham sido corretamente fornecidos ao sistema de modelos, e sejam condizentes com os existentes na época de medição de concentrações. Erros na especificação de intensidades de fontes e parâmetros de reações cinéticas são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados.
- No caso de modelos de processos sedimentológicos, garantir que a caracterização do fundo, com granulometria, massa específica e espessuras de erosão sejam realistas. Erros na especificação de variáveis sedimentológicas são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados.

Em resumo, a calibração de modelos de hidrodinâmica ambiental é um processo que deve obedecer à seguinte ordem:

Nível 1. **Calibração geométrica**: aferir se a modelagem digital do terreno do domínio de modelagem, feita através da malha de discretização, representa adequadamente os contornos e a batimetria da região de interesse. Para isso, deve haver dados batimétricos e levantamentos topohidrográficos condizentes com as necessidades.

Nível 2. **Calibração hidrodinâmica e sedimentológica**: aferir se os modelos hidrodinâmicos representam adequadamente a variação de níveis de água e correntes na região de interesse, sob diferentes condições, e.g., marés de sizígia e de quadratura, ventos e vazões. Para isso é necessário que, além da boa modelagem digital do terreno, haja informações corretas sobre os forçantes da circulação hidrodinâmica, tais como ventos, marés e vazões afluentes. No caso de modelos com evolução morfodinâmica de batimetria, estende-se os requerimentos à correta caracterização dos sedimentos da área de estudos, bem como estoques erodíveis, e à criteriosa seleção de formulação de transporte de sedimentos a ser adotada.

Nível 3. **Calibração de qualidade de água**: aferir se os modelos de transporte de escalares, usando as correntes e níveis dos modelos hidrodinâmicos, são capazes de representar adequadamente as concentrações de parâmetros de qualidade de água ao longo do tempo. Para isso, é necessário que, além das correntes e níveis, haja informações corretas sobre fontes poluentes e sobre taxas de reação de parâmetros não conservativos, e.g. OD, DBO e coliformes termotolerantes.

Não é razoável querer obter uma boa calibração Nível 3 sem previamente obter uma boa calibração Nível 2, que por sua vez depende da calibração Nível 1.

4.2 Cenário e dados utilizados nas modelagens

Para este trabalho, foi simulada a passagem da onda de sedimentos em suspensão pelo estuário e zona costeira adjacente. O cenário de simulação compreende um período de quatro meses, a partir da chegada da lama, oriunda do acidente, na zona estuarina, indo de 20/11/2015 até 20/03/2016. Para tanto, foram utilizados os modelos hidrodinâmico e de transporte de sedimentos coesivos.

Na simulação desenvolvida considerou-se exclusivamente a carga de sedimentos em suspensão provenientes Rio Doce, de modo a melhor destacar os efeitos do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Assim, a condição inicial do modelo de sedimentos foi de concentrações em suspensão e estoque de sedimentos no fundo iguais a zero. Dessa forma é possível avaliar

qual é o impacto adicional causado exclusivamente pelo acidente, na qualidade da água no estuário do Rio Doce e zona costeira adjacente. A seção 5 deste relatório apresenta com maiores detalhes as condicionantes e os parâmetros adotados no modelo de sedimentos coesivos.

Descreve-se a seguir os dados utilizados nas modelagens, incluindo domínio de modelagem, malha de discretização, batimetria, vazão fluvial, carga de sedimentos afluentes, caracterização física dos sedimentos afluentes, níveis de maré e ventos.

4.2.1 Domínios considerados com dados de batimetria e linha de orla

Os contornos das margens do estuário do Rio Doce, as linhas de orla e os bancos de sedimentos foram atualizados através de imagens georreferenciadas do Google Earth, por serem mais atuais que as disponíveis em cartas náuticas. Pela análise das imagens não foram identificadas vegetações representativas de manguezais.

As informações relativas à batimetria utilizada neste estudo foram obtidas de duas fontes. A primeira, referente a toda região do rio Doce dentro do domínio de modelagem, foi obtida de dados fornecidos pelo projeto Modelagem Computacional da Captação de Água e Descarte de Efluentes do Complexo Gás-Químico UFN-IV no Rio Doce (ES), feito em parceria com a UFES – FEST, sob coordenação do Professor Daniel Rigo. Este Projeto será aqui designado como UFES-FEST-PENO-3570. Tais medições da cota do fundo do rio foram realizadas de 01/06/2011 a 10/06/2011 e apresentam um alto nível de detalhamento, possibilitando uma boa caracterização dos bancos existentes. Comparações deste trecho do rio Doce com imagens mais atuais disponíveis no Google Earth mostram que a posição de bancos de sedimentos e ilhas não mudou de modo relevante de 2011 para 2015. Portanto, os dados de 2011 são adequados.

A segunda fonte, referente à região de mar aberto, foi obtida através das seguintes cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil – DHN:

- 1300 DA PONTA CUMURUXATIBA AO RIO DOCE;
- 1401 DO RIO DOCE AO CABO DE SÃO TOMÉ.

Todos os dados de batimetria foram referenciados à cota do IBGE (Datum Imbituba). A Figura 5 mostra o domínio de modelagem hidro-sedimentológica com mapa de isolinhas de batimetria e linhas de orla consideradas. Usa-se o negativo da cota para evidenciar as profundidades relativas ao Datum Imbituba. Pontos com batimetria negativa têm cota de fundo acima do Datum Imbituba.

O nível médio do mar (NMM) local está na cota –0,3 m em relação ao Datum Imbituba. No mapa, buscou-se dar início à coloração azul na cota –0,3 m, ou seja, na altura do nível médio do mar. É notável o elevado gradiente batimétrico no Rio Doce. Consequentemente o rio sofre pouca influência da maré, limitando a região estuarina às proximidades da foz.

A Figura 6 apresenta em maiores detalhes a região fluvial e estuarina do Rio Doce no instante inicial da simulação, quando estavam presentes duas barras na embocadura do estuário, que são consequência da forte estiagem pela qual o Rio Doce se encontrava no período próximo ao acidente, e do transporte litorâneo da região. Destaca-se que durante o período de simulação, cerca de dois meses após o acidente, houve um significativo aumento das vazões no Rio Doce,

que provocaram a ruptura parcial da barra localizada mais ao sul da foz, modificando a embocadura do estuário. Esse fenômeno está representado no modelo. É também possível observar os bancos de sedimentos ao longo do percurso do rio. Os bancos representados em coloração mais escura são bancos de sedimentos que se encontram emersos em grande parte do tempo nas condições típicas de vazões do Rio Doce, já os bancos representados em coloração esmaecida representam bancos de sedimentos submersos, que somente se tornam emersos em situações de baixas vazões no Rio Doce ou em situações de baixa-mares de sizígia mais intensas.

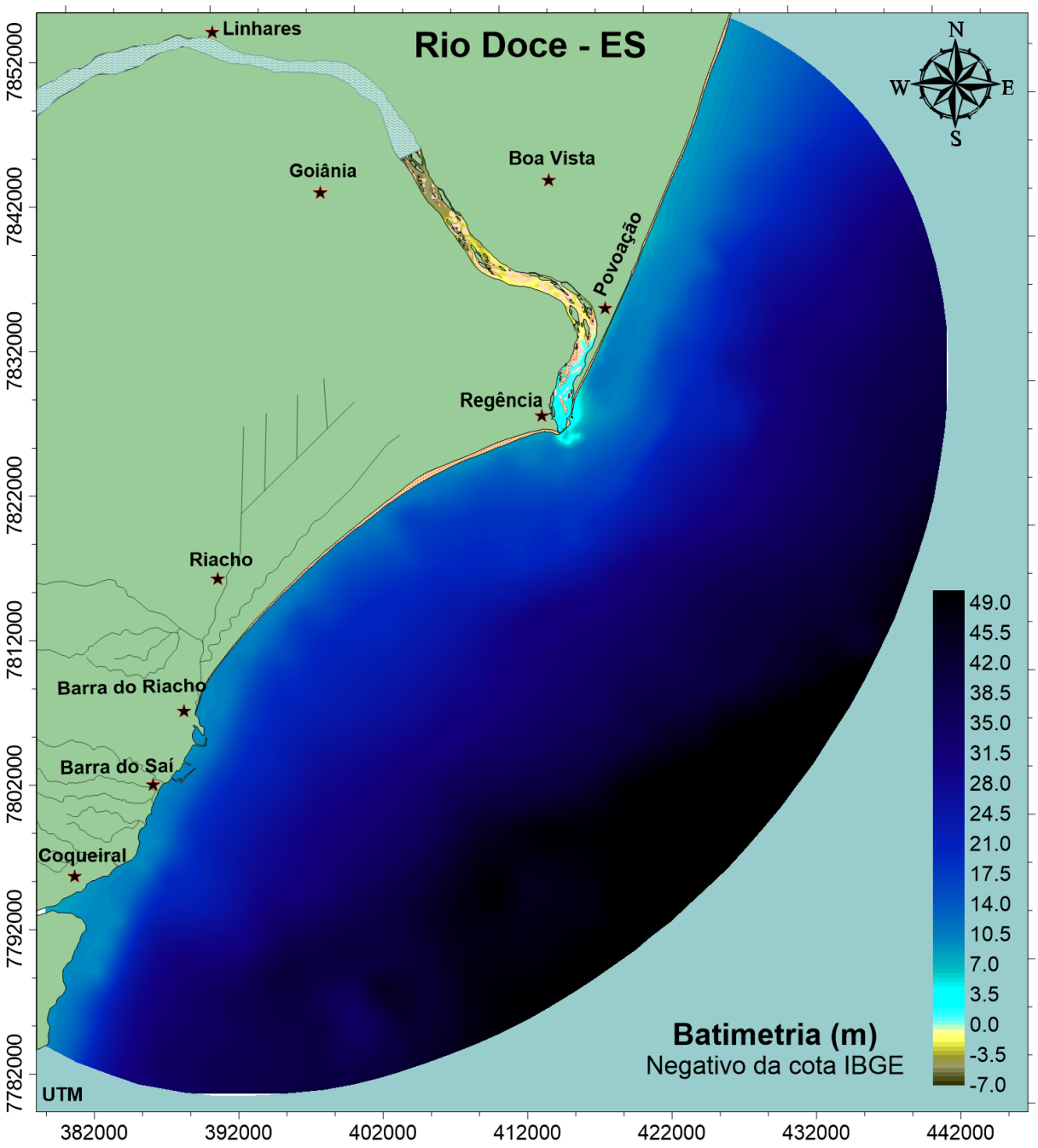


Figura 5 – Resultado da modelagem digital do terreno, mostrando linha de orla e isolinhas de batimetria como vista pelo modelo implementado, no instante inicial da simulação.

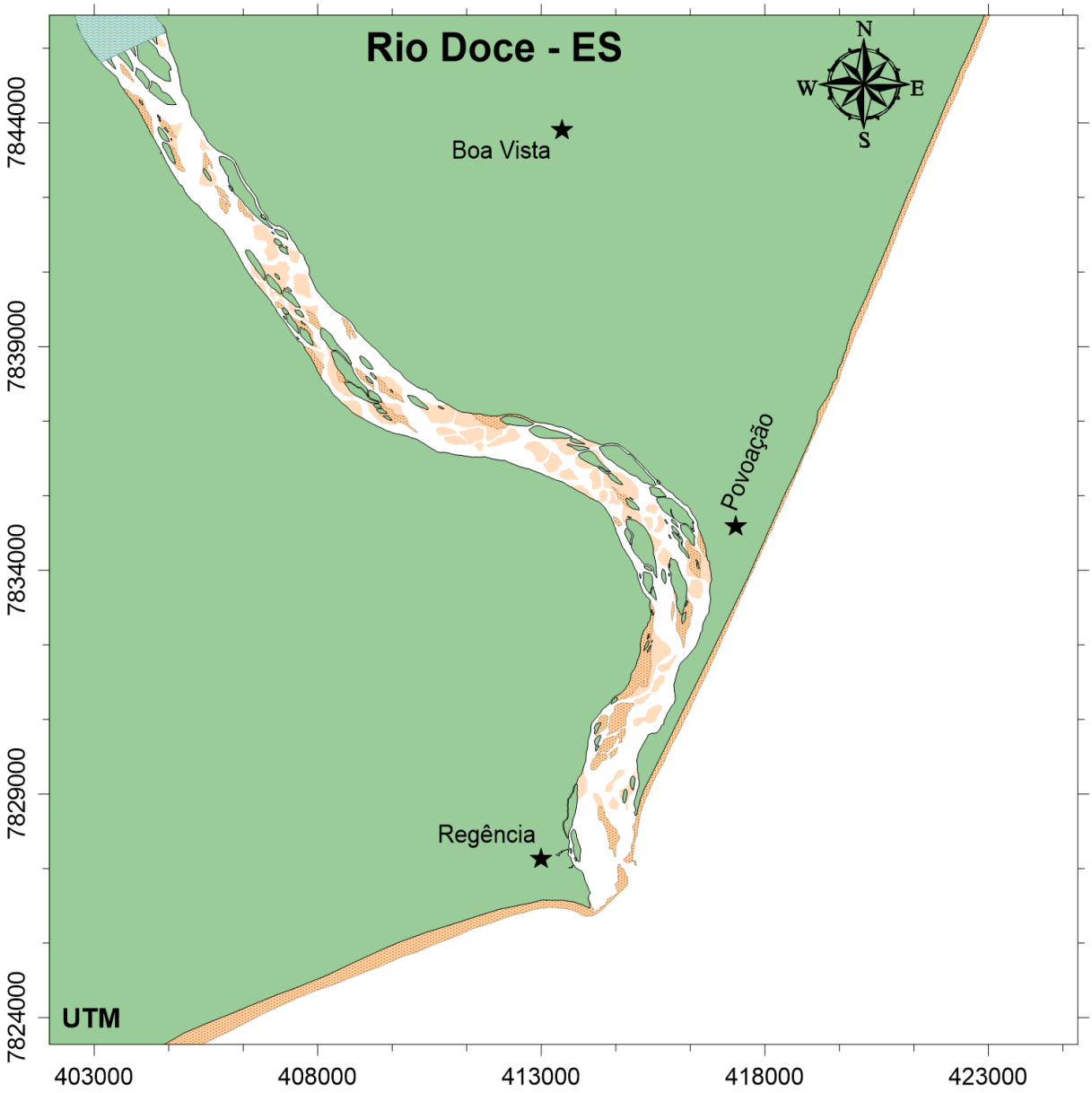


Figura 6 – Detalhamento da região fluvial e estuarina do Rio Doce no momento inicial da simulação. É possível observar a formação de duas barras na embocadura do estuário, bem como o mapeamento dos bancos de sedimentos. Ambas informações foram extraídas de imagens georreferenciadas do Google Earth®.

4.2.2 Modelagem Digital da Área de Interesse

A malha adota elementos finitos subparamétricos biquadráticos, isto é, as variáveis nos elementos são representadas por polinômios biquadráticos, ao passo que a forma geométrica dos elementos é definida pelos vértices de quadriláteros com lados retilíneos. Este tipo de discretização tem acurácia mínima de 2ª ordem, podendo chegar a 4ª ordem nas zonas com elementos mais regulares. Em geral a ordem efetiva da aproximação numérica fica entre 3ª e 4ª ordem de acurácia para malhas com elementos irregulares. Para detalhes sobre o assunto veja a seção "3.5. Formulação numérica do Modelo Hidrodinâmico" na Referência Técnica do SisBaHiA® em www.sisbahia.coppe.ufrj.br.

O domínio do modelo e sua discretização (espaçamento entre os nós de cálculo) foram definidos com o compromisso de maximizar a representação dos contornos das ilhas, bancos emersos e submersos, além de abranger uma considerável região na área costeira adjacente. A malha se estende 55 km para Sul e 30 km para Norte. A Figura 7 apresenta a malha de elementos finitos elaborada para o modelo.

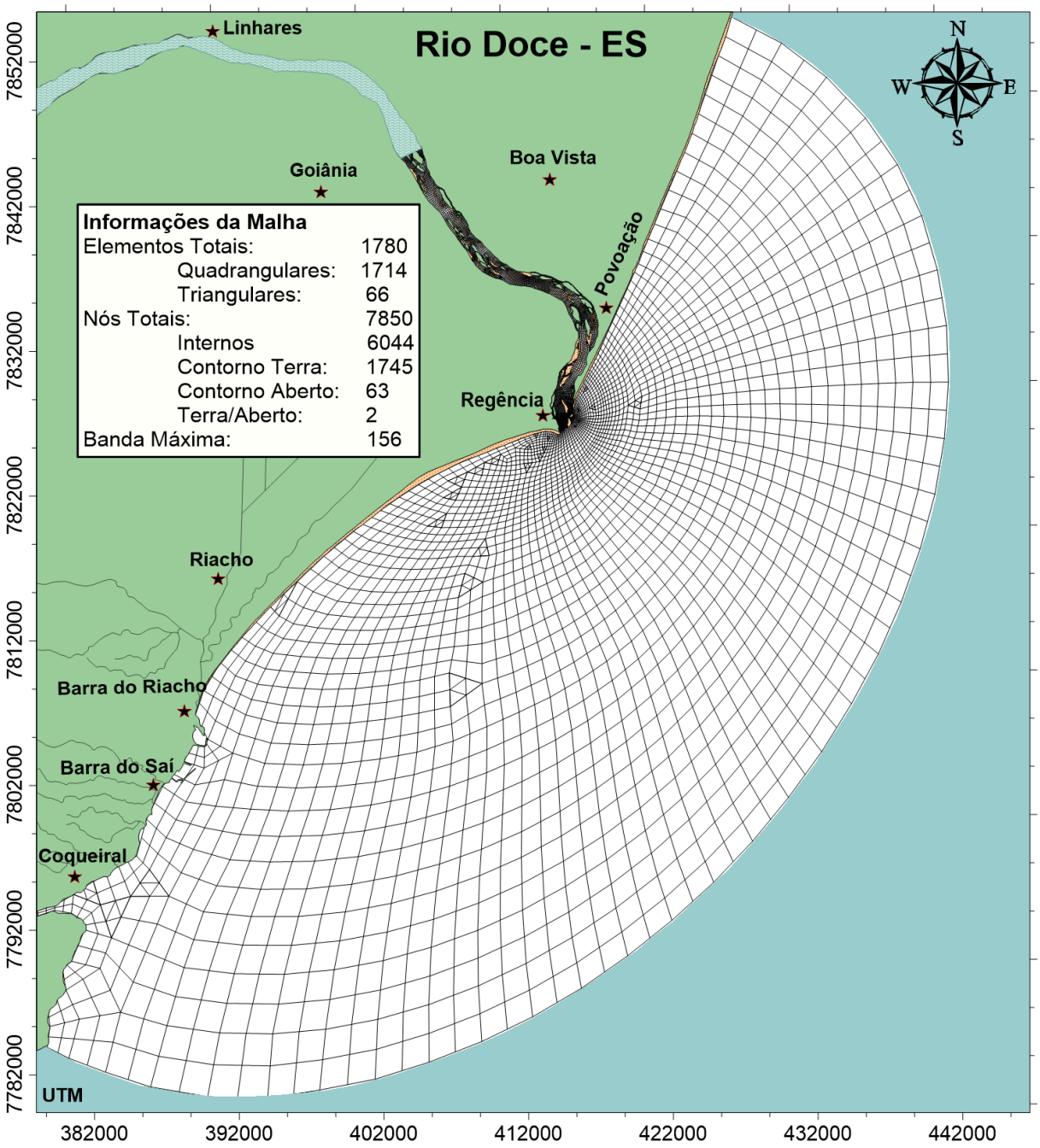


Figura 7 – Malha de discretização do Rio Doce e região costeira adjacente em elementos finitos.

Convém ressaltar que o modelo hidrodinâmico do SisBaHiA® opera com mecanismos de alagamento e secamento em locais propensos, como os bancos de sedimentos submersos presentes na região. A Figura 8 mostra em maiores detalhes a malha de discretização na região fluvial e

estuarina do Rio Doce. Maiores detalhes sobre este procedimento podem ser encontrados na seção 3.12 na Referência Técnica do SisBaHiA®, www.sisbahia.coppe.ufrj.br.

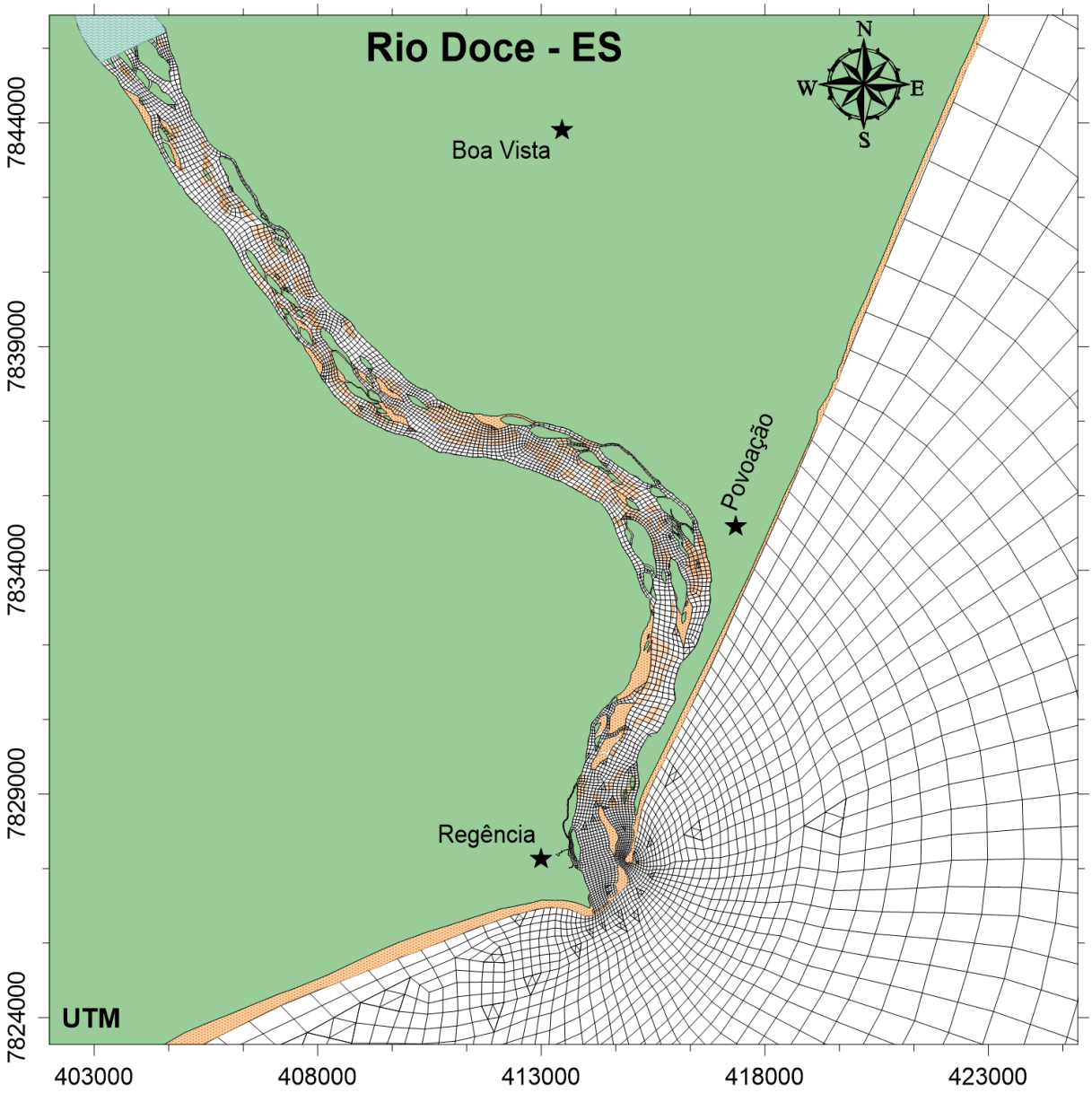


Figura 8 – Detalhe da malha de elementos finitos na região fluvial e estuarina do Rio Doce.

4.2.3 Vazão fluvial

A vazão no Rio Doce foi estimada a partir dos dados de nível de água para a Estação Colatina – Corpo de Bombeiros, apresentados no **Boletim 15_Volumes Escoados_20160908** e a curva-chave para o ano de 2015, exibida no relatório **Produto 02_R1_Volumes Escoados Sazonais com Hidrograma – Rompimento Fundão**, ambos os documentos fornecidos pela Vale S.A. As informações hidrológicas utilizadas nestes documentos foram obtidas na estação de medição operada pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), disponibilizada pela ANA (Agência Nacional de Águas).

A Figura 9 mostra a série temporal de vazão no Rio Doce fornecida pela Vale S.A., a qual foi considerada no modelo hidro-sedimentológico. Por falta de dados de vazão em estações mais à jusante, e considerando que não existe nenhum afluente ao Rio Doce relevante, no trecho entre Colatina e a fronteira de montante do modelo, que é próxima de Linhares, adotou-se como condição de contorno do modelo a vazão de Colatina. Repare no pico de vazões registrado próximo ao dia 20/01/2016, que corresponde à cheia que ocasionou no rompimento parcial da barra sul da embocadura do Rio Doce.

Figura 9 – Vazão no Rio Doce utilizada no modelo hidro-sedimentológico, gerada a partir dos dados de nível e curva-chave descritos.

4.2.4 Carga de sedimentos afluentes

A variação de concentrações de sedimentos em suspensão, adotada como condição de contorno na fronteira de montante do domínio de modelagem, foi obtida a partir de dados medidos fornecidos pela Vale S.A. Foram utilizados os dados de sólidos suspensos totais (SST) medidos no ponto denominado **Linhares – ES – Centro – Margem Direita**, os quais encontram-se na planilha **3.3.1.1 20160906_AGUA_DOCE_ES**. A Figura 10 apresenta a série temporal de SST para o período de simulação.

No gráfico, o primeiro pico de concentração representa a chegada da pluma de sedimentos provinda do acidente. Os picos de concentração subsequentes representam o residual da lama que eventualmente foi depositada nas margens do rio à montante, bem como nos reservatórios, e que, com as chuvas na bacia e o aumento da vazão no Rio Doce, são ressuspendidos e levados para jusante.

O maior pico de concentrações registrado na série é consequência do aumento da vazão no Rio Doce, causado pela cheia. Importante ressaltar que em eventos como esse, grande parte da carga de sedimentos é oriunda do carreamento feito pelas chuvas na bacia hidrográfica, portanto é provável que uma parcela considerável da concentração medida nesse período não seja de sedimentos vindos do rompimento da barragem.

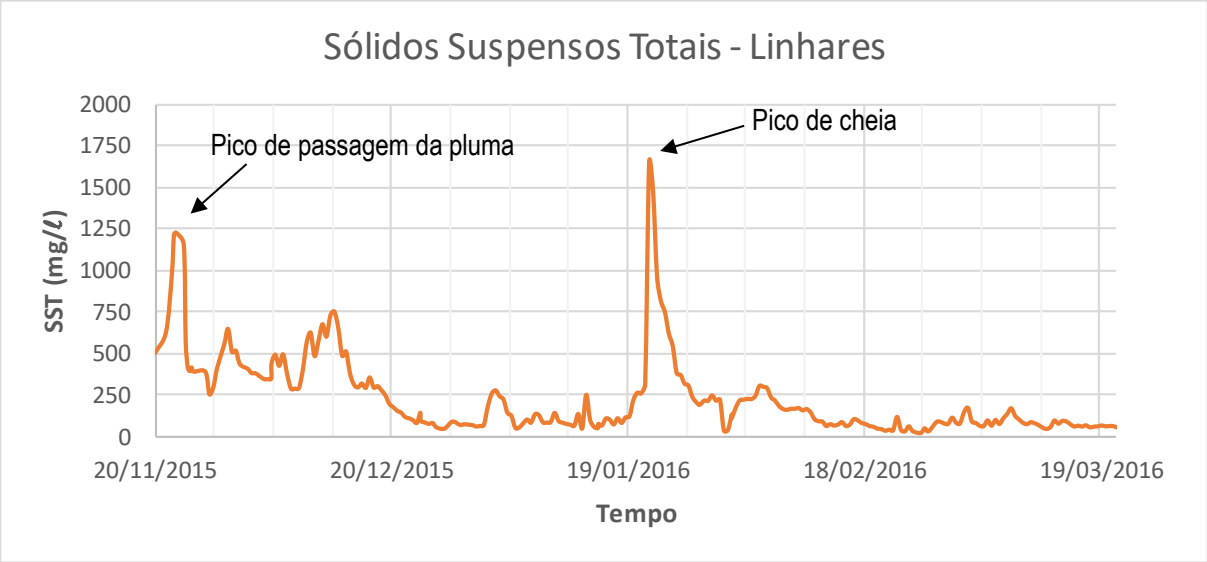


Figura 10 – Série temporal de sólidos suspensos totais medidos na Estação **Linhares – ES – Centro – Margem Direita**, fornecido pela Vale S.A.

4.2.5 Caracterização física dos sedimentos afluentes

De modo a determinar os parâmetros a serem inseridos no modelo de sedimentos coesivos do SisBaHiA® é importante ter ideia da caracterização física do sedimento. No documento **DOC A1- FISPQ-LAMA_SAMARCO-5 Final.pdf,** fornecido pela Vale S.A., são apresentados os resultados de ensaios realizados com amostras do rejeito de mineração, oriundo do processo de deslamagem e flotação, que era disposto na barragem. No documento **LINHARES.jpg**, também fornecido pela Vale S.A., são apresentados os resultados da análise granulométrica dos sedimentos em trânsito na coluna d'água, em Linhares - ES.

A Tabela 4.1 apresenta um quadro resumo com os parâmetros de caracterização, pertinentes à modelagem, dos sedimentos provenientes da barragem que rompeu. A granulometria considerada corresponde a do sedimento em Linhares.

Tabela 4.1 – Quadro resumo dos dados de caracterização física fornecidos pela Vale S.A.

Granulometria	
Frações passantes (%)	Diâmetro (μm)
90	9.76
75	5.93
50	3.27
25	1.77
10	0.85
Massa específica do Grão (kg/m³)	
2800 - 3400	

O sedimento proveniente da barragem possui características argilosas, com diâmetro mediano D_{50} = 3.27μm, o que indica que a parcela mais grossa do sedimento oriundo do rompimento da barragem ficou retida nas porções mais à montante da bacia. Para a massa específica adotou-se no modelo um valor médio entre a faixa de variação apresentada, ρ_s = 3100 kg/m³.

4.2.6 Dados de maré

Os níveis d'água foram calibrados e validados a partir de medições de campo fornecidas pelo projeto UFES-FEST-PENO-3570, o qual disponibilizou registro de maré medido por um marégrafo localizado nas coordenadas 413.362,61 e 7.827.614,67 (UTM - Datum WGS84), próximo à foz do rio Doce. Tais dados contemplam o período entre 27/05/2011 e 24/06/2011.

Com estas medições de campo foi feita uma análise harmônica, utilizando-se o SisBaHiA, com o intuito de gerar as constantes harmônicas para a região. Em seguida iniciou-se o processo de calibração, a fim de determinar as diferenças de fase e amplitude entre a maré na fronteira do domínio de modelagem e a maré no ponto de medição. Ao final desta etapa, o modelo foi validado, de modo que a variação de nível calculada pelo SisBaHiA coincidiu com a maré gerada com as constantes harmônicas para o ponto de medição.

A Figura 11 corresponde à variação do nível d'água que foi introduzida no modelo como forçante no contorno de mar (fronteira aberta). O nível médio em relação ao NR do modelo foi de - 0,3 m. Analisando o gráfico nota-se a sequência de marés de sizígia e quadratura intercaladas a cada 14,6 dias. Nas sizígias, as marés têm maiores amplitudes, com baixa-mares (BM) mais baixas e as preamares (PM) mais altas. Inversamente nas quadraturas as amplitudes são menores, com baixa-mares menos baixas e preamares menos altas.

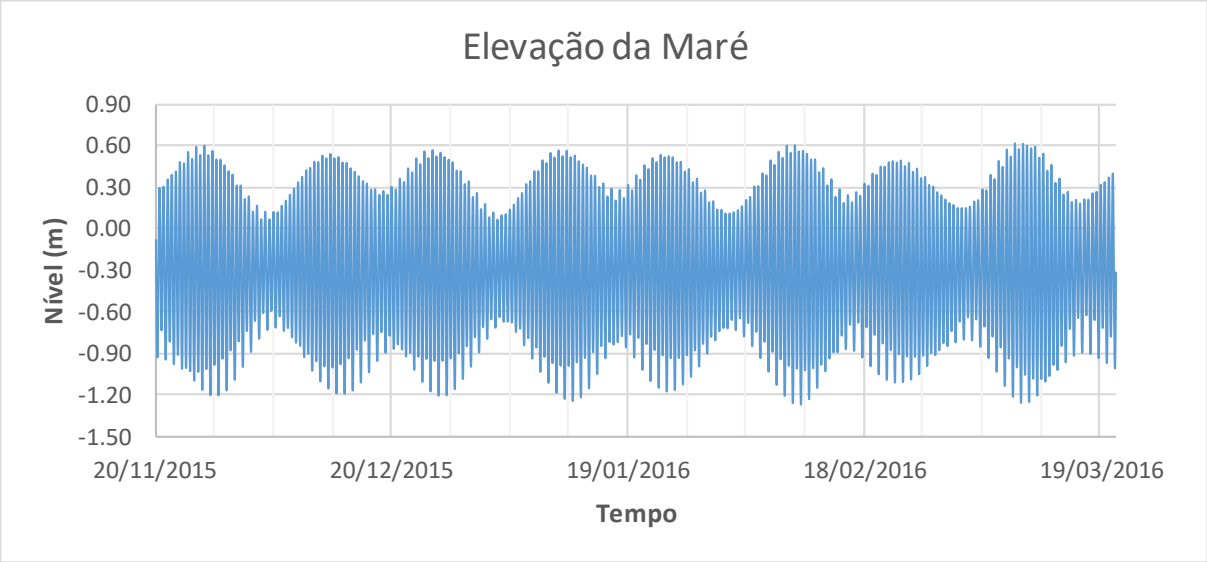


Figura 11 – Elevações de maré para o período de simulação, na fronteira aberta do modelo.

4.2.7 Dados de vento

Os dados de vento utilizados na modelagem foram obtidos através do modelo de reanálise ERA-INTERIM, disponibilizado pelo European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF). As informações de direção e magnitude do vento foram adquiridas para 4 pontos cobrindo a área de estudo, conforme o mapa da Figura 12. As informações destas 4 estações foram interpoladas, gerando o campo de ventos para o domínio de modelagem.

A Figura 13 apresenta a rosa dos ventos para as 4 estações, considerando o período de 20/11/2015 a 20/03/2016. As 4 estações têm dados bastante similares de direção e velocidade dos ventos, com exceção da Estação 1, que se localiza em terra e possui valores mais baixos de velocidade. Para ilustrar, a Figura 14 mostra a variação temporal de velocidade e direção do vento para a Estação 3, considerando os dois primeiros meses de simulação.

De uma forma geral, as velocidades do vento no domínio de modelagem são caraterizadas por valores médios e máximos de 5 m/s e 11 m/s, respectivamente. A direção predominante do vento varia pouco no domínio de modelagem, ilustrada nas rosas de vento da Figura 13.

Os dados indicam ventos com direções mais frequentes de norte, norte-nordeste e nordeste. A velocidade máxima foi registrada na estação 2 e atingiu 11,18 m/s, proveniente de Norte. Ventos vindos de sul, sul-sudeste e sudeste também são observados, porém em menores frequências, dado que são fruto de eventos episódicos de passagem de frentes frias.

Figura 12 – Mapa mostrando os 4 pontos de obtenção de dados de vento.

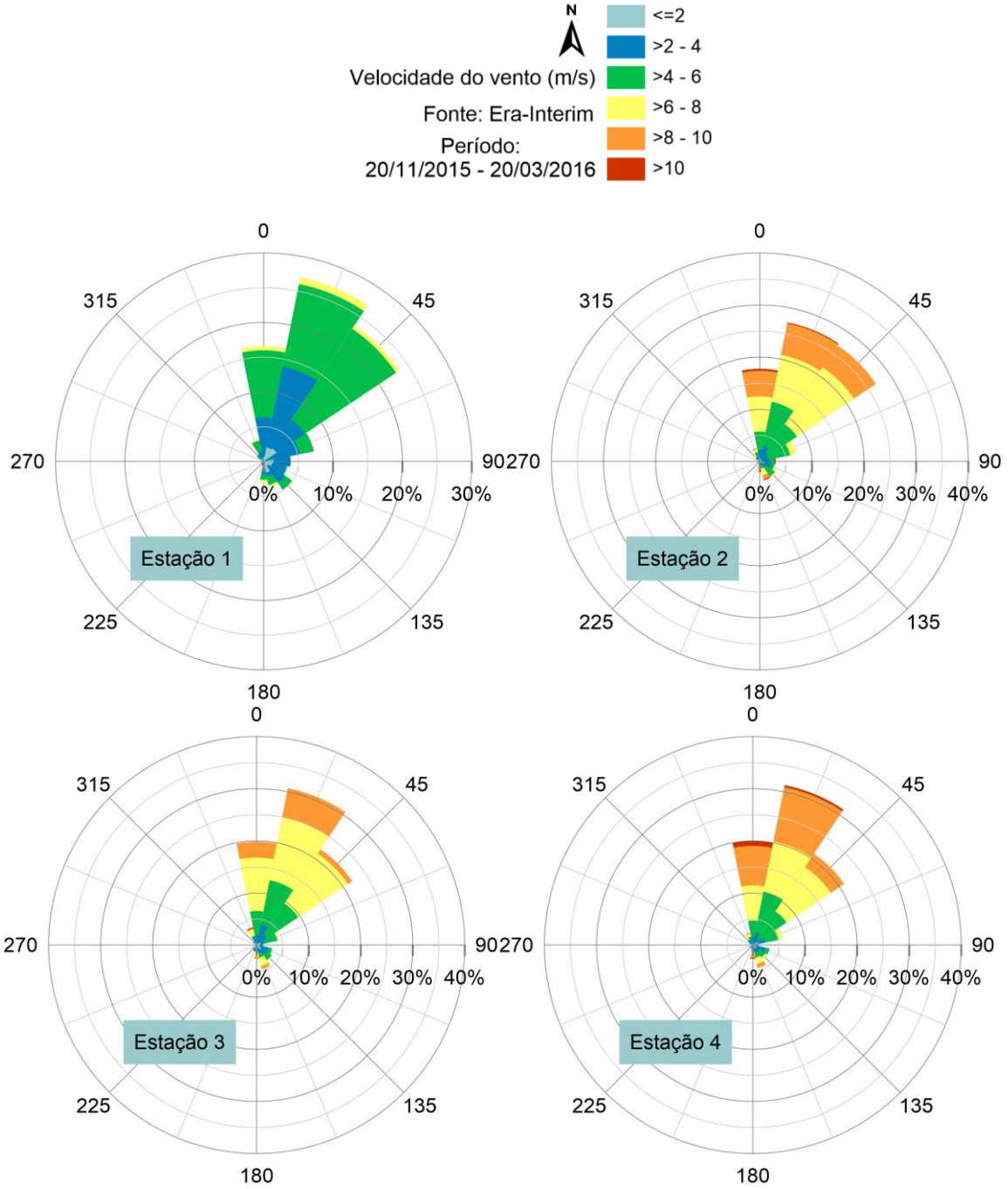


Figura 13 – Estatística dos Ventos para as 4 estações utilizadas na modelagem. Dados obtidos a partir da reanálise do ERA-Interim para o período entre 20/11/2015 a 20/03/2016.

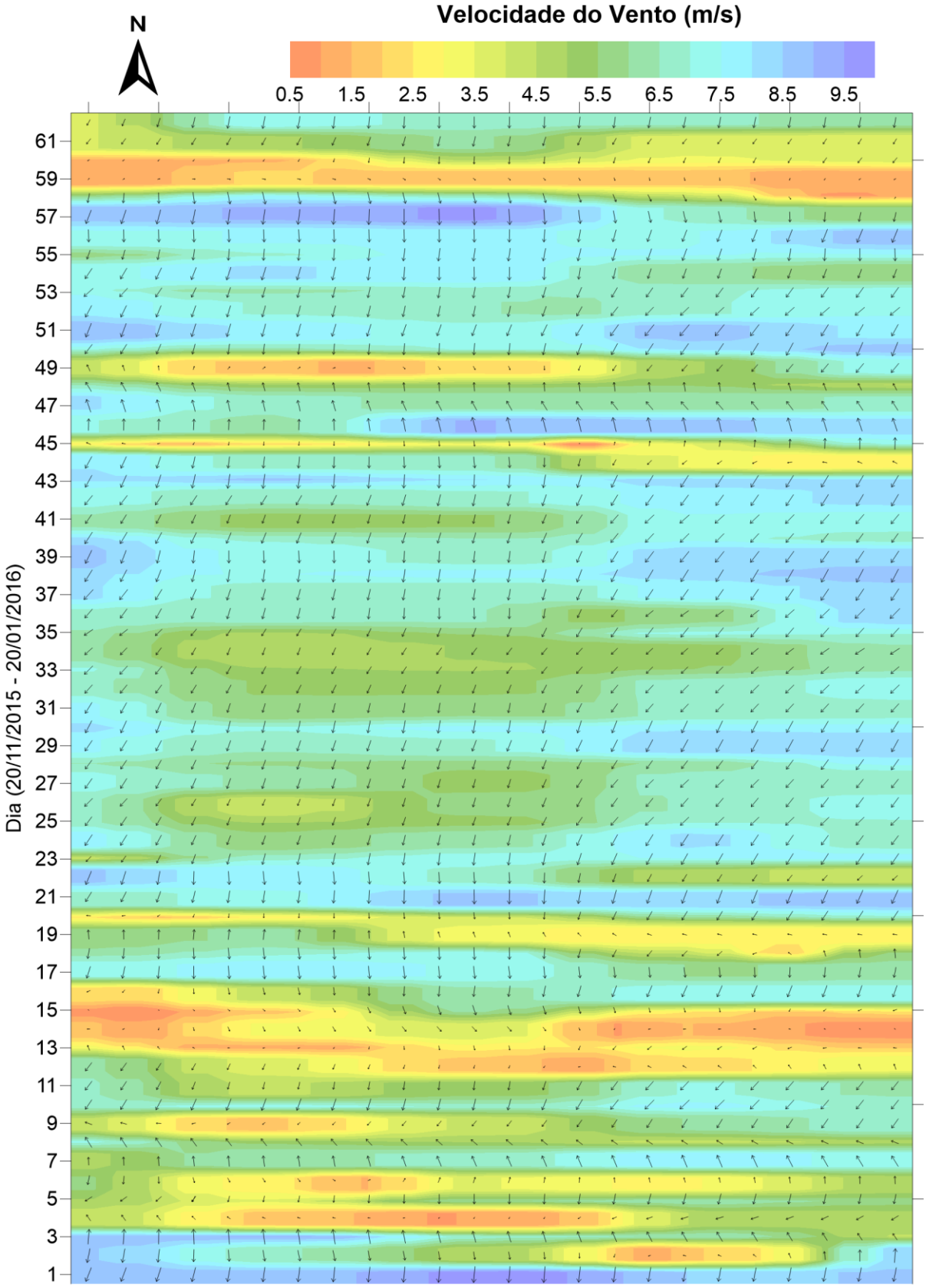


Figura 14 – Mapa com a série temporal de ventos da Estação 3. Dados obtidos a partir da reanálise do Era-Interim para o período entre 20/11/2015 a 20/01/2016.

4.3 Modelo de Transporte de Sedimentos Coesivos

O modelo de sedimentos coesivos do SisBaHiA® utiliza uma equação de transporte advectivo difusivo promediada na coluna de água, com mecanismos pertinentes aos processos sedimentológicos pertinentes a sedimentos finos em suspensão, e.g. sedimentos coesivos. Dessa forma, o modelo é capaz de representar o transporte em suspensão de sedimentos coesivos, bem como contabilizar as evoluções morfodinâmicas do fundo.

Maiores informações sobre as formulações utilizadas nesse modelo estão detalhadas na Referência Técnica do SisBaHiA®, que pode ser acessada na página www.sisbahia.coppe.ufrj.br.

4.3.1 Condições iniciais e de contorno adotadas no modelo de sedimentos coesivos

Como mencionado, o objetivo deste estudo é avaliar o impacto, causado pela pluma de sedimentos provenientes do acidente na barragem de rejeitos de Fundão, na zona estuarina do Rio Doce e região costeira adjacente, especialmente na zona de banimento de pesca indicada na Figura 2. Sendo assim, considerou-se no modelo de sedimentos, exclusivamente os sedimentos oriundos do desastre.

Para construir tal cenário, considerou-se que no instante inicial da simulação não existia sedimento disponível ao longo do domínio de modelagem, o que significa dizer que as condições iniciais da simulação são de concentrações em suspensão e estoque de sedimentos no fundo iguais a zero.

Dessa forma é possível fazer avaliações de forma isolada para os sedimentos oriundos do desastre, sobre o comportamento e a extensão da pluma de sedimentos na zona costeira, bem como das regiões com potencial de deposição de sedimentos.

Como condições de contorno de sedimentos, adotou-se as concentrações em suspensão a partir do momento da chegada da pluma à seção de montante do modelo. Utilizou-se as séries temporais de SST que foram apresentadas na Figura 10, de forma a avaliar o impacto geral da pluma de sedimentos, no que diz respeito às concentrações em suspensão e aos depósitos de sedimentos formados.

4.3.2 Velocidade de Sedimentação

A taxa com que uma partícula sedimenta em um fluido em repouso depende de suas propriedades físicas, como forma geométrica e peso próprio, e das propriedades do fluido em que está inserida. Por outro lado, quando o fluido está em movimento, o transporte advectivo-difusivo também tem grande parcela de influência no processo de sedimentação.

Em se tratando de sedimentos coesivos, a taxa de sedimentação depende não somente das características físicas do grão e do grau de turbulência do escoamento, mas também sofre influência do processo de floculação. A floculação causa agregação dos grãos de sedimentos, formando flocos, que por terem maior massa, sedimentam mais rapidamente. O processo de floculação depende do grau de coesão do sedimento em questão. Quanto maior o grau de coesão, maior será a intensidade da floculação.

Adotando uma estratégia conservadora com relação ao impacto da extensão da pluma de sedimentos na costa, não se considerou o processo de floculação no cálculo da velocidade de sedimentação, dado que este processo aumentaria a taxa de sedimentação, fazendo com que houvesse maior deposição dos sedimentos da pluma em águas mais calmas, fora da zona de arrebentação no litoral. Com isso, podemos avaliar o potencial máximo de alcance da pluma na região costeira.

Sendo assim, a velocidade de sedimentação foi calculada pela fórmula de van Rijn (1989), apresentada abaixo, considerando que o diâmetro representativo dos sedimentos que vem da seção de montante do modelo corresponde ao D_{50} = 3.27 μm, como mostrado na Tabela 4.1. De modo conservador, adotou-se a massa específica do grão como ρ_s = 3100 kg/m³.

$$W_S = \frac{1}{18}(s-1)\frac{gd^2}{\nu} \qquad \text{, para d < 0.1mm}$$

$$W_S = 1.1\sqrt{\left[(s-1)gd\right]} \qquad \text{, para d > 1mm}$$

$$W_S = 10\frac{\nu}{d}\left[\sqrt{(1+0.01d^3)}\right] \qquad \text{, para d = 1mm}$$

Como resultado, adotou-se a velocidade de sedimentação de 0.01 mm/s.

4.4 Resultados

Nesta seção apresenta-se os resultados da simulação dos cenários de modelagem no Rio Doce e na região costeira adjacente, para o período de 20 de novembro de 2015 à 20 de março de 2016. As análises foram feitas separadamente, da seguinte maneira:

- **Análise da circulação hidrodinâmica:** pertinente aos resultados de correntes hidrodinâmicas obtidos para a região costeira e estuarina do Rio Doce. O intuito é caracterizar o ambiente de estudo e dar suporte às análises sedimentológicas;
- **Aspectos sedimentológicos e morfodinâmicos:** pertinentes aos resultados de concentrações de sedimentos em suspensão e de evoluções batimétricas obtidos para a região costeira e estuarina do Rio Doce. O enfoque é na avaliação do transporte da pluma de sedimentos oriundos do acidente, bem como na identificação de regiões propensas à formação de depósitos da lama.

4.4.1 Análise da circulação hidrodinâmica

A seguir discute-se os resultados hidrodinâmicos do cenário simulado, com vistas a trazer um melhor entendimento das características gerais do ambiente de estudo e subsidiar as análises sedimentológicas, visto que a hidrodinâmica é a principal forçante considerada para o transporte de sedimentos.

Apresenta-se mapas com padrões de correntes característicos em condições de ventos usuais, quando a pluma da foz é transportada para o sul, e em condições de frentes frias, quando ocorre transporte para o norte.

Cada figura é composta por mapa geral do domínio de modelagem com isolinhas de magnitude de correntes e vetores com tamanho proporcional à magnitude da corrente, indicando a direção da corrente. A cada mapa geral está associado um mapa de zoom detalhando o campo de correntes no estuário e foz do Rio Doce. São quatro pares de figuras, conforme detalhado a seguir, retratando as principais fases de um ciclo de maré de sizígia para ventos usuais e de frentes-frias. As condições de maré e vento para os dias mostrados nos mapas podem ser vistas na Figura 11 e Figura 14, respectivamente.

- Meia maré enchente (MME) de sizígia do dia 10/01/2016, em condição de ventos usuais (Figura 15 e Figura 16),
- Meia maré vazante (MMV) de sizígia do dia 10/01/2016, em condição de ventos usuais (Figura 17 e Figura 18),
- Meia maré enchente (MME) de sizígia do dia 26/11/2015, em condição de ventos típicos de frentes frias (Figura 19 e Figura 20),
- Meia maré vazante (MMV) de sizígia do dia 26/11/2015, em condição de ventos típicos de frentes frias (Figura 21 e Figura 22).

Analisando os resultados descritos acima, verifica-se que:

1. De um modo geral, em condições de ventos usuais, a corrente se propaga para sul, mas existem diferenças na direção da corrente de acordo com a fase da maré. Na maré enchente a corrente avança em direção a costa e na maré vazante se afasta da costa. Há uma diminuição da velocidade da corrente na maré vazante, em relação a maré enchente, apenas na região ao norte da foz do Rio Doce.
2. De um modo geral, em condições de ventos de frente fria, a corrente se propaga para norte, mas existem diferenças na direção da corrente de acordo com a fase da maré. Na maré enchente a corrente avança em direção a costa e na maré vazante se afasta da costa. Há um aumento na magnitude das correntes durante a maré vazante, em relação à maré enchente, apenas para a região ao norte da foz do Rio Doce.
3. Dentro do estuário do Rio Doce o campo de correntes sofre pouca influência dos ventos. E a inversão de correntes devido a maré se limita à região bem próxima à foz, pois a batimetria do Rio Doce junto à costa é relativamente íngreme, acompanhando o terreno marginal, conforme pode ser visto no mapa da Figura 5. Sendo assim, verifica-se entrada de água com baixa velocidade no Rio Doce, durante a maré enchente e saída de água com maior velocidade das correntes durante a maré vazante.

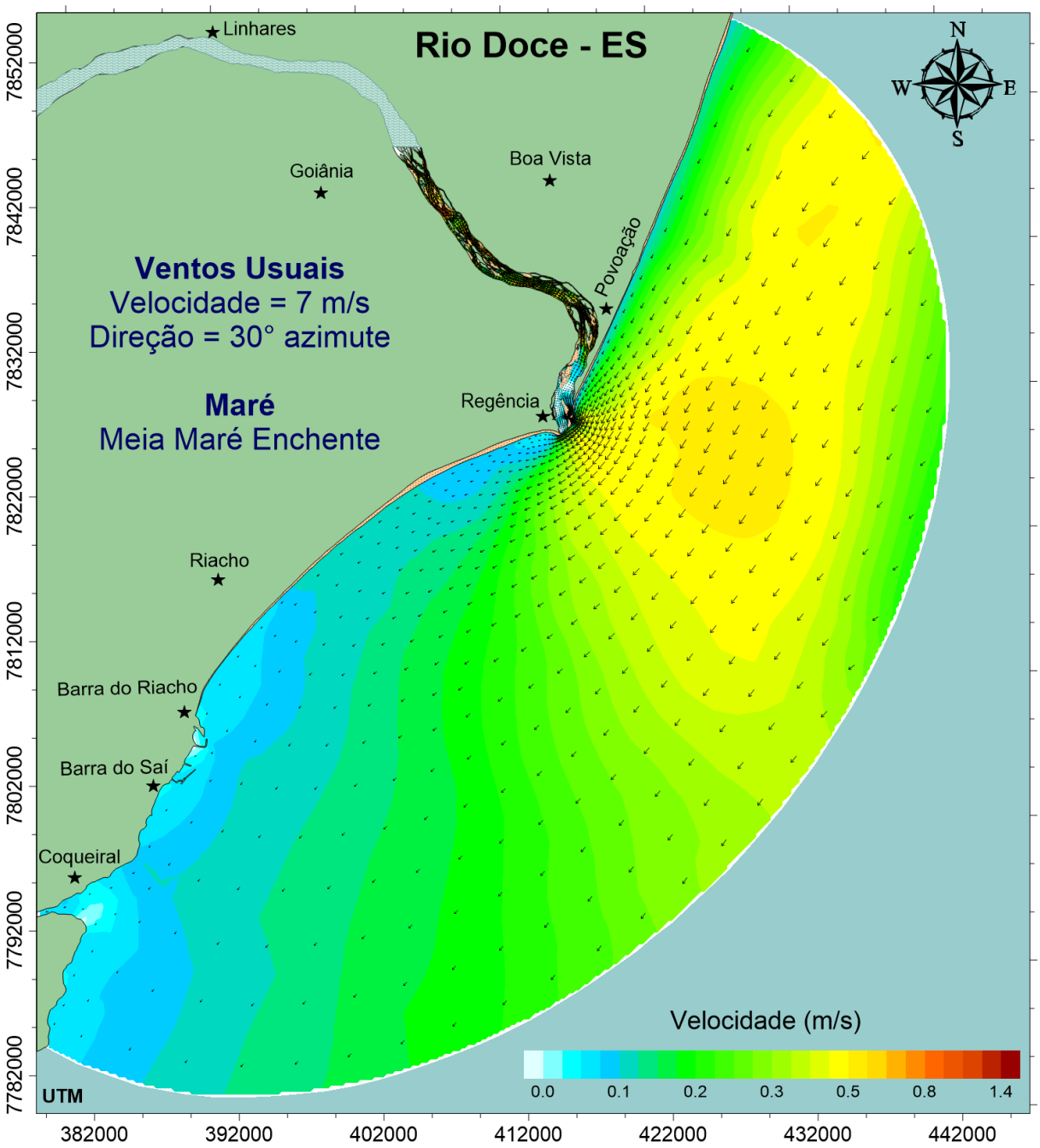


Figura 15 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

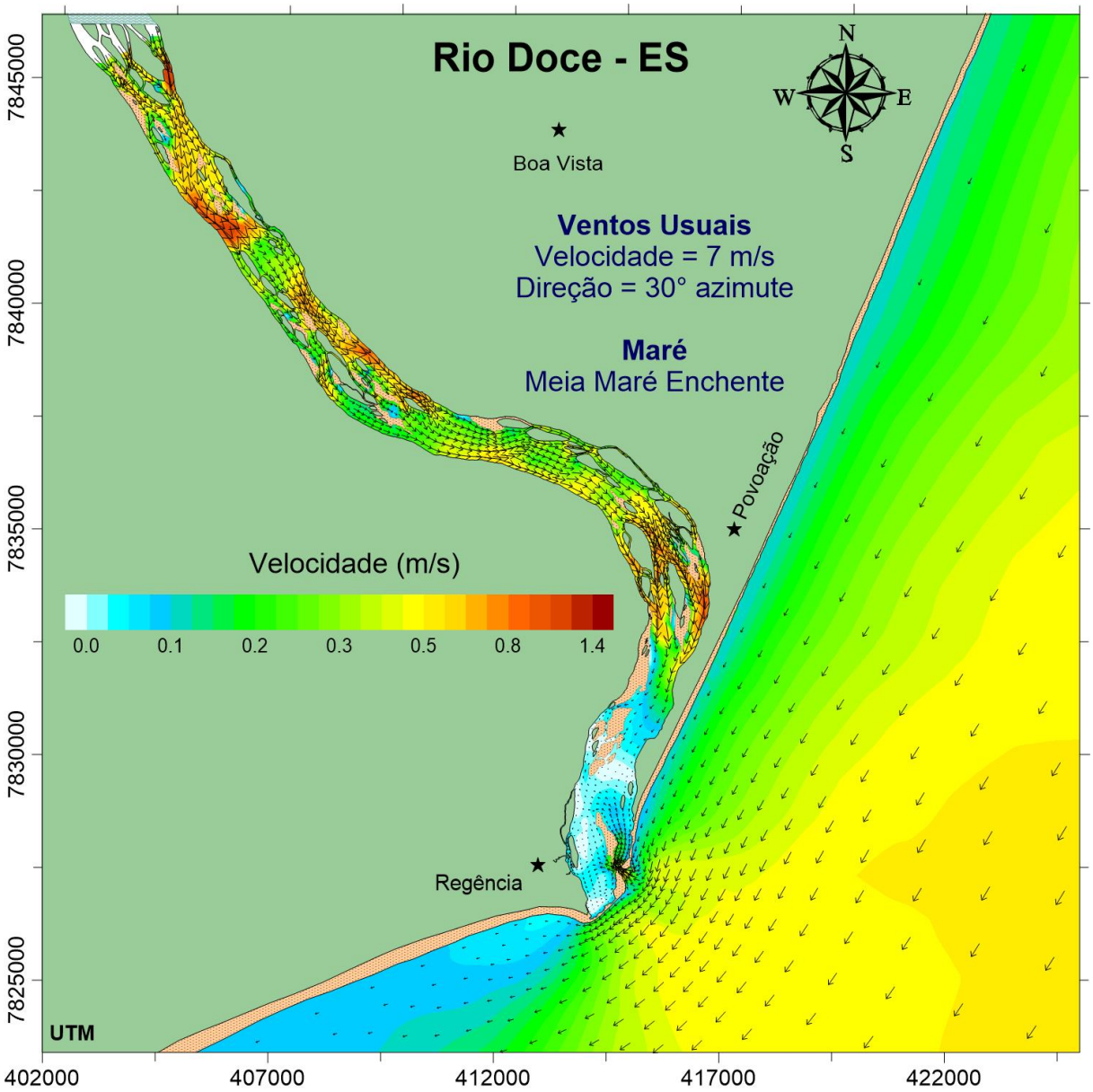


Figura 16 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

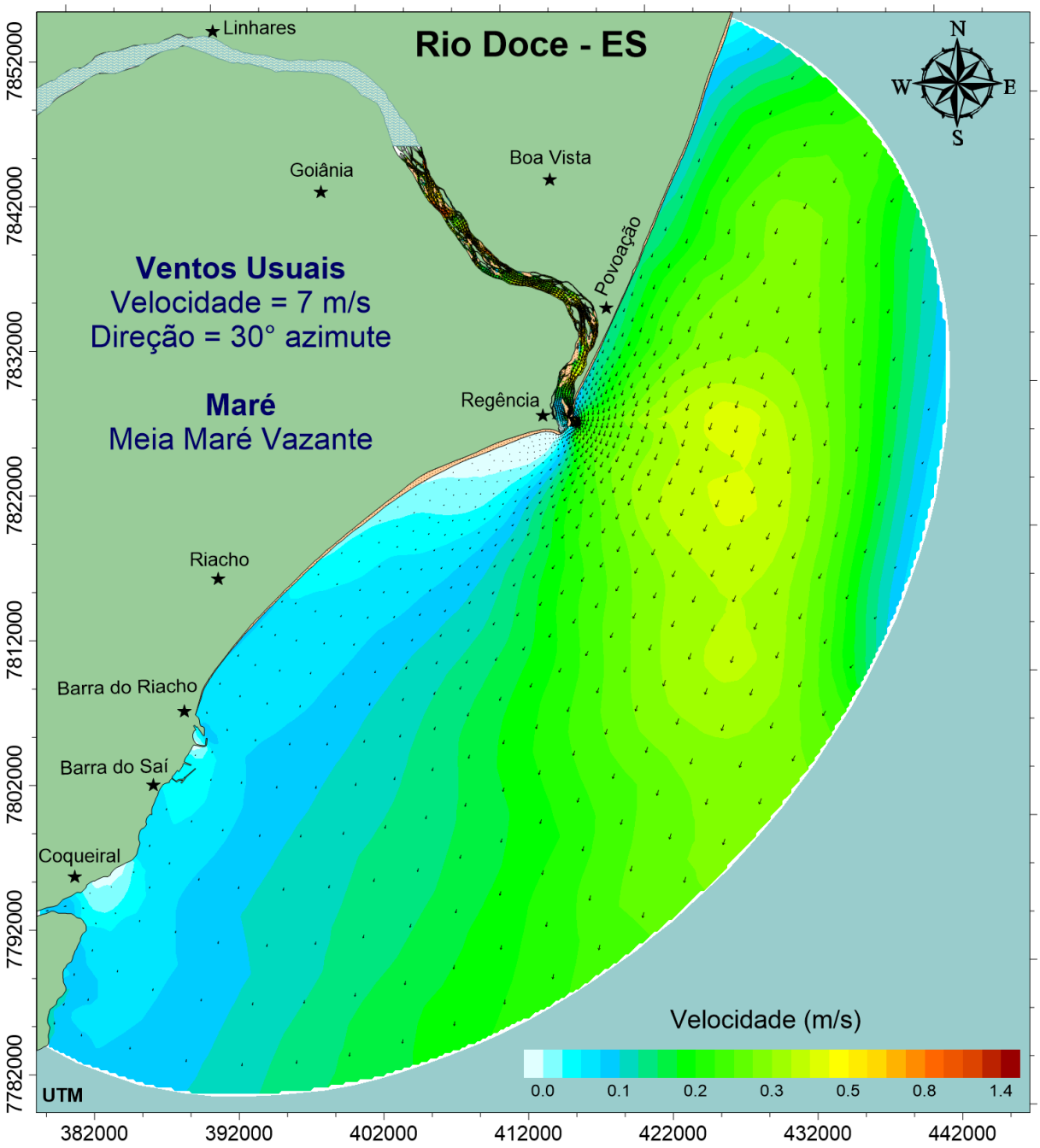


Figura 17 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

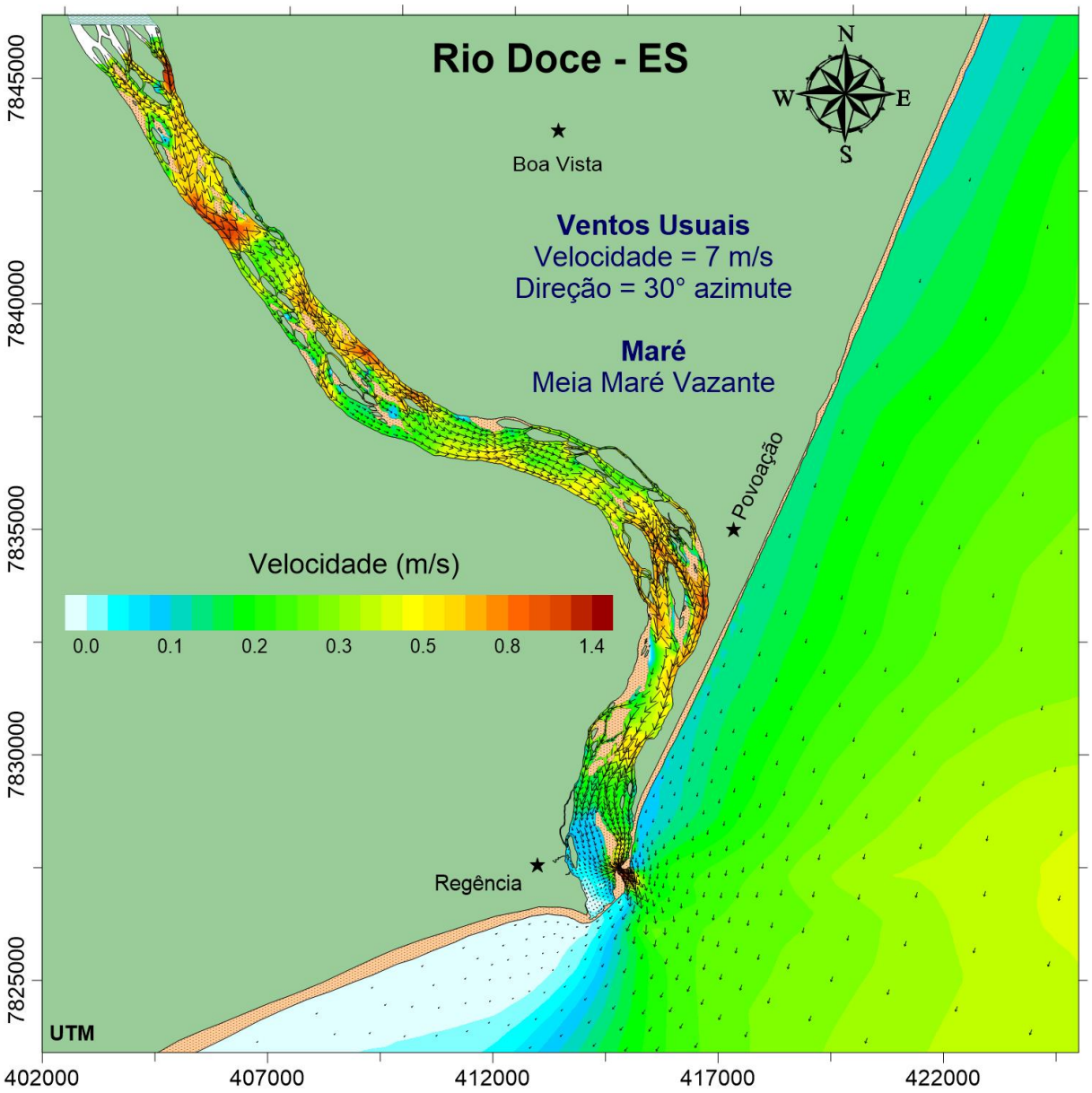


Figura 18 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

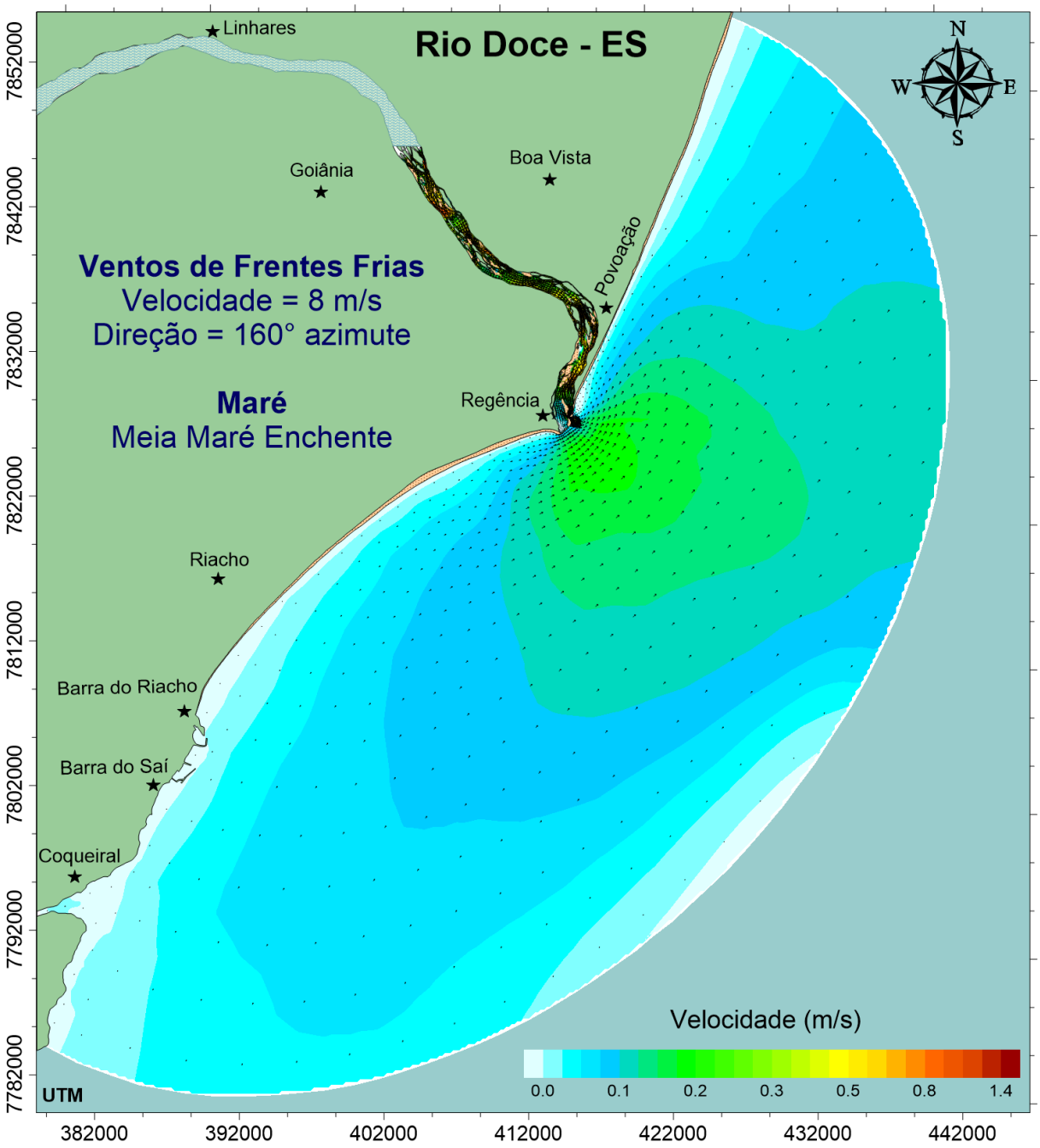


Figura 19 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

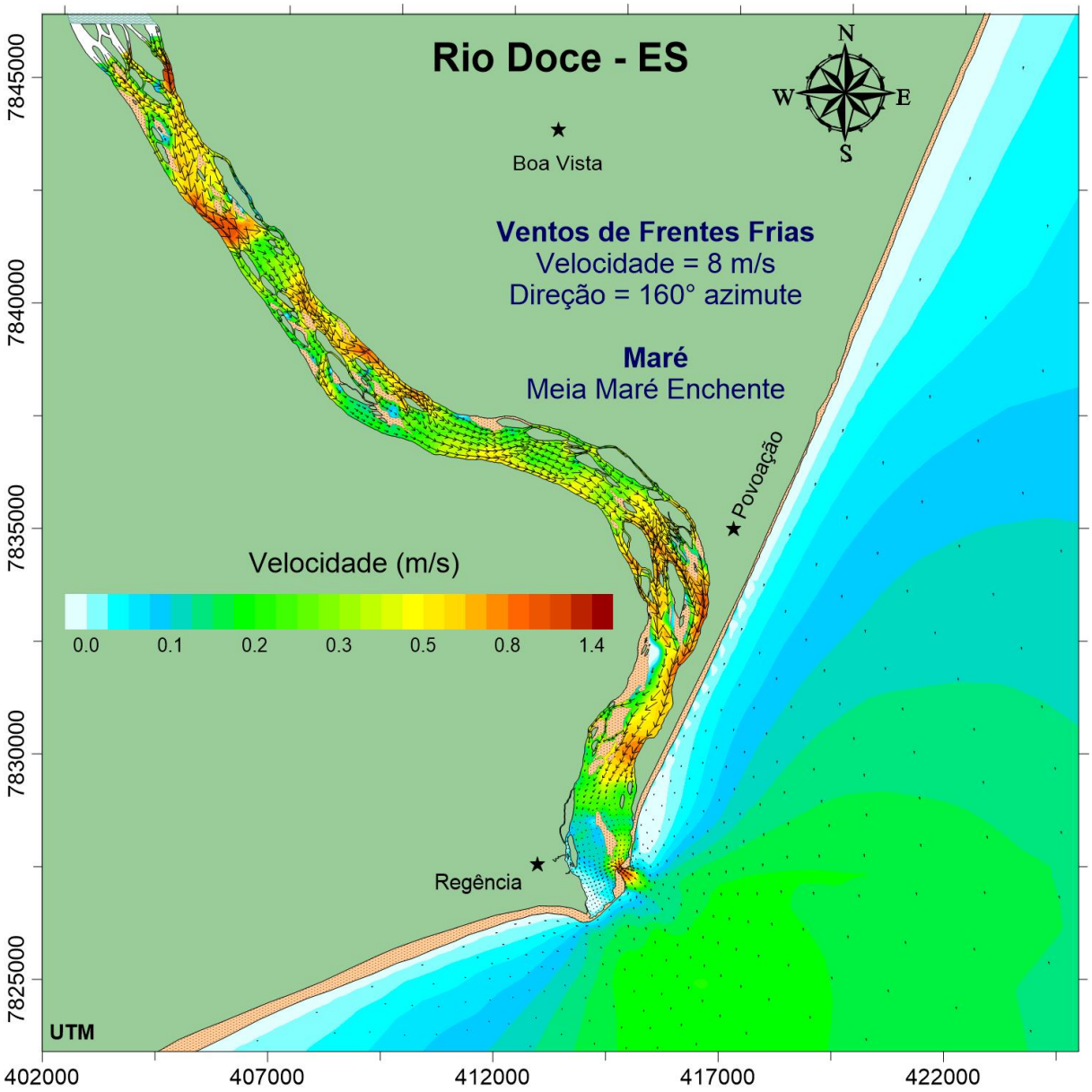


Figura 20 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

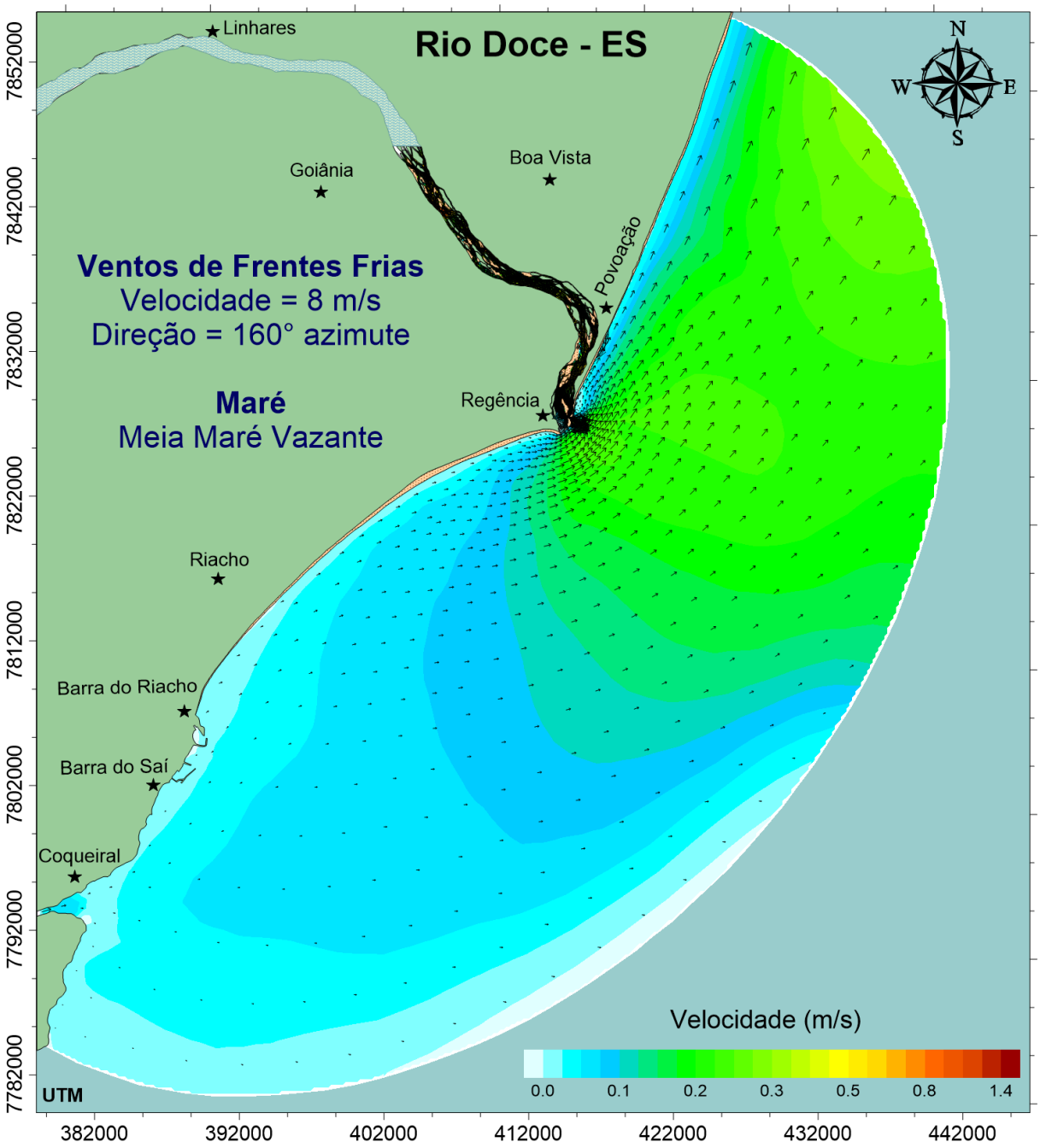


Figura 21 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

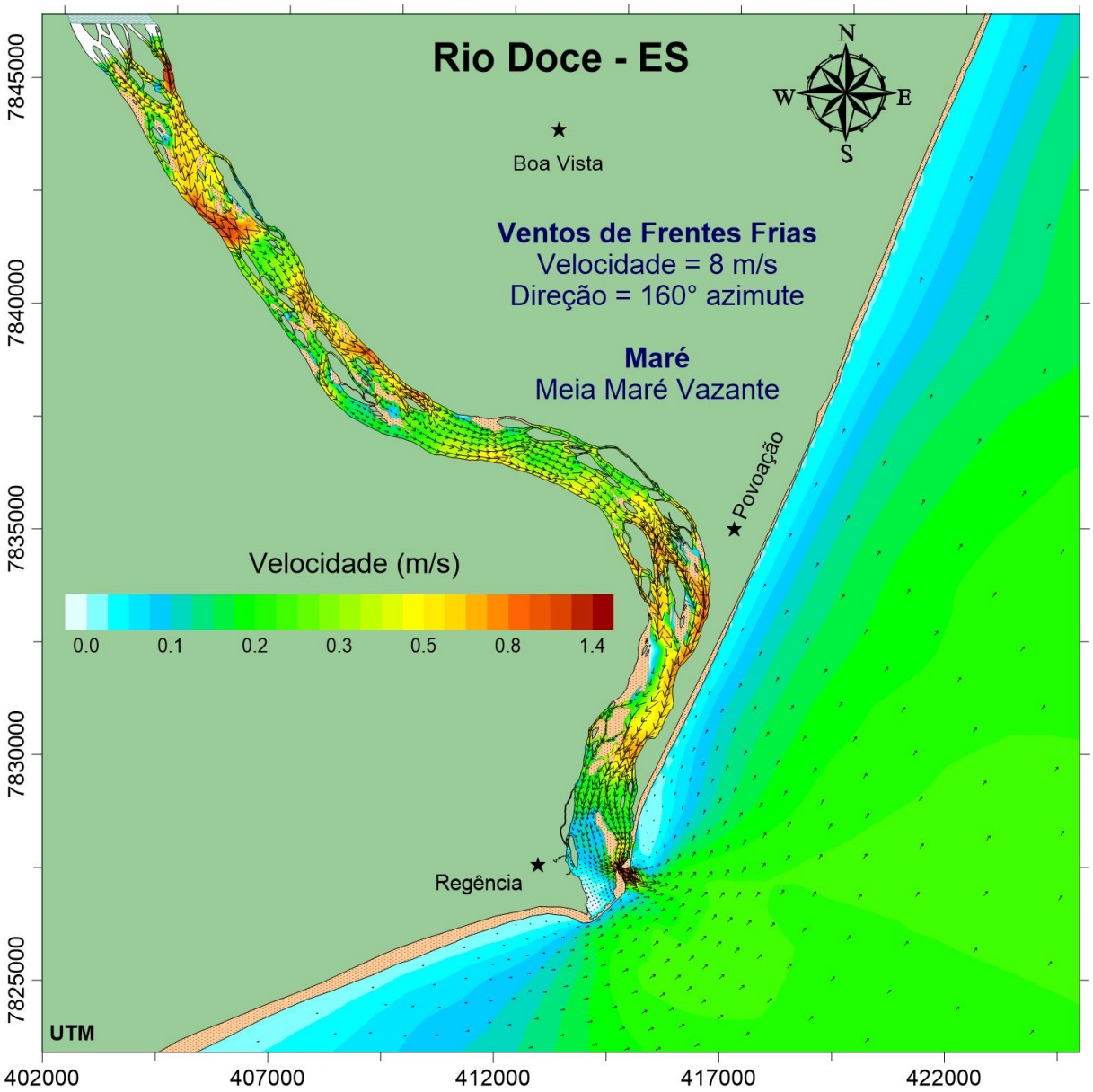


Figura 22 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do Rio Doce em um instante de meia maré vazante para um dia de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

4.4.2 Análise dos aspectos sedimentológicos e morfodinâmicos

Nesta seção são apresentados os resultados do modelo de transporte de sedimentos coesivos. Estes serão apresentados em forma de mapas e gráficos de concentração de sedimentos em suspensão e de variações morfológicas, ao longo do período simulado.

A Figura 23 e a Figura 24 apresentam, respectivamente, o mapa de isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada na zona costeira da pluma que vem de montante (pico de passagem da pluma na Figura 10) e o momento da passagem da onda de cheia (pico de cheia na Figura 10). Percebe-se que esse momento não é o mais crítico no que

diz respeito à extensão do alcance da pluma, entretanto, no que diz respeito aos valores de concentração de sedimentos em suspensão, estes são os momentos em que são registrados os maiores valores de SST (vide Figura 26) na região do entorno da embocadura do Rio Doce, com concentrações da ordem de 1300mg/L, no instante da passagem do pico da pluma, e de 1600mg/L no momento da passagem da onda de cheia.

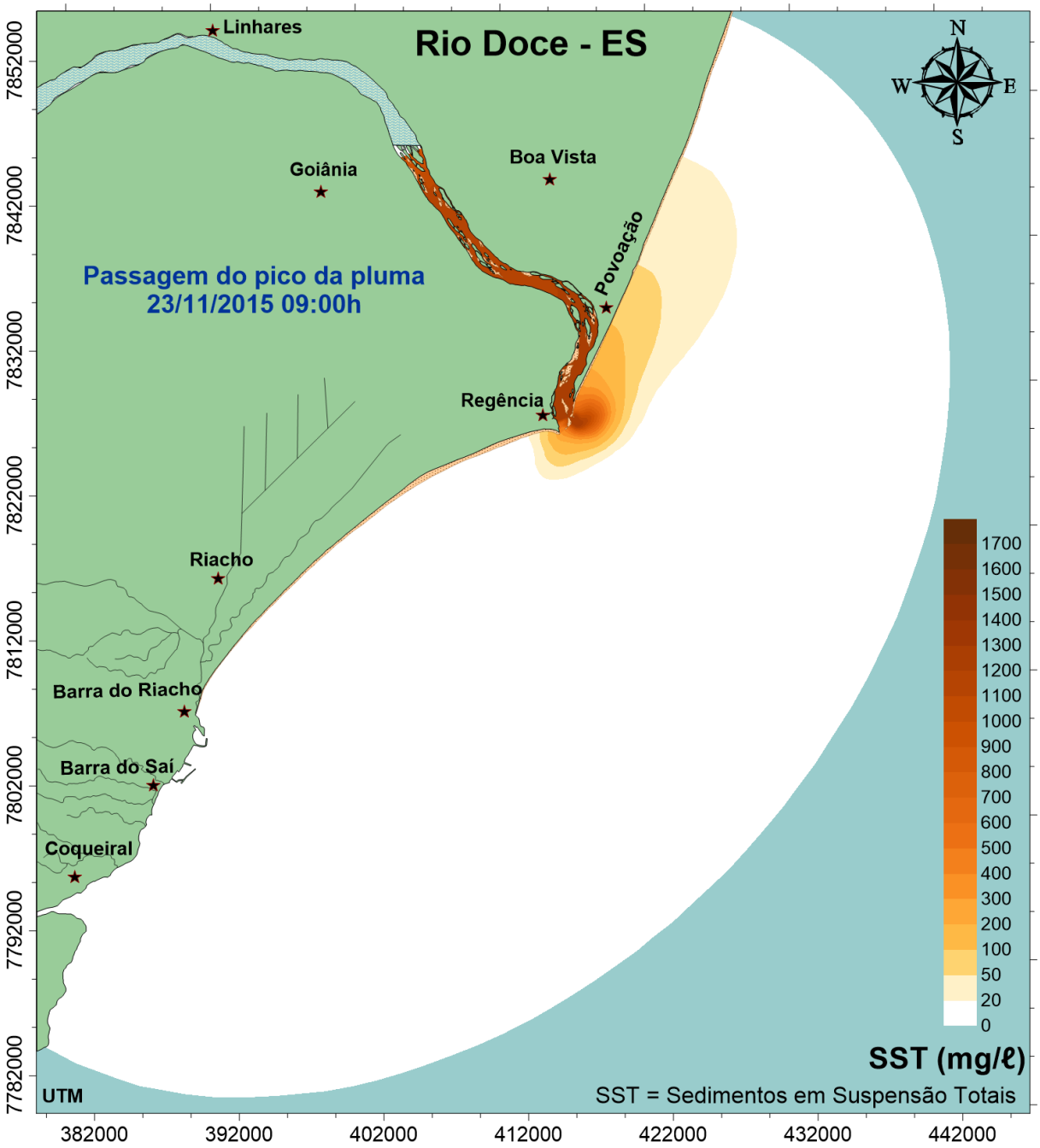


Figura 23 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada do pico de concentrações da pluma advinda do rompimento da barragem.

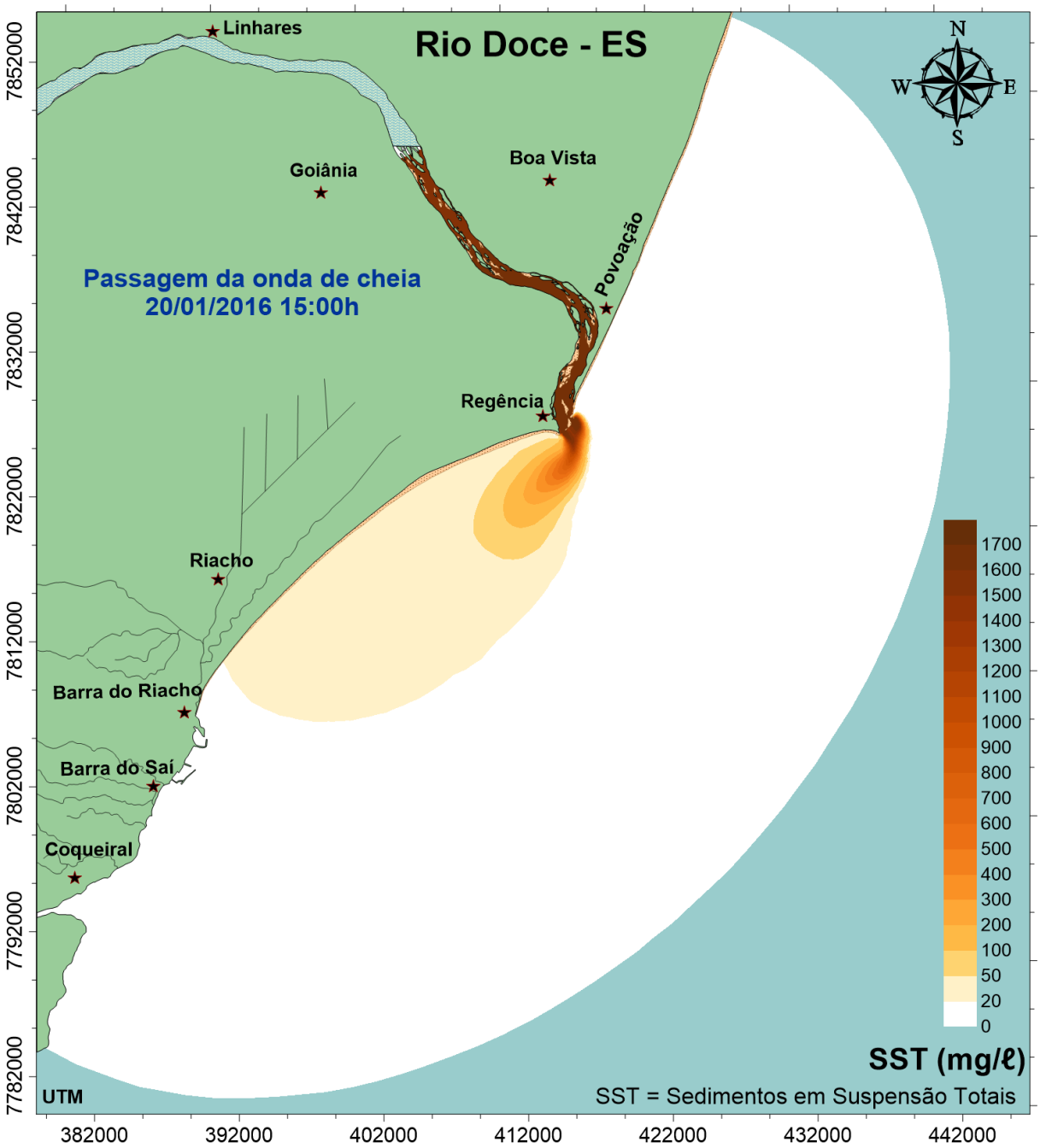


Figura 24 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada do pico de concentrações da pluma advinda da onda de cheia.

A seguir, a Figura 26 e a Figura 27 apresentam as séries temporais de SST calculadas pelo modelo nos pontos apresentados na Figura 25, quais sejam: Foz; Norte 1km; Norte 2km; Norte 5km; Norte 10km; Fronteira Norte; Sul 1km; Sul 2km; Sul 5km; Sul 10km; Fronteira Sul.

Figura 25 – Demarcação dos pontos de análise do modelo para os resultados de séries temporais: Foz; Norte 1km; Norte 2km; Norte 5km; Norte 10km; Fronteira Norte; Sul 1km; Sul 2km; Sul 5km; Sul 10km; Fronteira Sul.

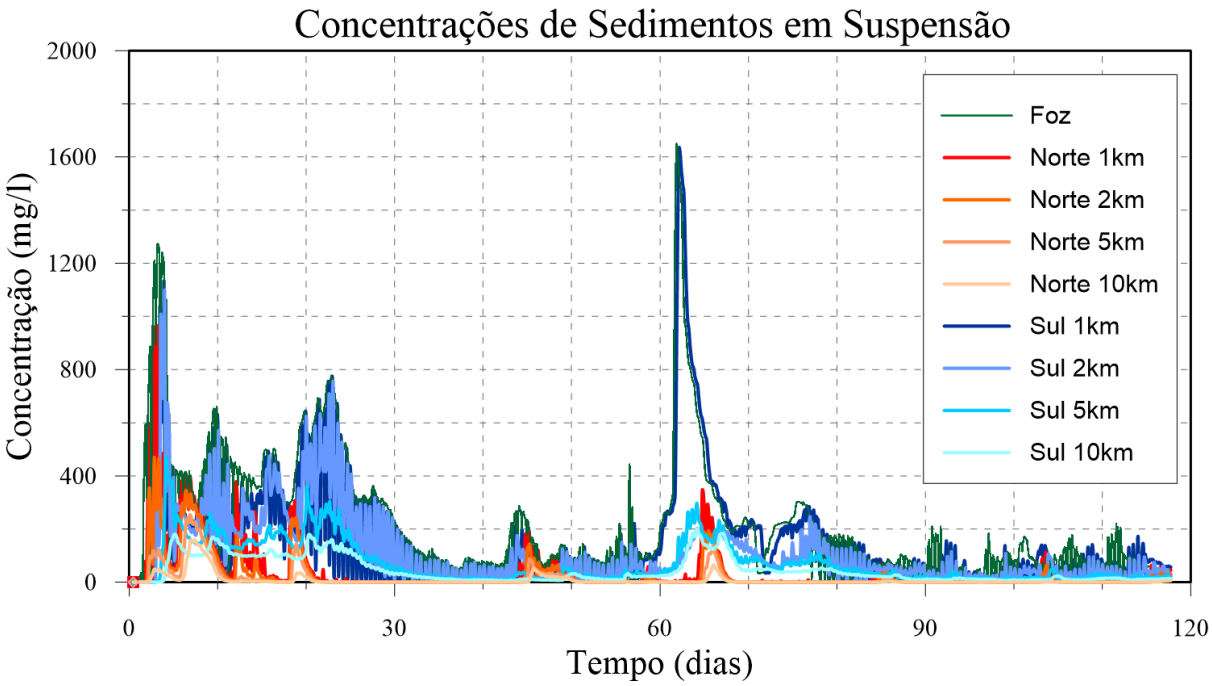


Figura 26 – Séries temporais de SST calculadas pelo modelo nos pontos apresentados na Figura 25. No gráfico, o tempo zero corresponde ao dia 20/11/2015. Note que as curvas em tom azul são para sul e em tom vermelho para norte. Destaca-se que os valores para sul são amplamente maiores que para norte.

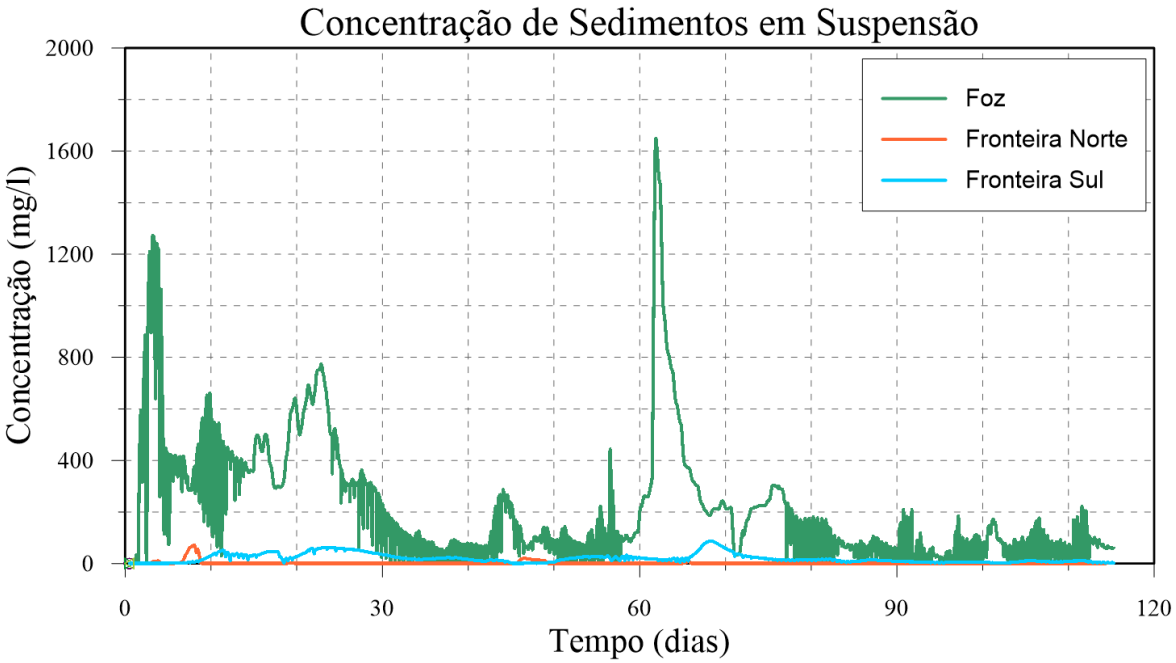


Figura 27 – Séries temporais de SST calculadas pelo modelo na foz do rio Doce e nas fronteiras Norte e Sul do modelo, apresentadas na Figura 25. No gráfico, o tempo zero corresponde ao dia 20/11/2015.

No período entre o dia 20 e 30 de Novembro e entre 20 e 30 de Janeiro ocorreram as maiores concentrações de sedimentos em suspensão durante todo o período de simulação, com valores ultrapassando os 1300mg/L no primeiro caso e 1600mg/L no segundo.

O primeiro pico representa a chegada da pluma de sedimentos oriunda do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. O segundo pico está associado a onda de cheia que passou pelo Rio Doce a partir do dia 20 de Janeiro.

O aumento das concentrações de sedimentos causado pela cheia ocorre por duas razões principais: (i) o aumento das velocidades hidrodinâmicas e do nível d'água na porção fluvial do Rio Doce, que ocasiona fenômenos de ressuspensão de sedimentos depositados na calha e nas áreas marginais do rio, bem como em seus afluentes e (ii) o carreamento de sedimentos da bacia hidrográfica promovido pela chuva.

As oscilações nos valores de SST observados nos diversos pontos de monitoramento são fruto da ação da maré e têm seu efeito mais evidenciado na região próxima à embocadura, por ser onde verificaram-se as maiores concentrações de sedimentos em suspensão.

Os resultados mostram que as concentrações de sedimentos em suspensão nos pontos ao Sul da foz do Rio Doce permanecem maiores que nos pontos ao Norte. Tal resultado é esperado, uma vez que a pluma se movimenta acompanhando as correntes hidrodinâmicas da região costeira, que como foi apresentado na seção 4.4.1, são fortemente influenciadas pelo padrão de ventos da região.

Repare que conforme se vai afastando da embocadura as concentrações de sedimentos tendem a diminuir, devido à diluição que a pluma sofre ao chegar à região marítima. Tal efeito é mais bem evidenciado na Figura 27, onde é possível observar os instantes em que a pluma atravessou as fronteiras do modelo. Na figura, note que as curvas em tom azul são para sul e em tom vermelho para norte. Destaca-se que os valores para sul são amplamente maiores que para norte.

É notável a maior tendência de derivação da pluma para o sul, como já havia sendo previsto ao longo deste estudo. A direção de propagação muda para o norte em episódios de passagens de frentes frias, quando as correntes mudam de direção devido à ação do vento.

É possível distinguir dois momentos em que a pluma atravessou a fronteira norte com concentrações detectáveis, o primeiro, próximo ao dia 28 de Novembro e o segundo, próximo ao dia 05 de Janeiro. Em ambos os casos as concentrações na fronteira são ordens de grandeza menores que as concentrações na embocadura do estuário. No primeiro caso, a concentração na foz foi de 1300 mg/L e na fronteira de 70 mg/L, já no segundo caso, a concentração na foz foi de 300 mg/L e na fronteira de 20 mg/L.

Ainda neste aspecto, a Figura 28 mostra mapas de isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão para os instantes em que foram observadas as maiores dispersões da pluma para o norte e para o sul.

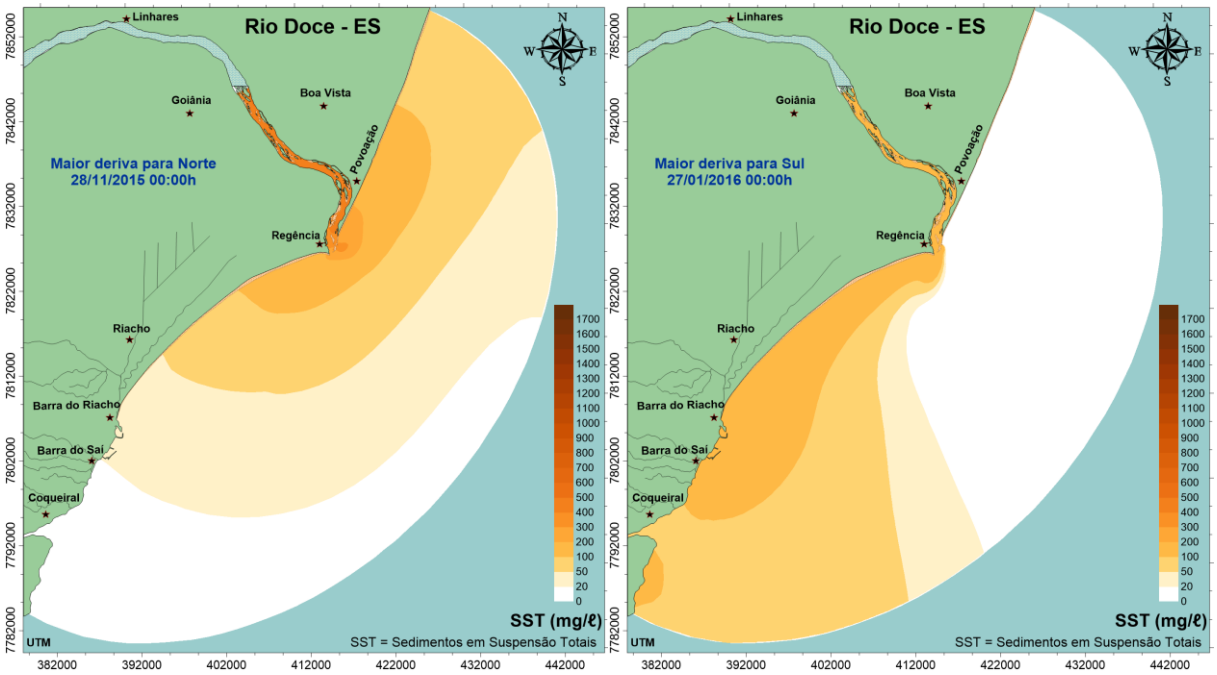


Figura 28 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão para os instantes em que foram observadas a maior dispersão da pluma para o norte (mapa da esquerda) e para o sul (mapa da direita).

Da Figura 29 até a Figura 31 são apresentadas isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 20mg/L, 50mg/L e 100mg/L, respectivamente.

Esse tipo de visualização de resultados permite que se tenha uma avaliação da persistência de valores de SST acima de determinado limite de concentração, bem como determinar a distância máxima alcançada por essa faixa de concentração. Pela análise das figuras é notável a tendência de deriva para sul da pluma de sedimentos, como já havia sido evidenciado pelos resultados anteriores.

Além disso, é possível observar que a ocorrência de concentrações de sedimentos em suspensão maiores que 100mg/L, com potencial de causar alterações significativas na qualidade da água, ficam restritas à região fluvial e estuarina do Rio Doce e a região costeira próxima da embocadura, chegando até as cidades de Regência e Povoação, como se vê no mapa da Figura 30.

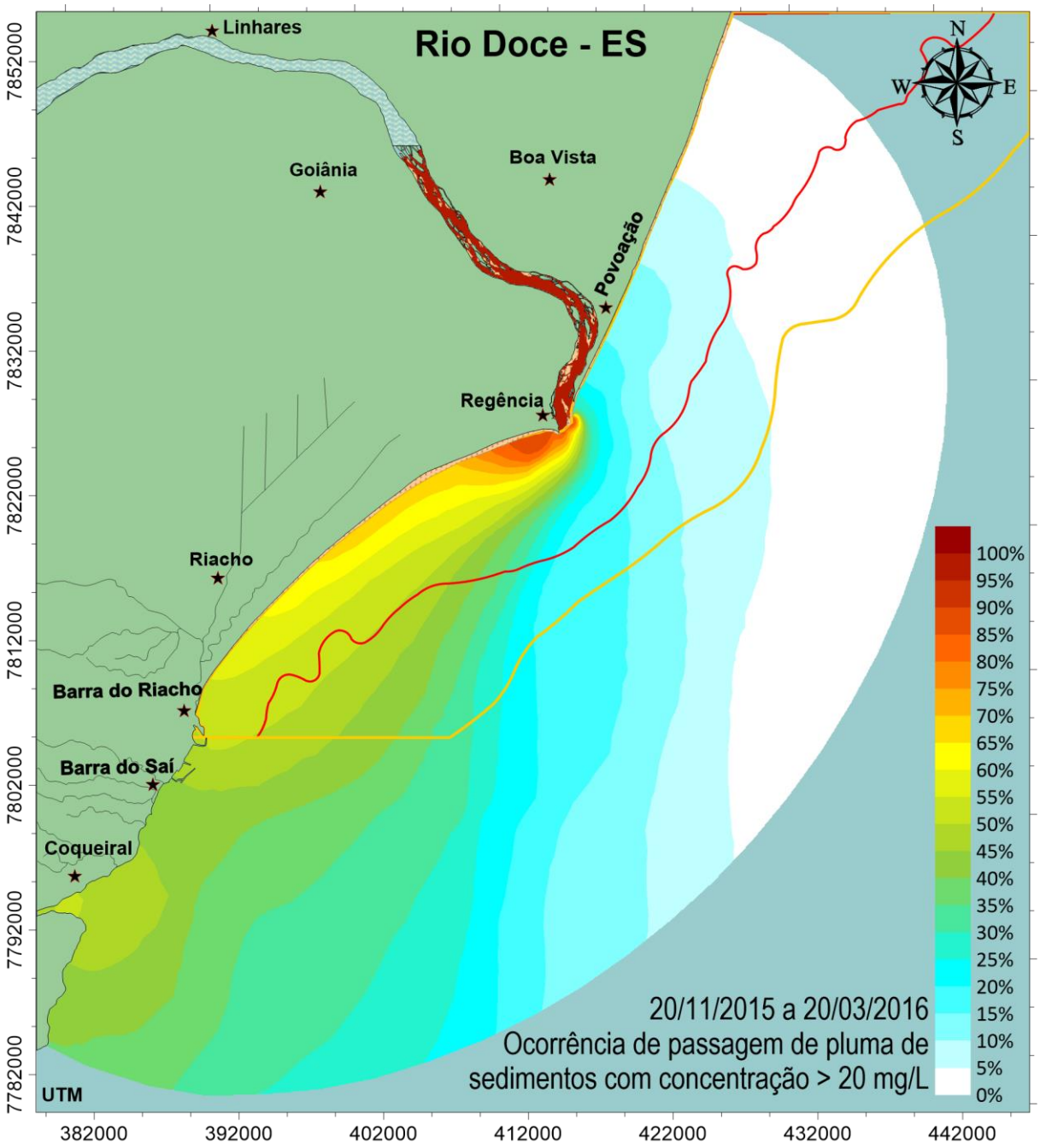


Figura 29 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 20mg/L entre 20/11/2015 e 20/03/206. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m.

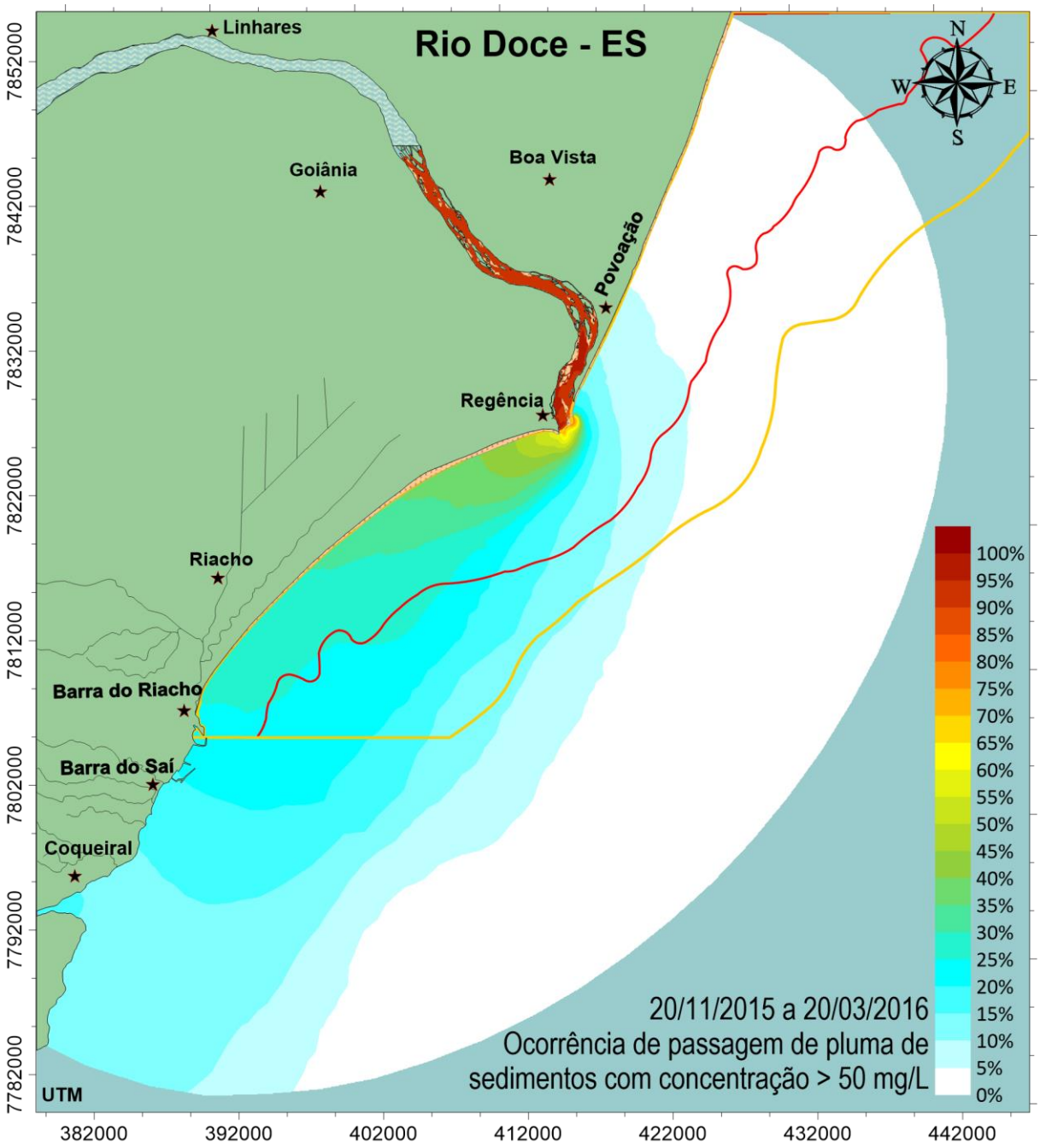


Figura 30 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 50mg/L entre 20/11/2015 e 20/03/206. Destaca-se que a maior ocorrência se restringe às semanas seguintes às passagens dos picos de concentração em 20/11/2015 e 20/01/2016, cf. Figura 10. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m.

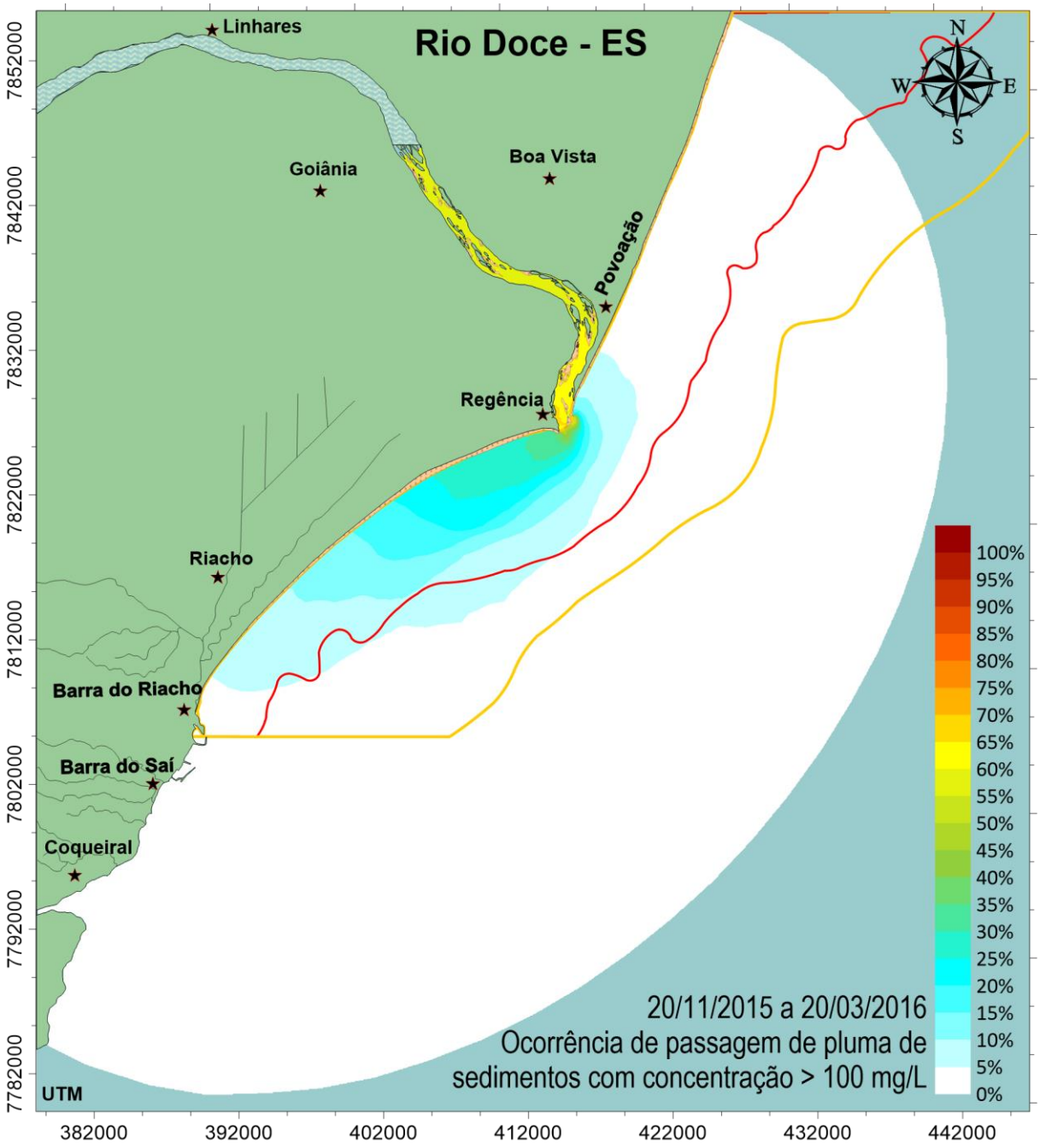


Figura 31 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 100mg/L. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m.

A Figura 32 mostra o mapa do resultado da evolução batimétrica obtida durante o período de simulação, que foi de 20/11/2015 até 20/03/2016. Como não houve a formação de depósitos com alturas de deposição significativas, mostra-se na figura a delimitação da área que apresentou o maior potencial de sedimentação.

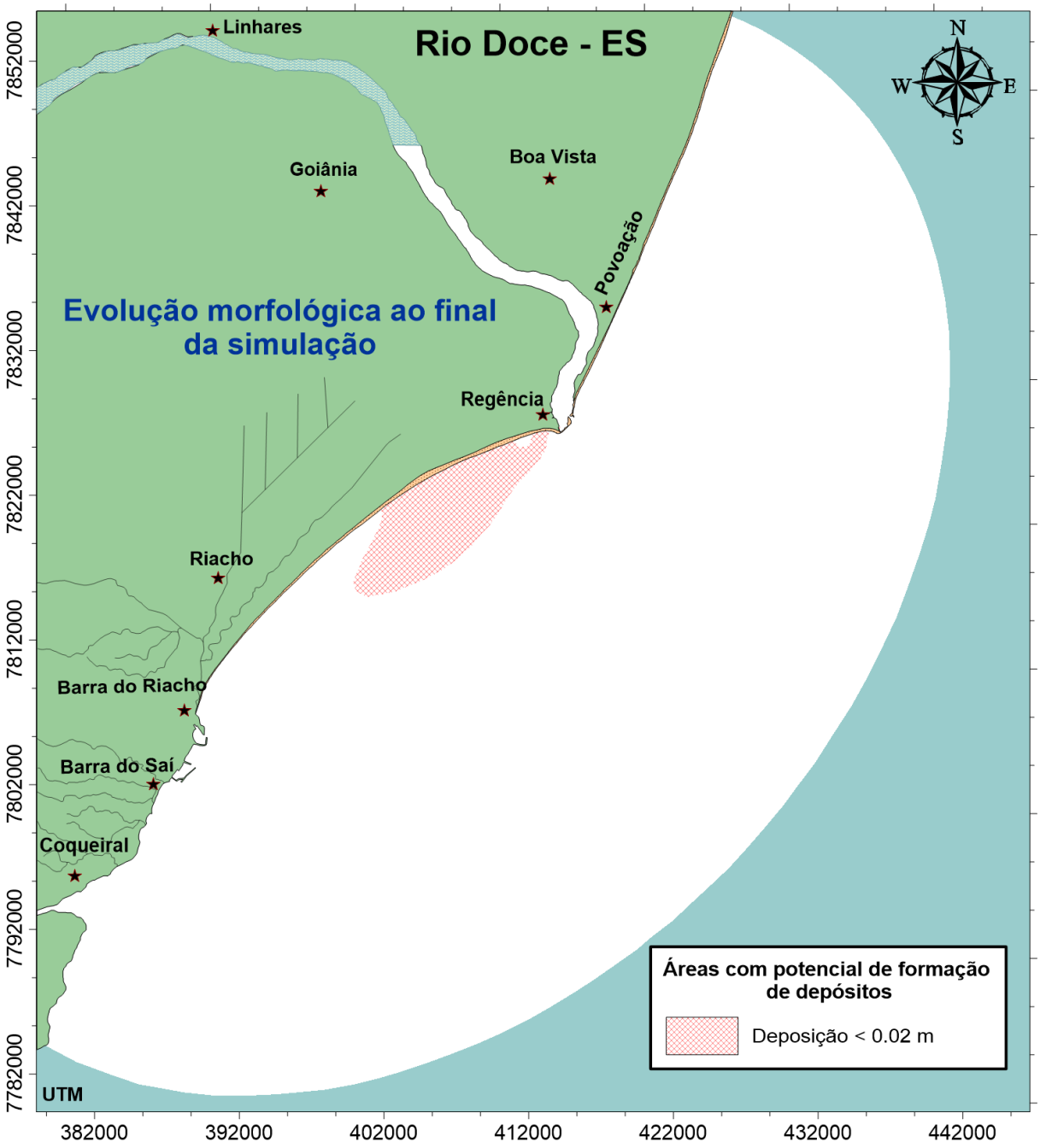


Figura 32 – Resultado da evolução morfológica ao final do período de simulação. Como não houve formação de depósitos significativos, apresenta-se demarcada a área identificada no modelo como de maior probabilidade de deposição.

Pela análise dos resultados percebe-se que de maneira geral, as regiões fluvial e estuarina do Rio Doce bem como a zona costeira adjacente não apresentaram tendência de formação de depósitos significativos de sedimentos finos. Este comportamento é devido principalmente a granulometria do sedimento, vide seção 4.2.5, que por ser muito fino, apresenta velocidade de sedimentação muito baixa e, portanto, requer águas tranquilas para ocorrer deposição.

Apenas na região costeira próxima à embocadura, na margem direita, nos arredores da cidade de Regência, foi observada a formação de depósitos de sedimentos finos, porém com alturas de assoreamento irrisórias, da ordem 0.02m. Por esta razão, não foram observados na simulação, aumentos relevantes na concentração de sedimentos devido a efeitos de ressuspensão. Ao longo do tempo, tais depósitos tendem a se espalhar para regiões mais profundas, ao serem remobilizados por ondas de maior altura e período em épocas de ressacas excepcionais.

4.5 Pluma de lama na foz do Rio Doce e possibilidade de atingir o Arquipélago de Abrolhos

Para que a pluma de sedimentos oriunda do Rio Doce possa migrar para norte e atingir áreas sensíveis como o arquipélago de Abrolhos é necessário haver correntes que a transportem para norte. Na região há três tipos de correntes:

1. Corrente oceânica: Corrente do Brasil, que se desloca sempre para sul e atua em águas mais profundas, passando ao largo da borda da plataforma continental;
2. Correntes de deriva geradas por ventos, que atuam na plataforma continental até a zona de arrebentação das ondas;
3. Correntes litorâneas geradas por ondas na zona de arrebentação. Tais correntes atuam somente na zona de arrebentação das ondas, o que compreende uma faixa, em geral, com menos de 100 m junto à linha de costa.

Deste modo, as correntes que atuam sobre a plataforma continental e podem levar a pluma de lama para norte dependem dos ventos , como ilustrado ma Figura 33.

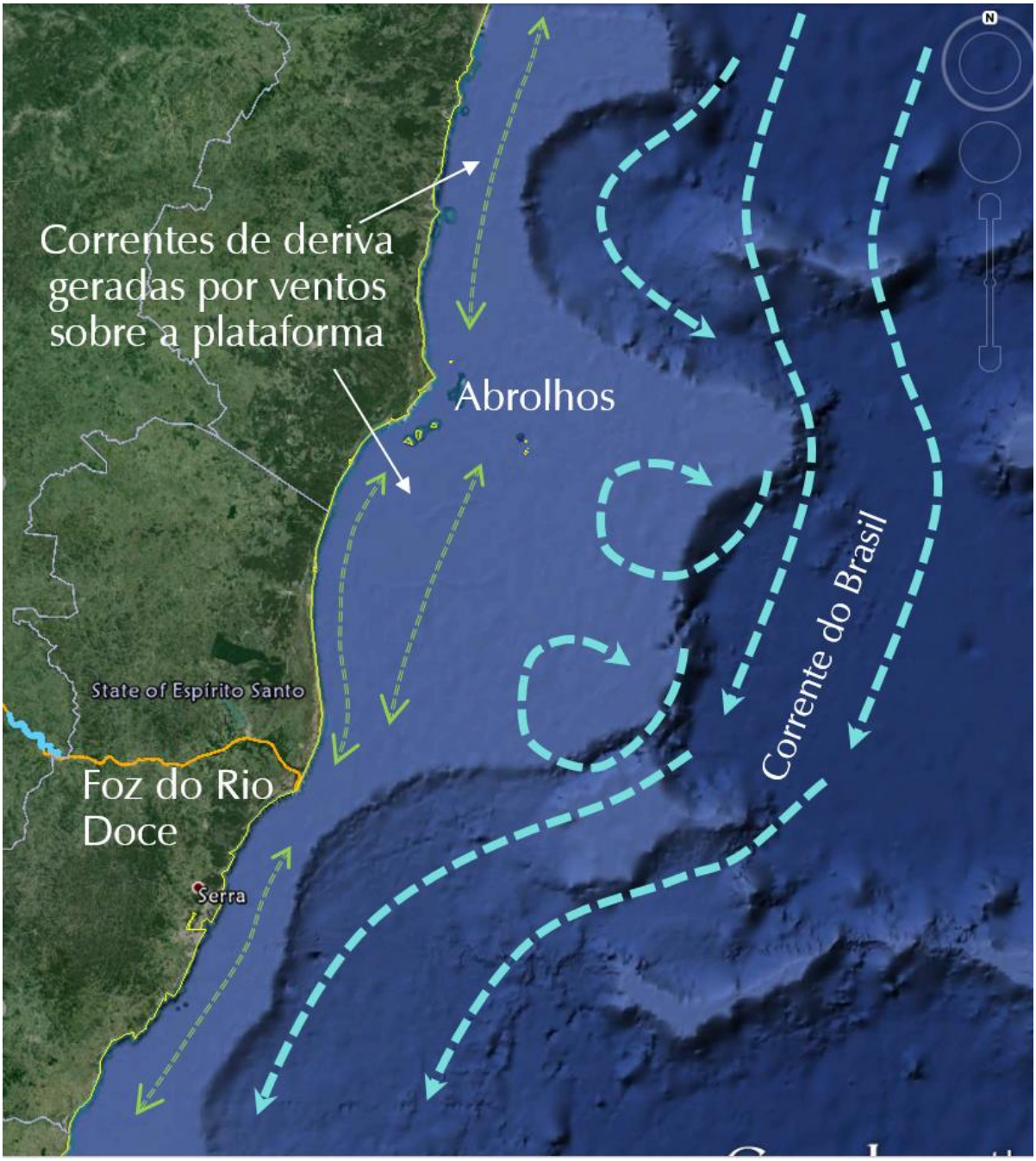


Figura 33 – Mapa mostrando a localização da foz do Rio Doce e do arquipélago de Abrolhos, a cerca de 215 km para NNE. As setas verdes indicam as correntes geradas por ventos na plataforma continental, que podem ocorrer para norte ou para sul, dependendo da direção dos ventos, e as setas azuis mostram a Corrente do Brasil que sempre flui para sul, em águas mais profundas, fora da plataforma continental.

4.5.1 Avaliação da deriva da pluma da foz por correntes de geradas por ventos

Para uma análise estendida até agosto de 2016 de possibilidade da pluma de sedimentos que sai da foz do Rio Doce migrar para norte, fez-se uma avaliação por padrões de similaridade, considerando o histórico de ventos de novembro de 2015 a agosto de 2016 e, dados de correntes medidos por ADCP e fornecidos pela Vale S.A., os quais abrangem um período de 15 dias, entre 02 e 17 de junho de 2016, em ponto localizado na Figura 34.

Figura 34 – Localização dos pontos de obtenção de dados de correntes e ventos utilizados nas análises. Os dados de correntes foram medidos por ADCP e fornecidos pela Vale S.A. Os dados de ventos foram obtidos do modelo de reanálise ERA-INTERIM.

A Figura 35 mostra uma análise comparativa entre as magnitudes da corrente e do vento. Os dados selecionados de correntes correspondem aos valores medidos pelo ADCP para a camada de 13 m de profundidade. A profundidade do local é 26 m. Optou-se por escolher a camada de 13 m, pois dentre os dados disponíveis, esta é a que melhor representa a corrente média na coluna d'água, a qual mostra o transporte efetivo dos sedimentos em suspensão. Observou-se uma modulação da corrente em relação ao vento, de forma que a magnitude da corrente média é cerca de 4% da magnitude do vento.

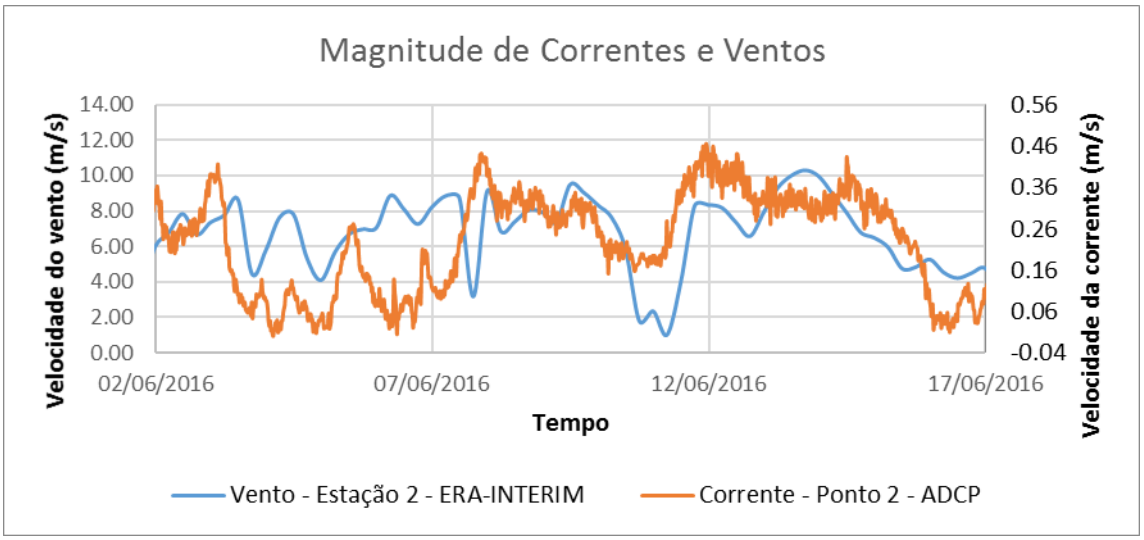


Figura 35 – Avaliação da magnitude da corrente medida por ADCP, considerando-se dados da camada à meia coluna d'água, em função da magnitude do vento obtido pelo modelo de reanálise ERA-INTERIM. Observou-se que a magnitude da corrente é cerca de 4% da magnitude do vento.

A Figura 36 e a Figura 37 mostram, respectivamente, os valores de direção e velocidade dos ventos para a Estação 2 dos dados de ventos apresentados na seção 4.2.7. Tais dados compreendem o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016 e foram obtidos através do modelo de reanálise ERA-Interim, disponibilizado pelo *European Centre for Medium-range Weather Forecasts* (ECMWF). Ventos provenientes de Azimutes entre 125° e 215°, faixa azul claro, são os que podem gerar correntes que transportariam a pluma da foz do Rio Doce para o norte.

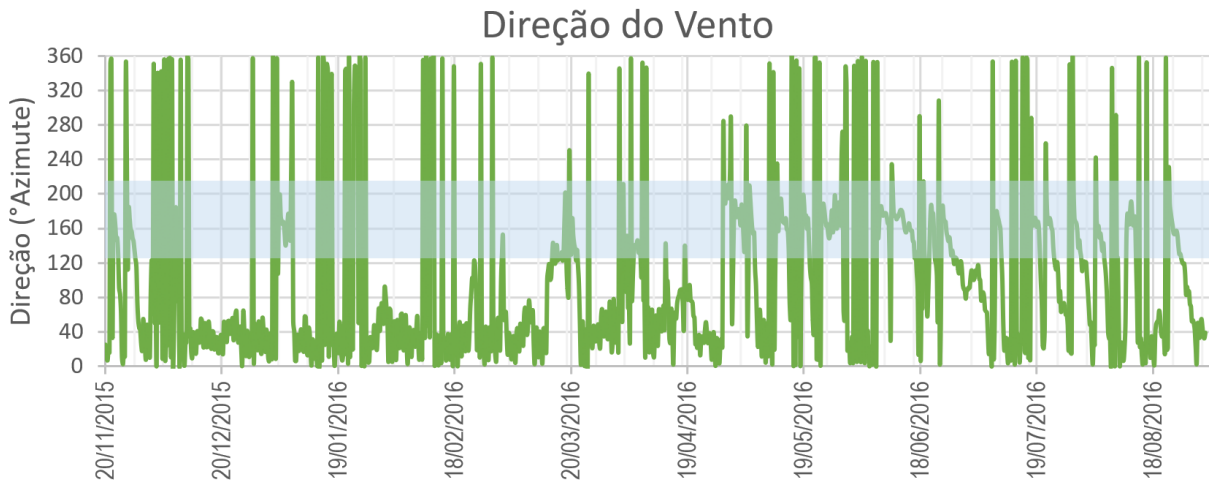


Figura 36 – Direção dos ventos para um ponto próximo à foz do Rio Doce, conforme mostra a Figura 34Figura 33, para o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016. A faixa azul destaca direções capazes de gerar correntes para norte.

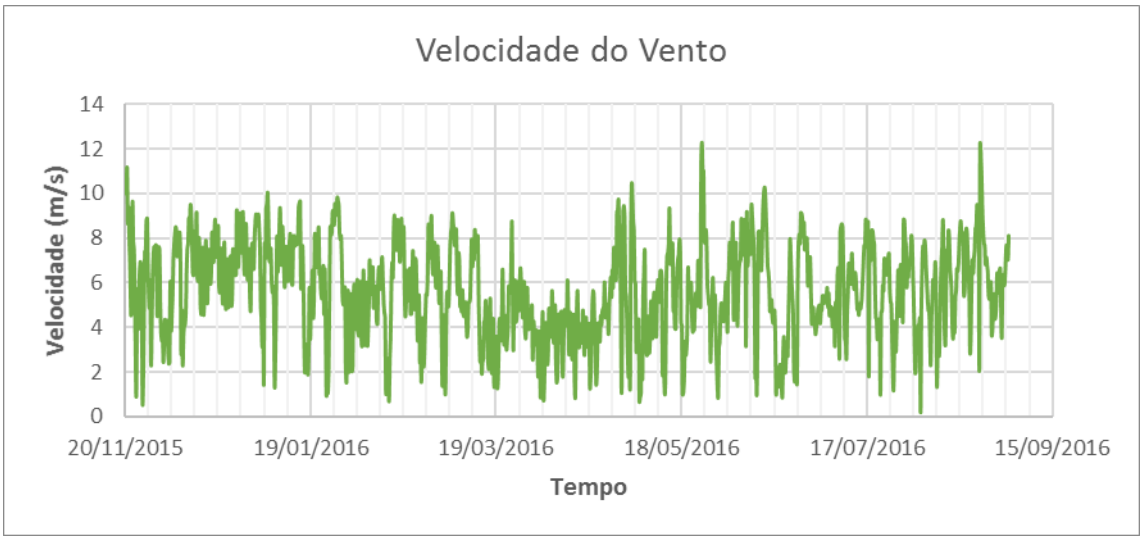


Figura 37 – Velocidade dos ventos para um ponto próximo à foz do Rio Doce, conforme mostra a Figura 34, para o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016.

Na região da foz do Rio Doce a linha de costa tem uma inclinação de 35° azimute em relação ao norte verdadeiro. Isso quer dizer que ventos provenientes da direção 215° (sudoeste) são os que tem a maior capacidade de gerar correntes que vão para norte.

Assim, foi calculada a componente longitudinal do vento em relação à linha de costa, considerando esta inclinação de 35º, para toda a série de dados. Em seguida analisou-se os períodos de maior persistência de deriva para norte.

A Figura 38 mostra a série temporal da componente longitudinal da velocidade da corrente, a qual foi calculada como sendo 4% da velocidade do vento. Valores positivos indicam corrente para norte e valores negativos, correntes para sul. Destaca-se que este valor é a favor da segurança.

A partir disso, para correntes que vão para o norte, foi feita uma estimativa de qual a distância que uma partícula em suspensão percorreria, sendo transportada por esta corrente, durante este período. Tais estimativas estão indicadas pelos pontos verdes na Figura 39.

É importante ressaltar que a deriva estimada por esse método corresponde a uma **Deriva Potencial**, i.e., representa o máximo que uma partícula em suspensão poderia ser transportada por uma determinada condição hidrodinâmica. Há que se considerar ainda dois fatores, que fazem com que o a **Deriva Efetiva** seja menor:

1. A diluição sofrida pela pluma de sedimentos ao chegar à zona costeira, vide Figura 27, que faz com que, quanto mais afastado da embocadura, menor seja a concentração de sedimentos em suspensão. Pela análise dos resultados na Figura 26, verifica-se uma diluição para norte de no mínimo 50% a cada 10km;
2. A concentração de sedimentos que se encontra na foz do Rio Doce, no momento em que ocorre a inversão das correntes para norte. Se as concentrações estiverem baixas, haverá transportes, mas as concentrações serão irrelevantes.

A Figura 39 apresenta a série temporal de SST que chega na foz do Rio Doce sobreposta aos valores calculados de deriva para norte. Os pontos são afastados no tempo, pois predominantemente ocorre deriva para o sul.

Considerando os 4 primeiros meses após a chegada da carga de SST no mar, entre 20/11/2015 e 20/03/2016, o período com maior persistência de ventos para norte ocorreu entre 03 e 07/01/2016. Foi neste período que ocorreram maiores concentrações para o norte, conforme se vê no gráfico da Figura 39, e em mapa da Figura 28.

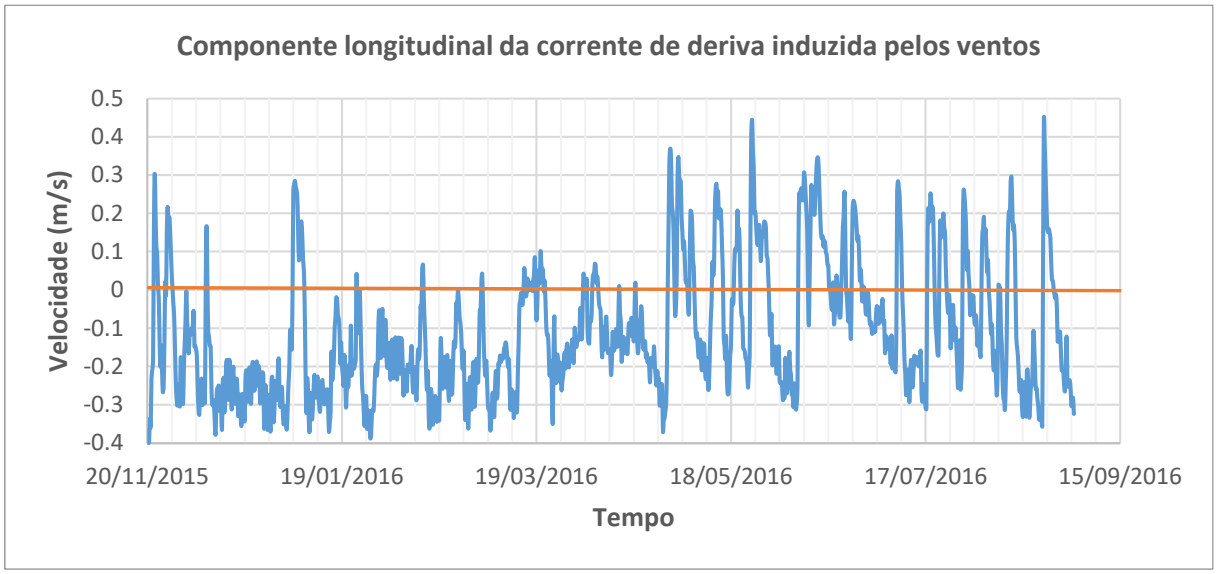


Figura 38 – Componente longitudinal da velocidade. Valores positivos indicar corrente para norte e valores negativos indicam correntes para sul.

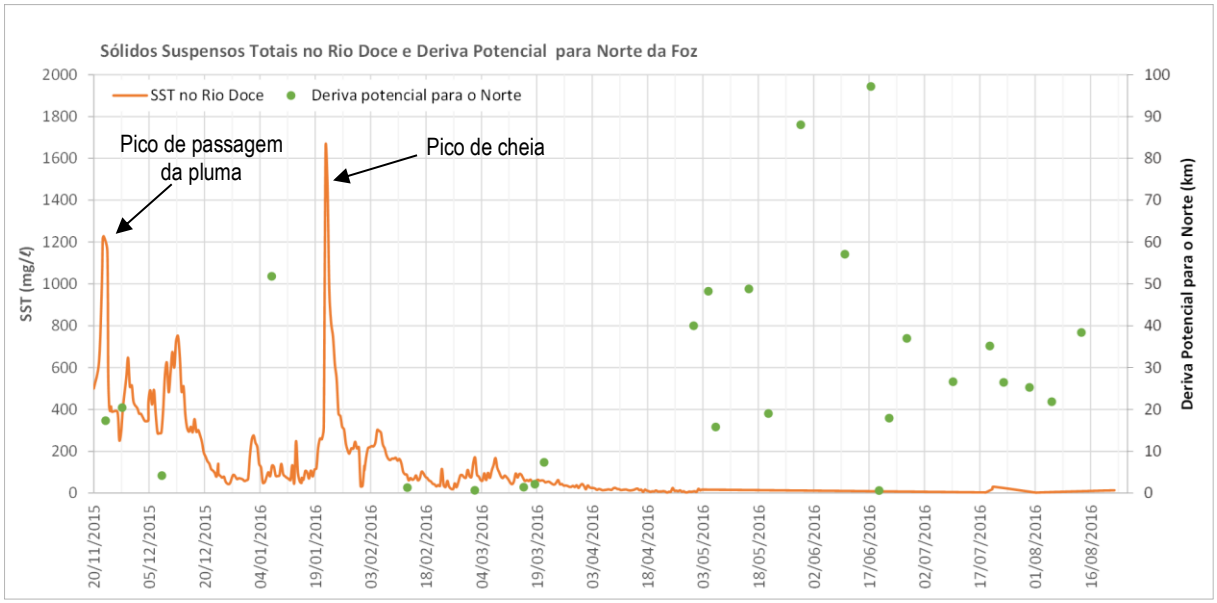


Figura 39 – Os círculos verdes indicam a deriva potencial para o norte por correntes geradas pelos ventos indicados na Figura 38. Os círculos são sobrepostos à série temporal de valores de SST que chegaram na foz no Rio Doce. Fica evidente que nos eventos de máximas derivas para o norte as concentrações de SST eram muito baixas (< 20 mg/L).

Levando em consideração o período de 9 meses após o acidente, o maior tempo contínuo de ventos soprando para norte ocorreu entre os dias 08 e 17/06/2016. Nesse intervalo, as correntes resultam em uma Deriva Potencial da pluma da foz do Rio Doce cerca de 97 km para norte. Entretanto, nesse período as concentrações de sedimentos em suspensão na foz estavam muito baixas, com valores < 15 mg/L. Portanto, neste período, os efeitos da pluma de sedimentos transportada para o norte foram irrelevantes, visto que a cerca de 20 km para norte as concentrações diluídas já estariam abaixo de 5 mg/L.

De maneira geral, valores de Deriva Potencial mais significativos aconteceram a partir de maio de 2016, quando as concentrações de SST já estavam muito baixas. Como o arquipélago de Abrolhos encontra-se a uma distância de mais de 200 km para norte da foz do Rio Doce, durante o período analisado, não houve deriva suficiente para a pluma alcançar o arquipélago. Distâncias de deriva da corrente para norte acima de 90 km só foram registradas quando as concentrações de SST na foz do Rio Doce estavam abaixo de 15 mg/L.

4.5.2 Avaliação da deriva da pluma da foz por correntes do HYCOM até 08/2018

Como exposto no item 3 da seção 2, para extensão do período de avaliação da deriva da pluma até o final de agosto de 2018, extraiu-se dados de velocidades de correntes no ponto indicado no excerto da Figura 2, a seguir. Os dados de correntes diárias foram gerados por reanálise no Atlântico Sul através do HYCOM – *Hybrid Coordinate Ocean Model*, para o período de novembro de 2015 a agosto de 2018. O HYCOM representa um consórcio multi-institucional patrocinado pelo *National Ocean Partnership Program* (NOPP) como parte do *U.S.* GODAE – *Global Ocean Data Assimilation Experimet*, que trabalha para o desenvolvimento e avaliação do próprio modelo oceânico HYCOM e seu sistema de assimilação de dados denominado NCODA – *Navy Coupled Ocean Data Assimilation*.

(Excerto da Figura 2)

A Figura 40 mostra a série temporal de correntes médias na coluna de água paralelas à linha de costa entre 01/11/2015 e 31/08/2018, no ponto indicado acima. As correntes médias na coluna de água são as correntes características para efetivo transporte da pluma de sedimentos finos em suspensão que sai da foz do Rio Doce. A assertiva é comprovada pelo fato de perfis de velocidade ao longo da coluna de água não apresentarem velocidades reversas em diferentes camadas, como exemplificado na Figura 41.

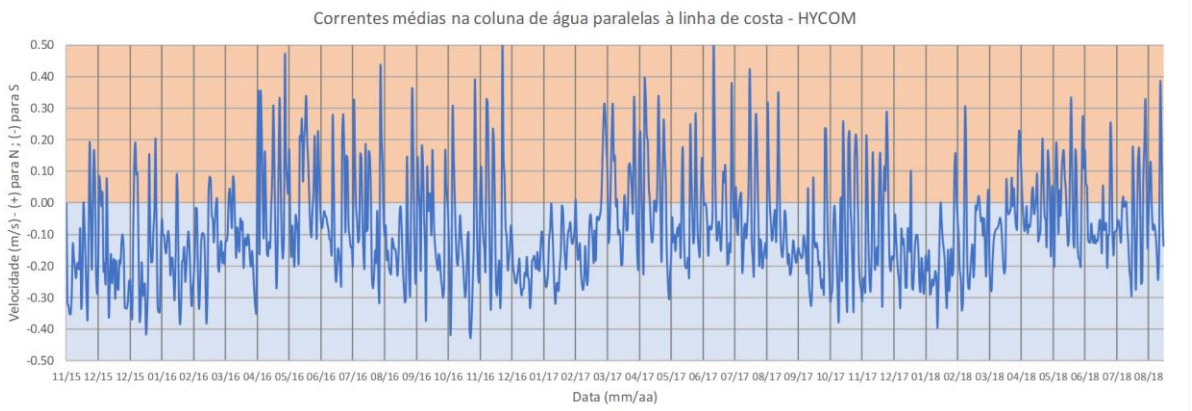


Figura 40. Correntes médias na coluna de água paralelas à linha de costa entre 01/11/2015 e 31/08/2018. As correntes médias são as mais representativas para transporte da pluma de sedimentos da foz do Rio Doce, pois não há correntes reversas em diferentes camadas da coluna de água, v. Figura 41.

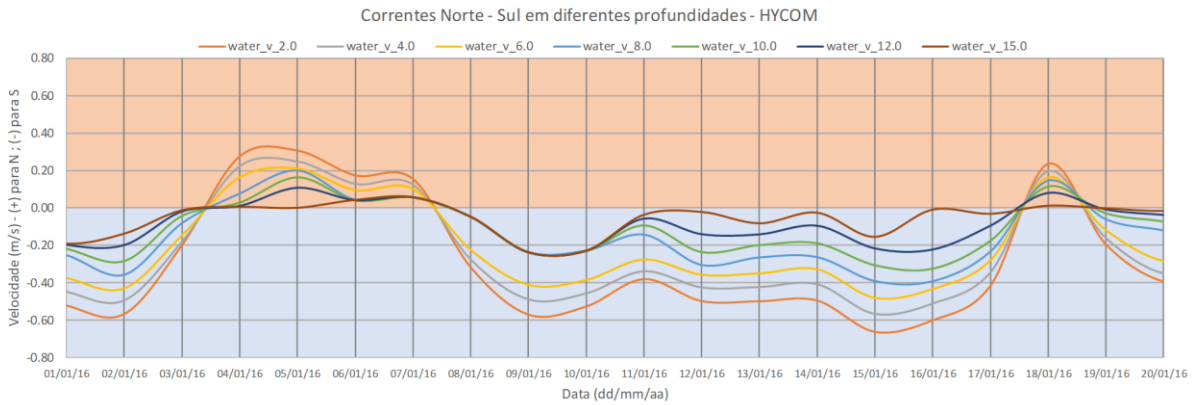


Figura 41. Exemplos de séries temporais de correntes entre 01/01/2016 e 20/01/2016 com valores nas profundidades de 2 a 15 m, extraídas de resultados de reanálise do HYCOM. Destaca-se que não ocorrem eventos com correntes reversas nas camadas superiores e inferiores, garantindo que a média na coluna de água efetivamente é a velocidade característica para transporte de sedimentos em suspensão.

Como já discutido, a persistência de correntes para Sul é vastamente maior do que para Norte. Como mostra a tabela ao lado, pelos dados do HYCOM, cerca de 74% do tempo as correntes são para Sul, e 26% para Norte. A dominância das correntes para Sul é visualmente evidente na série temporal da Figura 40.

Vel (m/s)	*%Ocorrência*	*%Acumulado*
-0.5	0.0%	0.0%
-0.4	0.3%	0.3%
-0.3	5.1%	5.4%
-0.2	18.6%	24.1%
-0.1	28.5%	52.6%
0	21.4%	74.0%
0.1	11.1%	85.1%
0.2	8.3%	93.4%
0.3	3.8%	97.2%
0.4	2.3%	99.5%
0.5	0.5%	100.0%

Estatísticas das correntes do HYCOM estampadas na série temporal da Figura 40.

Com base nas correntes médias na coluna de água, avaliou-se a distância de deriva da pluma da foz do Rio Doce. O cálculo da deriva resulta da integração da velocidade no tempo, voltando sempre ao zero quando ocorre inversão no sentido das correntes. Portanto, quanto maior for a persistência das correntes em um dado sentido, maior será a deriva. O gráfico da Figura 42 apresenta os resultados obtidos, onde se destaca que os valores de deriva para Sul estão truncados, pois excedem os 200km. Para Norte, a máxima deriva foi de quase 150 km em 06/2016, entretanto nesta época as concentrações de sedimentos em suspensão no Rio Doce eram muito baixas, como indicam os gráficos de SST na Figura 39 e de NTU na Figura 43.

Cotejando os valores de deriva para o norte no gráfico acima, com os valores de sedimentos finos em suspensão na Figura 39 e de turbidez na Figura 43, constata-se que nos evento de deriva para o norte a contribuição da pluma do Rio Doce para a turbidez das águas litorâneas foi muito reduzida. Este fato é relevante para uma melhor interpretação de plumas de turbidez ao longo do litoral ao norte da foz do Rio Doce, que são analisadas no documento RT ECV 138-17_Analise_Final_REV00_red.pdf, jun/2017, da empresa Econservation, sobre "Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho". Fica claro, que na maior parte, a turbidez obtida em imagens aéreas não é predominantemente devido à pluma do Rio Doce, mas de origens diversas. Frisa-se que nos eventos de ressacas de SE, é notória a ocorrência de maior turbidez na faixa de arrebentação das ondas, fato este que não tem relação com a pluma de sedimentos finos da foz do Rio Doce.

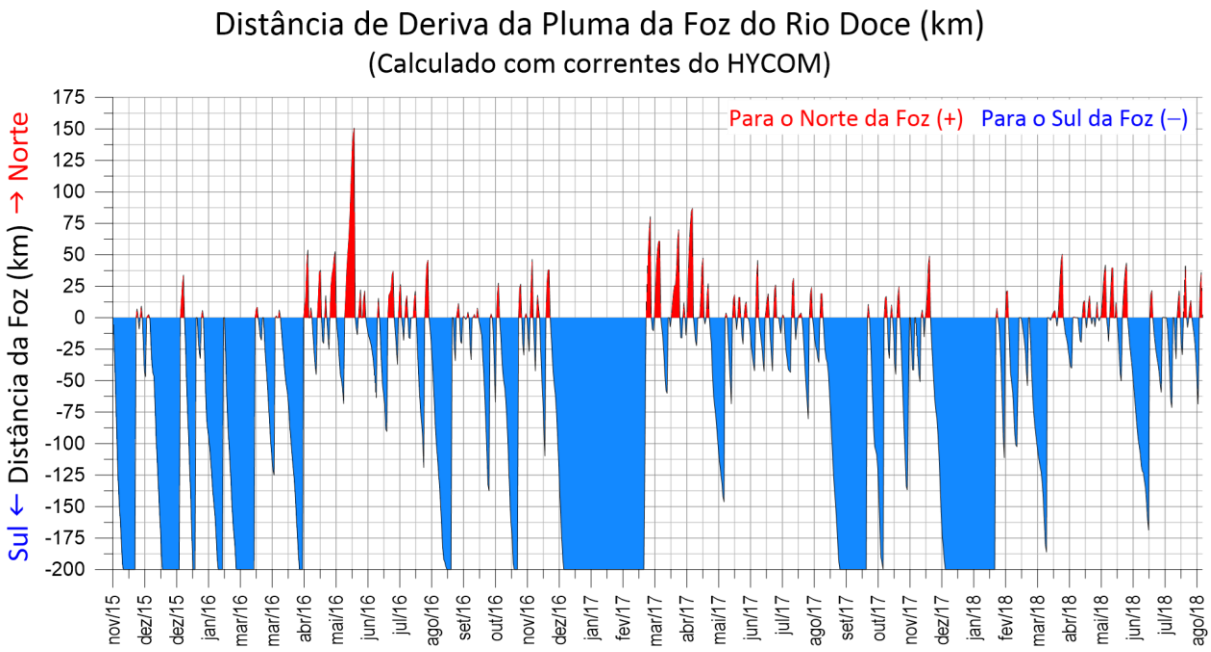


Figura 42. Distâncias de deriva da pluma de sedimentos finos da foz do Rio Doce transportada por correntes de reanálise do HYCOM entre 01/11/2015 e 31/08/2018. Os valores para Sul estão truncados, pois em face da muito maior persistência ultrapassam os 200 km indicados. Para Norte, a máxima deriva foi de quase 150 km em 06/2016, entretanto nesta época as concentrações no Rio Doce eram muito baixas, como indicam os gráficos de SST na Figura 39 e de NTU na Figura 43.

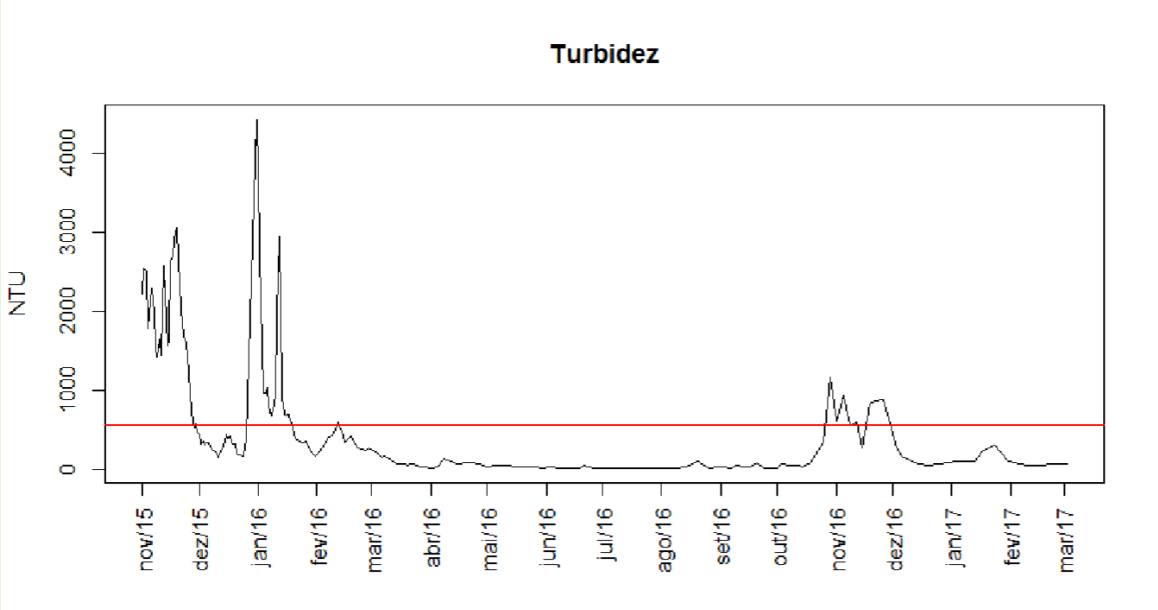


Figura 3.3.1-6: Turbidez da água durante o período do monitoramento.

Figura 43. Gráfico de série temporal de turbidez no Rio Doce, próximo à foz, extraído do relatório: RT ECV 138-17_Analise_Final_REV00_red.pdf, jun./2017, da empresa Econservation, sobre "Análise integrada dos contornos da Figura 43 deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho". A linha laranja indica a linha de corte de 100 NTU (equivalente ao Limite da CONAMA 357/05 para Águas Doces Classe 2).

Pelo exposto, fica evidente, que os mecanismos naturais de transporte da pluma da foz do Rio Doce entre novembro de 2015 e agosto de 2018 não tiveram capacidade de transporta-la até Abrolhos. Este demonstrativo corrobora pesquisas apresentadas no documento RT ECV 073-16 - Lev_Abrolhos a Vitoria (leve).pdf, abr/2016, da empresa Ecoconservation, sobre "Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre abrolhos e Vitória", onde se conclui que:

> Apenas numa região muito limitada, dentro da zona de mistura entre a água do Rio Doce com a água do mar, cerca de 15 km de distância em relação à costa, é possível verificar-se uma influência dos rejeitos oriundos da empresa Samarco. Esta influência manifesta-se em termos de alumínio, ferro e manganês na fração total, enquanto em termos de fração dissolvida esta distância reduz-se para 1,5 km. Mesmo nesta região mais próxima à costa, não foi possível constatar a presença de metais pesados em concentração superior aos limites da resolução CONAMA no 357/2005 para águas salobras.
>
> Não foi possível verificar-se uma influência da pluma originada à partir do Rio Doce na região do Arquipélago de Abrolhos. Apenas elementos, naturalmente, presentes na água do mar, como bário, apresentaram valores acima do limite de quantificação. É importante ressaltar as evidências de um aporte de água subterrânea nesta região, cuja presença poderia ser investigada através de pesquisas para uma melhor compreensão da sua biogeoquímica local.

Por fim, vale mencionar que o trabalho apresentado no documento DCOM_relatorio_UERJ_versao_final.pdf, mai/2016, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, sobre "Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos", *não considera mecanismos de transporte*, o que torna o trabalho duvidoso.

5 Conclusões

Sobre premissas da proibição da pesca:

- Entende-se que a proibição da pesca na zona demarcada pela linha vermelha na imagem da Figura 2, baseou-se no princípio da precaução, em vista da suposição que a pluma de água barrenta oriunda da ruptura da barragem de Samarco que chegou ao baixo rio Doce, seu estuário e zona costeira adjacente, conteria sedimentos com elementos tóxicos.
- Presume-se que a demarcação se estendeu mais para o norte, 45km, do que para o sul, 30km, pois áreas mais sensíveis ambientalmente estariam para o norte.

Fatos relacionados às premissas:

- As análises realizadas com dados medidos e valores conservadores para parâmetros ambientais, cf. seções 4.2 e 4.3, mostram que a pluma de sedimentos provindos do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão que chegaram ao litoral foram transportada pelas correntes costeiras predominantemente para sul.
- Esse comportamento é devido às correntes costeiras da região serem fortemente influenciadas pelos ventos. Como os ventos reinantes na região são de quadrante nordeste, as correntes induzidas vão em direção ao sul, causando o transporte predominante da pluma para sul.
- No "Capítulo 8 – *Amostragem e Avaliação Físico-Química e Mineralógica de Rejeitos e Sedimentos*" do Relatório Final do Projeto COPPE-20275 intitulado "AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO EM MARIANA NOVE

MESES APÓS O DESASTRE", contratado pela Vale S.A à Fundação Coppetec em 08/2016 e findo em 01/2017, apresentam-se detalhadas análises sobre composição química de sedimentos colhidos ao longo de 680 km, desde o local da ruptura da barragem da Samarco até a foz do Rio Doce. A imagem a seguir, cf. Figura 8.5, ilustra os locais de coleta de cerca de 200 amostras, com os cuidados de em cada local coletar amostras em diferentes pontos, e sempre que possível uma que representasse condições naturais não impactadas, para contrapova.

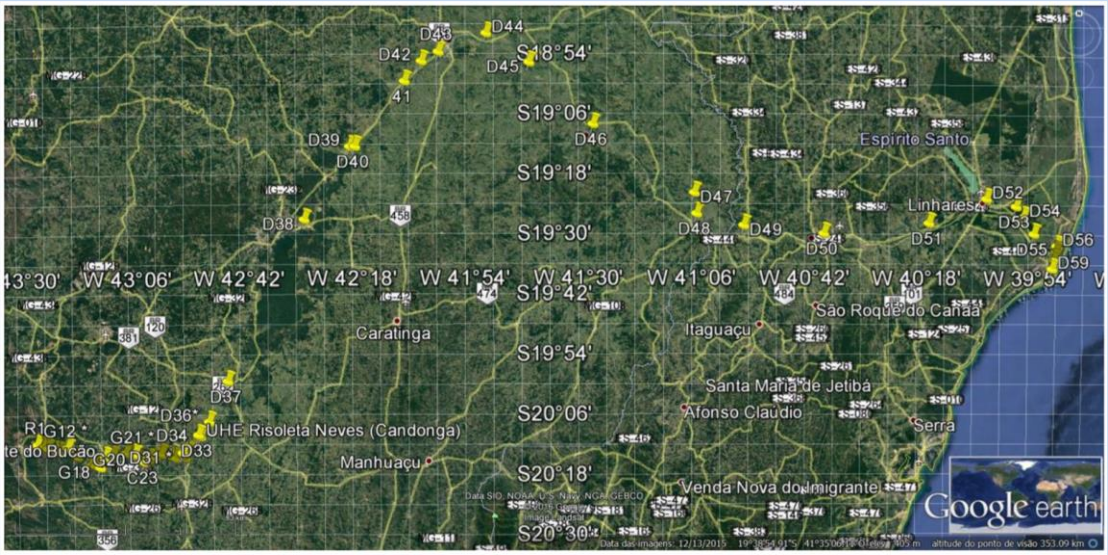


Figura 8. 5 Mapa Geral com Pontos de Amostragem

O resumo das conclusões de tal estudo foi: "*...metais pesados presentes nos rejeitos de Santarém e nos sedimentos não representam riscos à contaminação ambiental*."

- Com relação aos impactos na qualidade da água devido às concentrações de sedimentos em suspensão, levando em consideração os dados disponibilizados de sedimentos suspensos totais, SST, observou-se que concentrações mais elevadas, > 500 mg/L, ficaram restritas à região fluvial e estuarina do Rio Doce e à região costeira vizinha à embocadura, até cerca de 5 km, chegando até as proximidades do litoral da cidade de Regência. Entretanto, a partir do mês de abril, as concentrações registradas em Linhares, que chegaram à foz do Rio Doce, permaneceram em valores baixos, menores que 20 mg/L, o que presumivelmente não causa impactos significativos na qualidade da água, por ser valor até abaixo do usual em rios naturais.

- A Figura 39 mostra a série temporal de sedimentos suspensos totais (SST) que chegaram ao estuário do rio Doce entre 20/11/2015 e 31/08/2016. Conforme comentado na seção 4.4, o maior valor registrado na série de dados é consequência do aumento da vazão no Rio Doce, cf. Figura 9, causado pela cheia por volta de 20/01/2016. Importante ressaltar que em eventos como esse, grande parte da carga de sedimentos é oriunda do carreamento feito pelas chuvas na bacia hidrográfica, portanto é provável que uma parcela considerável da concentração medida nesse período não seja de sedimentos vindos do rompimento da barragem.

- Como se vê a partir da página 48 nos mapas de isolinhas de ocorrência de concentrações acima de 20, 50 e 100 mg/L, respectivamente apresentados na Figura 29, Figura 30 e Figura 31, nos período mais crítico de sedimentos finos em suspensão oriundos da foz

do rio Doce, entre 20/11/2015 e 20/03/2016, a persistência de concentrações relevantes para norte é muito menor que para sul.

- Durante passagem de frentes frias, que trazem ventos de quadrante sudeste, há períodos com correntes que vão para norte. Tais padrões persistem por poucos dias, e nesse intervalo a pluma de sedimentos da foz do Rio Doce é transportada para o norte.
- A análise de deriva da pluma por período estendido até 31/08/2018, conforme apresentado na seção 4.5.2, corrobora e sustenta os resultados prévios. Há consonância entre as análises apresentadas e os documentos analisados, com apenas duas ressalvas mencionadas na seção 4.5.2, quanto ao estudo da UERJ e às análises de imagens aéreas de plumas de turbidez no litoral norte da foz.
- A análise feita mostra que é muito pequena a possibilidade da pluma de sedimentos do Rio Doce migrar para norte por tempo suficiente para atingir o arquipélago de Abrolho, que fica a mais de 200 km para o norte da foz. E, mesmo que eventualmente aconteça um transporte persistente para o norte por muitos dias, de modo a levar a pluma até Abrolhos, a concentração de sedimentos na pluma diluída que lá chegasse seria bem inferior a 1% dos valores registrados em Linhares, ou seja, insignificante.
- A este respeito, a máxima deriva da pluma para norte foi estimada em 150km, na segunda semana de junho de 2016, portanto distante ainda cerca de 70km do arquipélago de Abrolhos. Ainda assim, neste período de 8 a 17/06/2016, as concentrações de sedimentos finos em suspensão que saíram da foz foram inferiores a 15 mg/L, valor já muito baixo para impacto relevante. Considerando ainda efeitos de diluição na zona costeira, a menos de 20 km para norte da foz as concentrações já seriam irrelevantes, pois seriam abaixo de 2 mg/L.

Tudo considerado, conclui-se que a sustentação do banimento da pesca carece de fundamentos.

6 Principais documentos consultados

COASTAL ENGINEERING MANUAL, 2002, U.S. Army Corps of Engineers.

ROSMAN, P. C. C., et al., 2016, *Referência Técnica do SisBaHiA®*, Fundação COPPETEC – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

VAN RIJN, L. C., 1989, *Handbook: Sediment transport by currents and waves.* Delft Hydraulics, Netherlands.

Relatório Final do Projeto COPPE-20275 intitulado "AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO EM MARIANA NOVE MESES APÓS O DESASTRE", contratado pela Vale S.A à Fundação Coppetec em 08/2016 e findo em 01/2017, em especial:

- Capítulo 4 – Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente"
- Capítulo 8 – Amostragem e Avaliação Físico-Química e Mineralógica de Rejeitos e Sedimentos".

Documentos fornecidos pela Aplysia:

- Resolução 989_2016 - Anvisa proibicao da pesca (1).pdf

- Proibicao-da-Pesca-na-Bacia-do-Rio-Doce-Portaria-IEF-N-146-de-31-de-outubro-de-2016 (1).pdf
- RT ECV 073-16 - Lev_Abrolhos a Vitoria (leve).pdf, abr/2016, da empresa Ecoconservation, sobre "Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre abrolhos e Vitória".
- 5.RT AMB 075-16.pdf, abr/2016, da empresa Amblev, sobre "Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce".
- DCOM_relatorio_UERJ_versao_final.pdf, mai/2016, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, sobre "Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos."
- RT_011-159-515-2282_00-B.pdf, mai/2016, da empresa Golder Associates, sobre "Análise da ocorrência de deposição de rejeitos oriundos da barragem de fundão no ambiente marinho adjacente ao Rio Doce".
- RT ECV 138-17_Analise_Final_REV00_red.pdf, jun/2017, da empresa Econservation, sobre "Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho".
- 20171123 - Geoquímico Rev Final Desbloqueado.pdf, com planilhas Anexo E_Editável.xlsx, Anexo H_Editável.xlsx e Anexo R_Editável.xlsx, out/2017, da empresa Golder Associates, sobre "Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos".

7 Reconhecimentos

Os seguintes técnicos participaram do desenvolvimento de trabalhos apresentados neste relatório:

- **Ludmila Assunção Pinheiro**, Oceanógrafa - UFPA, M.Sc. em Geologia no IGEO/UFRJ, D.Sc. em Engenharia Oceânica na Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica na COPPE/ UFRJ, na época pesquisadora em pós-doutorado na mesma área: participou de desenvolvimento de modelos, análise de dados, elaboração de mapas e gráficos e edição de partes deste relatório.
- **Patricia Auler Rosman**, Matemática/Informática no IM/UFRJ, M.Sc. em Engenharia de Sistemas na COPPE/UFRJ: Especialista em Tecnologia da Informação, responsável pela manutenção evolutiva do SisBaHiA® e suporte técnico ao sistema de modelagem.
- **Paulo Cesar Colonna Rosman**, Eng. Civil/Recursos Hídricos na Poli/UFRJ, M.Sc. Eng. Oceânica na COPPE/UFRJ e Ph.D. em *Coastal Engineering* – MIT-USA: Coordenador técnico, participou de desenvolvimento de modelos, análise de dados, elaboração de mapas e gráficos e edição geral deste relatório.
- **Rodrigo dos Santos Peixoto**, Eng. Ambiental - Poli/UFRJ, M.Sc. em Engenharia Costeira e Oceanográfica na COPPE/ UFRJ, atualmente doutorando na mesma área: participou de desenvolvimento de modelos, análise de dados, elaboração de mapas e gráficos e edição de partes deste relatório.

Rio de Janeiro, 31 de agosto de 2018.

Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman
COORDENADOR DO PROJETO

Antonio Carlos Fernandes
COORDENADOR
PROGRAMA DE ENGENHARIA OCEÂNICA

Fernando Alves Rochinha
DIRETOR SUPERINTENDENTE
FUNDAÇÃO COPPETEC

____ Ω ____

CAPÍTULO 2

OCEANOGRAFIA QUÍMICA E BIOACUMULAÇÃO

Dr. Luis Felipe Hax Niencheski

Parecer Técnico Independente

Avaliação dos documentos técnicos relativos à qualidade do pescado no Rio Doce e zona costeira adjacente.

Versão Final

Luis Felipe Hax Niencheski

Sumário

Introdução
Parte 1. Avaliação crítica de métodos e apresentação de resultados
1.Avaliação crítica dos métodos de análise
1.1.Análise dos Itens 17 a 21
1.2.Análise dos Itens 22 e 23
2.Avaliação crítica sobre apresentação de resultados

Parte 2. Interação metais na água – sedimento - biota
2.1.Interação metais na água – sedimento
2.1.1.Na zona costeira
2.1.2.No Rio Doce
2.2.Interação metais na água e biota: Bioacumulação
2.2.1 Trabalhos desenvolvidos pelo Instituto de Ciências Biológicas da FURG
2.2.2 Trabalhos desenvolvidos por instituições participantes (UFVJM, Econservation, Aplysia, Bioma, Hydrobiology, Golder) e ANVISA.
2.3. Invertebrados
2.4. Deposição de rejeitos
2.5. Hidrografia
2.6. Ictiofauna
2.7. Macroalgas e Manguezal
2.8. Relatórios COPPE

Parte 3. Releitura dos dados brutos de metais na biota

Parte 4: Comentários gerais com base nos estudos/relatórios disponibilizados.
4.1. Definição de estratégia de execução de estudos complementares
4.2. Recomendações
4.3. Informações alentadoras
4.4. Relatórios complementares: informações relevantes sobre o estudo.

Parte 5. Consideração final
Referências bibliográficas
Anexos

Rio Grande, 30 de agosto de 2018.

Introdução

Conforme consta na Proposta de Prestação de Serviço, deve ser elaborado um Parecer Técnico Independente baseado na avaliação crítica dos dados já disponibilizados pela Fundação Renova, no que tange aos assuntos relativos à minha área de especialidade e expertise.
Dessa forma, considerando a Base Documental recebida, foram efetuadas considerações sobre os temas Físico-Químicos: Água e Sedimentos, Invertebrados, Bioacumulação, Deposição de Rejeitos, Macroalgas e Manguezal e Relatórios COPPE, para evidenciar a linha de argumentação definida a partir dessa análise dos dados, esclarecendo tecnicamente quais condições bióticas e/ou abióticas são favoráveis ou contrárias à manutenção da proibição de pesca. Este Parecer Técnico avalia os resultados disponibilizados até o momento, nos termos descritos a seguir.

Parte 1. Avaliação crítica dos métodos de análise

1.2. Análise dos documentos revisados, Itens 17 a 21, da Tabela 1.

Os itens 17 a 21 referem-se a relatórios apresentados pelo Instituto de Ciências Biológicas. Com relação às coletas e análise de água, os comentários são os seguintes:

1. Ausência de informação sobre a limpeza prévia do material para análise de traços.
2. Falta de informação sobre guincho, cabo e garrafa de coleta. Não há referencia sobre o tipo de garrafa utilizado e qual o processo de abertura e transferência para frascos menores. Também não é descrito o modo de estocagem e transporte até os laboratórios para análise.
3. Pequeno volume de água coletado: 10 mL. Este volume é muito reduzido, o que pode levar facilmente a erros. Quando existe grande adição de reagente ao volume inicial da amostra, cada reagente torna-se um vetor de contaminação. Por isso, preconiza-se irradiação da amostra com UV, para evitar introdução de objetos estranhos à matriz original da amostra.
Necessita-se de volumes maiores (500 mL), conforme é apresentado em Windom, H.L., Moore, W.; NiencheskiI, L.F. e R. Jahnke (2006). Submarine Groundwater Discharge: a Large, Previously Unrecognized Source of Dissolved Iron to the South Atlantic Ocean. Marine Chemistry. Vol 102, Issues 3-4, p. 252-266. Esse artigo traz uma descrição completa de método de análise de metais em águas oceânicas.
4. Manipulação a bordo: deve ser feita em ambiente limpo, executado em capela portátil ou aparato similar, que garanta a ausência de contaminação pelo meio flutuante. Não há informação sobre os procedimentos aplicados;
5. Acidificação a bordo: é uma etapa necessária e bastante complicada, podendo levar facilmente à contaminação. Não há descrição sobre como esta tarefa foi executada.
6. Uso de resinas: deveria ter sido usada Resina Chelex 100^{R} ou similar, como a Toyopearl^{R} .
7. Filtração a bordo: para elementos traços dissolvidos no ambiente marinho, a metodologia preconiza o uso de filtro Nuclepore^{R} de 0,2 µm.
O método escolhido e apresentado nos Itens 17 a 21 é o de Nadella et al., 2009 (Toxicity of dissolved Cu, Zn, Ni and Cd to developing embryos of the blue mussel (*Mytilus trossolus*) and the protective effect of dissolved organic carbon. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. Vol. 149, Issue 3, April 2009, p. 340-348). Neste método é indicado que a água do mar deva ser filtrada em porosidade de 0,2 µm, o que não aconteceu, pois é citado ter sido usado filtro com porosidade de 0,45 µm.
Vale lembrar que a escolha do filtro ou membrana apropriado deve ser tomada com base em:
- compatibilidade química entre membrana e amostra;
- tamanho e quantidade de partículas na amostra;
- interações potenciais (ligação) entre a membrana e os componentes da amostra.

Cabe ressaltar que o trabalho de Nadella et al, 2009, que está publicado na Comparative Biochemistry and Physiology, é um método que está muito de acordo com estudos de ecotoxicidade de metais e afins, mas não é um método indicado para análise de traços no ambiente marinho. Para a análise da água do mar, devem ser seguidas recomendações específicas para a manipulação desta complexa matriz, como as acima indicadas no item 3 (Windom et al., 2006), ou aquelas que constam no trabalho de Cutter, Greg (ed) (2014) Sampling and sample-handling protocols for GEOTRACES cruises (In WWW.geotraces.org).
Outra referência é o Livro Série 22 do Instituto do Milênio (Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). 2006. Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006. 156 p. ISBN 85-7427-017-2).
Este livro foi gerado como instrumento para permitir um mínimo de padronização e comparações entre ecossistemas de várias regiões do litoral brasileiro. Nele, estão apresentadas diretrizes metodológicas que abrangem aspectos como estratégia amostral, critérios para escolhas de ambientes impactados e de controle, padronização e calibração de técnicas de detecção e determinação de metais pesados e escolha de organismos indicadores.

8. Deveriam constar nos relatórios os dados brutos, as cartas de controle de qualidade dos laboratórios que executaram as análises, os Limites de Detecção e Quantificação dos métodos, bem como exatidão e precisão baseada no uso de material de referência certificado.

Com relação às análises dos organismos deve ser destacado que:
1. A secagem foi realizada em estufa. Não deve ser usada estufa, pois esta é composta de metal e muitas vezes possui oxidação interna, o que é uma terrível fonte de contaminação das amostras. Por isso, a recomendação é usar o processo de liofilização.
2. A forma mais correta de digestão das amostras utiliza frascos de Teflon® em equipamentos de micro-ondas laboratorial.
3. A metodologia deve ser aplicada de forma igual tanto para amostras, como para brancos, padrões e material certificado. Entretanto, é apresentado no relatório que somente os materiais certificados foram digeridos em micro-ondas.

1.2. Análise dos documentos revisados, Itens 22 e 23 (Tabela 1)

Item 22 UFVJM. A metodologia de análise é incompleta, não permitindo fazer análise crítica.
Item 23 Econservation.
Metodologia de análise apresentada de forma completa. Como ponto negativo deve ser indicado o não uso do forno de micro-ondas para a digestão das amostras.

Parte 2. Avaliação crítica sobre apresentação dos resultados

Muitos relatórios apresentados não fazem menção à relação existente (ou não), entre o tamanho/peso dos indivíduos e a massa de metal bioacumulada ou bioconcentrada. Os dados não são apresentados por espécie de peixes ou valores individualizados e sim, agrupados em um bloco, apresentando a variação temporal e espacial da concentração de metais nas amostras de pescado, ao longo do monitoramento realizado, o que impossibilita extrair uma série de informações interpretativas, que seriam extremamente úteis na compreensão do processo de bioacumulação dessa região da foz do Rio Doce e proximidades, tais como:
- taxa de acumulação em relação ao tamanho/peso;

- sazonalidade das espécies;
- espécies de curto e longo prazo de vida;
- posição das espécies na cadeira trófica;
- hábitos alimentares
- sexo e
- posição das espécies na coluna d´água.

A própria RDC No. 42, de 29 de agosto de 2013, apresenta os limites máximos para contaminantes inorgânicos segundo espécies de peixes.

Por exemplo, para Cd apresenta limites diferenciados, ou seja, para peixes crus, congelados ou refrigerados o valor limite é de 0,05 mg/Kg. Mas, esse valor limite é ampliado quando se trata das seguintes espécies: bonito, carapeba, enguia, tainha, jurel, imperador, cavala, sardinha, atum e linguado, onde é estabelecido o limite de 10 mg/Kg e, quando a espécie é anchova e peixe espada, o limite passa a ser 0,30 mg/Kg.

Outro aspecto que deve ser comentado relaciona-se às unidades. Há relatórios que expressam unidades µg/g de peso úmido, ao passo que outros, apresentam unidades em µg/Kg de peso úmido.

Isto é uma diferença de várias ordens de magnitude, que torna a comparação entre relatórios difícil, para não dizer impossível de ser realizada.

Entretanto, após o recebimento dos Relatórios Complementares, em 14 de agosto, foi possível observar uma evolução na apresentação dos resultados, tendo em vista que foram construídos gráficos com concentrações dos metais para cada espécie considerada.

Por fim, faz-se necessário que os relatórios apresentados e disponibilizados sejam acompanhados de tabelas contendo:
- os dados brutos
- os valores dos brancos
- os materiais de referencia internacional
-os Limites de Detecção e Quantificação do Método, bem como exatidão e precisão baseados no uso de material de referência certificado e,
- apresentação de Carta de Controle de Qualidade.

Parte 2 – Interação metais na água – sedimento - biota

2.1. Interação metais na água – sedimento

Os comentários sobre este item foram elaborados após leitura dos documentos que constam na Base Documental Físico-Químico: Água e Sedimentos, incluindo os itens 1 a 14 (Tabela 1).

2.1.1 Na zona costeira

A Golder iniciou suas atividades junto ao cenário de rompimento da barragem de rejeitos de Fundão ocorrido em 5 de Novembro de 2015, através de levantamentos de campo e do Plano de Recuperação Ambiental, para fornecer respostas iniciais sobre a qualidade da água, do sedimento e ecotoxicologia.

O primeiro trabalho (Item 1 da Tabela 1: Golder) foi efetuado com base na revisão de dados disponiveis até o inicio de janeiro de 2016 e entregue em março de 2016. Este relatório apresentou um resumo dos dados de qualidade de água, qualidade de sedimento e de exotoxicologia coletados no Rio Doce e em alguns tributários no periodo que vai de novembro de 2015 a janeiro de 2016. Neste relatório consta que a qualidade da água do Rio Doce segue alterada no caso de parâmetros como turbidez, solidos totais em suspensão, cor, P total, Al

dissolvido, Fe dissolvido e Mn total. Com relação aos niveis de metais totais no sedimento, o rompimento da barragem não resultou em grandes variações na qualidade do sedimento do Rio Doce. No entanto, o impacto da deposição de sedimentos pode incluir impactos físicos.
O segundo trabalho (Item 2 Golder) foi uma avaliação de arsênio, zinco e selênio em tecidos da biota aquática, em conjunto com a empresa Econservation, onde informaram que tecidos de peixes, camarões e ostras podem conter concentrações de arsênio, selênio (somente para peixes e camarões) e zinco (somente ostras) acima das recomendadas pelas diretrizes brasileiras para consumo de alimentos. Mas, trabalhos subsequentes realizados pela Golder (2016) identificaram que o rompimento da barragem não foi à fonte desses materiais e, recomenda que devam ser identificadas as potenciais fontes naturais e/ou antrópicas de arsênio, selênio e zinco na zona costeira próxima a foz do Rio Doce.
O terceiro trabalho (Item 3 Golder) é uma atualização dos relatórios já apresentados sobre a qualidade da água e sedimento na zona costeira.
Os resultados na coluna d´água indicaram que as concentrações de aluminio total e de ferro total e dissolvido continuaram elevadas na zona costeira próximo da foz e dentro da área de pontos de amostragem próximos a ela.
Concentrações elevadas de fosforo total também foram observadas, o que pode ser alguma influencia residual do rompimento.
Turbidez, solidos suspensos e cor proximo a foz tambem permaneceram elevados, embora pareçam estar decrescendo ao longo do tempo, como resultado das ações de recuperação adotadas pela Samarco, como construção de diques e revegetação e/ou mudanças no padrão sazonal de precipitação.
Para sedimentos, os resultados disponiveis das análises quimicas indicam que o rompimnto tem tido pouco ou nenhum efeito sobre as concentrações de metais nos sedimentos no baixo Rio Doce ou na zona costeira.
O quarto trabalho (Item 4 da Tabela 1: Golder) foi à elaboração de Nota Tecnica referente aos potenciais efeitos adversos dos rejeitos provenientes do rompimento sobre as comunidades planctonicas na zona de amortecimento da Reserva de Comboios. Foi solicitada a análise das informações disponiveis, incluindo a literatura cientifica e dados de relatorios tecnicos disponiveis elaborados por instituições de pesquisa e pela Samarco e, entidades subcontratadas, para a área especifica de interesse.
Os resultados comparados aos dados pretéritos à chegada da pluma e aos obtidos no Cruzeiro Oceanográfico do Vital de Oliveira (UFES, 2016) representaram um aumento dos valores tanto de clorofila a quanto feofitina, após a chegada da pluma de rejeitos. Ocorreu após a chegada da pluma um crescimento fitoplanctonico (Ethica RT 02/2016). Foi observado também um aumento da produção zooplanctonica.
Foi possivel identificar que concentrações de ferro dissolvido excederam ocasionalmente (6,6 % de um total de 3169 amostras) os padrões de qualidade de água definidos na Resolução 357. Com relação ao nitrato, de forma esporádica, houveram concentrações acima do limite CONAMA 357 e só foram encontrados em pontos de amostragem mais distante da Foz do Rio Doce, considerando assim, pouco provável que tais casos excedentes estivessem relacionados com a chegada da pluma de sedimentos, embora isto não possa ser totalmente descartado.
A Golder cita que nenhum dos metais encontrados em altas concentrações nos organismos marinhos da região teve sua concentração alterada no sedimento, em decorrencia do rompimento. Neste relatório é dito que espera-se que os padrões observados nas comunidades planctonicas antes da chegada da pluma de rejeitos sejam retomados em curto espaço de tempo, uma vez cessados os impactos, pois os estudos indicaram que os efeitos observados denotam um carater temporário e reversivel para este potenciais efeitos.
O quinto trabalho (Item 5 Golder) consiste em fornecer um resumo dos resultados dos parametros que excederam os padrões de qualidade ou niveis de classificação definidos nas resoluções CONAMA para qualidade da água e sedimento, para o periodo de 15 de novembro

de 2015 a 15 de maio de 2016 e, identificar se esses resultados excedentes tem relação com o rompimento.
Foram encontrados 18 parametros com concentrações acima dos padrões (CONAMA 357/2005) em que pelo menos uma das amostras coletadas nas áreas de interesse. É dito que a pluma pode ter influenciado 7 destes parâmetros:
- aluminio e ferro dissolvido
-cadmio, fosforo, chumbo e manganês total
- Escherichia coli.
As frequencias de casos excedentes para este 7 parametros, variaram de <1% a 16,7%. Por fim, colocam que o rompimento parece ter tido um efeito desprezivel sobre a quimica dos sedimentos.
O Item 6 – Ambilev apresenta a caracterização das propriedades da água do mar como salinidade, temperatura, turbidez e clorofila-a e correntes. Entre os dias 24 de março e 11 de abril de 2016 foi realizada a segunda etapa do monitoramento para coleta de dados oceanográficos na região marinha na região da Foz do Rio Doce, para efetuar levantamentos com ADCPs e CTDs em tres estações fixas. Ondas e marés foram medidas em 3 estações oceanográficas posicionadas na região costeira próximas à foz.
O Item 7 – Econservation aborda sobre o comportamento do Cádmio na Bacia do Rio Doce. O objetivo foi identificar fontes potenciais de emissão do metal Cd, seus niveis de background na água, sedimento e biota e riscos ambientais associados, limites legais, no ambiente e para consumo. Este relatório traz que possiveis enriquecimentos de Cd associados ao acidente ou em eventos posteriores podem estar associados ao estoque ou passivos de Cd nos solos da bacia (naturais ou antropicos) que foram empurrados pela descida do rejeito, atingindo toda a bacia, inclusive o mar. Alguns dados mostram que este material sedimentar ao longo da bacia pode conter frações moveis de Cd, que segundo a fisico-quimica da agua induzem a desorção de Cd nas particulas.
Eventos de muita chuva podem transportar muitas particulas e Cd pode se assemelhar as condições do rompimento, aumentando as concentrações de Cd, inclusive na forma soluvel, sugerindo um risco para os organismos e consumo humano.
O Item 8 – Golder é uma atualização sobre a qualidade da água e do sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas, que corresponde ao mês de julho de 2016 e, inclui dados de qualidade de água e sedimentos, coletados entre 17 de novembro de 2015 e 22 de junho de 2016.
Para este estudo foram usados dados de várias fontes, com destaque para a UFES e CPRM. Pouco será comentado sobre este item, pois seu conteúdo está incluído no item a seguir.
Item 9 – Golder refere-se ao Relatório Monitoramento Marinho; Dados Nov-15 a Fev-17 (período emergencial). Qualidade da água e do sedimento na zona costeira proxima a foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas – atualização maio 2017.
Neste relatório é comentado que foram analisadas 1.016 amostras de sedimento e 61.899 de água.
Qualidade da Água:
Com base nos dados coletados entre novembro de 2015 e fevereiro de 2017, o rompimento pode ter afetado as concentrações de até 30 parametros na zona costeira. Essa afirmação é baseada na elevação coincidente das concentrações com a chegada da onda de rejeitos. Para um grupo menor de parametros, os efeitos foram de prazo mais longo. Mas, para a maioria dos parametros, os efeitos foram de curto prazo, da ordem de poucas semanas a alguns meses.
O primeiro grupo de parametros é constituido por:
-aluminio total e dissolvido
-ferro total e dissolvido
-manganês total e dissolvido
-cor

-solidos totais
-turbidez.
Pulsos de medio prazo (15 a 30 dias) de elevação desses parametros foram observados entre novembro de 2015 (T1), fevereiro de 2016 e novembro de 2016 (T2), após a chegada da pluma de rejeitos no mar e durante o periodo chuvoso 2015-2016 (T3) e durante o periodo chuvoso 2016-2017 (T4). Embora pulsos continuem a ser observados, as concentrações durante esses pulsos são mais baixas do que as observadas imediatamente após a chegada da pluma. Esses parametros tem tendência a diminuirem com a distancia a foz.
O segundo grupo de parametros, os que apresentaram alterações de concentração de curto prazo, inclui arsenio total, bario total e dissolvido, cadmio total , chumbo total, cromo, cobre, magnesio, zinco e vanadio total, coliformes, condutividade eletrica, DBO, Escherichia coli, fosforo total, fosfato, pH, OD, silica reativa e solidos dissolvidos totais. As cocentrações desses elementos retornaram em grande parte a condições pré-evento.
Assim como apresentado para o primeiro grupo, esses parametros tem a tendencia de diminuirem com o aumento da distancia da foz.
As concentrações de uma forma geral são mais elevadas em águas de fundo provocadas por evento meteooceanográficos de curto prazo.
Com relação ao ultimo periodo temporal de observação (T4), nota-se uma diminuição com relação aos periodos anteriores. Essa diminuição é observada tanto pela diminuição da intensidade dos pulsos de alteração do primeiro grupo de parametros, como pela ausencia de novos pulsos dos parametros do segundo grupo.
As intervenções de controle de rejeitos promovidas pela Fundação Renova e o fato do pulso de elevação da vazão do Rio Doce no ultimo periodo ter sido menor, são os fatores que explicam essas diferenças.
Qualidade do Sedimento:
Como o monitoramento da qualidade de sedimentos foi iniciado somente em março 2016 (T3), as conclusões acerca dos efeito do rompimento guardam maior incerteza. Foi assumido a premissa de que qualquer metal que tenha apresentado elevação na coluna d´água atribuiveis ao rompimento pode ter provocado efeitos sobre os sedimentos costeiros. Esses metais são: Aluminio, ferro e manganes, que apresentam alterações de maior magnitude e persistencia na água e, arsênio, bario, cadmio, chumbo, cobre, cromo, magnesio, zinco e vanádio, que apresentam alterações de menor magnitude e persistencia na água.
Portanto, se houve alguma alteração, não detectada em T1 e T2 espera-se que tenha sido de maior magnitude no primeiro grupo de metais e de menor magnitude no segundo. Não obstante, as concentrações observadas para esses metais permanecem, em sua maioria, dentro da faixa de variação pré-evento reportada pela literatura ao longo de T3 e T4.
Tendencias mais expressivas de redução de concentração a partir de T3 são notadas apenas para ferro e aluminio, os quais estão entre os metais que mais apresentam concentrações acima da faixa de variação pre-evento. Estes parametros são, portanto, os que apresentam maior probabilidade de terem apresentado elevação em decorrencia do rompimento.
Foram identificados dois padrões gerais de distribuição espacial dos metais:
-diminuição entre as estações localizadas no entorno da foz e a APA, grupo que fazem parte o Aluminio, bario, cadmio, ferro, manganes e zinco e,
-aumento em direção a APA, o arsênio e cromo.
Os demais metais não apresentam padrão de variação espacial detectavel.
O padrão de variação espacial descrito acima interage de forma notavel com a granulomentria. Dentro de cada grupo espacial (<5, >5 km e APA) as maiores concentrações são encontradas sempre onde o teor de sedimentos finos é mais elevado.

2.1.2. No Rio Doce

O Item 10 – Golder, apresenta avaliação dos Resultados de Qualidade da água e do sedimento do Rio Doce – atualização de julho de 2017.
Este documento apresenta e discute os resultados de qualidade de água e sedimento obtidos durante o monitoramento realizado nos cursos de agua afetados e não afetados pelo rompimento, desde 6 novembro 2015 a 31 de março de 2017, data coincidente com o final do periodo chuvoso do ano hidrológico 2016/2017. Os resultados incluem parametros fisicos, quimicos e microbiologicos, testes de ecotoxicidade.
Neste trabalho a area de estudo foi ampliada para incluir tambem os principais afluentes do Rio Doce e as lagoas marginais localizadas em Linhares.
Suas principais conclusões são:
Foram identificadas tendências de elevação para diversos parametros de qualidade de água no periodo chuvoso (p.e. turbidez, SST, oxigênio dissolvido, ferro dissolvido e aluminio total) em comparação com o periodo seco.
Em direção a foz foram observados parametros com tendencia de elevação (cor, aluminio total e ferro dissolvido) e redução (p.e. arsênio total, manganes total e magnesio total) de concentrações e frequencias de não conformidade. Os parametros aluminio dissolvido, chumbo total, coliformes termotolerantes, cor, fosforo total, manganes total e turbidez apresentaram não conformidade em todos os pontos de monitoramento avaliados.
Nos sedimentos, foram observadas não conformidade para os metais arsênio, cromo, mercurio e niquel (nivel 2 da CONAMA 454) e cobre e chumbo (Nivel 1). Alguns parametros apresentaram não conformidades mais frequentes em porções mais a montante (p.e. arsênio e mercurio) ou mais a jusante (p.e. cobre, cromo, niquel e chumbo) da bacia do rio Doce. Ferro e manganes que não apresentaram nivel de classificação da Resolução 454 apresentaram concentrações que tenderam a se elevar em direção às estações a jusante do rio.
O fato da qualidade da água e sedimentos ter apresentado tendencia de melhoria na estação chuvosa de 2016-2017 em comparação com a estação anterior, constitui evidencia de que as intervenções promovidas pela Fundação Renova tem sido efetivas no propósito de controlar os rejeitos liberados da barragem para a bacia do Rio Doce.
Esta evidencia foi reforçada pela resposta a pergunta: -A qualidade da água do Rio Doce é dependente da vazão?
Foi demonstrado redução da relação de dependencia da qualidade da água na vazão do Rio Doce na estação chuvosa de 2016-2017, indicando que neste periodo, os sedimentos (e seus constituintes quimicos) estavam menos vulneráveis ao arraste e ressuspensão promovidos pelo aumento da vazão.

O Item 11 – IGAM, é um encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 2 anos do rompimento da barragem de Fundão -2015/2017.
O objetivo foi apresentar a evolução da qualidade das águas do rio Doce, decorridos dois anos de monitoramente, após o rompimento da barragem.
Foram escolhidos dois periodos de monitoramento:
-1º. periodo pós-rompimento da Barragem: 05/11/2015 a 04/11/2016
-2º. periodo pós-rompimento da Barragem: 05/11/2016 a 10/08/2017.
Esses periodos foram comparados com os dados da serie histórica do IGAM antes do rompimento (janeiro de 2000 a janeiro de 2015).
Decorridos quase dois anos do rompimento da barragem este relatório apresenta o comportamento geral da área afetada, com relação aos poluentes considerados mais importantes.
Comparativamente ao periodo (5/11/2015 – 04/11/2016) observa-se que houve uma redução das medias no segundo periodo (05/11/2016 a 10/08/2017) para os dez parametros apresentados neste documento, indicando uma tendencia de aproximação dos valores

históricos observados no monitoramento do IGAM, porém ainda com grande proporção de violações aos limites estabelecidos na Deliberação Normativa COPAM/CERH no. 1/2008.
Dos resultados dos parametros analisados no ultimo intervalo considerado, chamam a atenção as medias de turbidez, SST, ferro dissolvido, manganes total e aluminio dissolvido, uma vez que, de forma geral, ainda estão acima do limite legal e das médias históricas.
Esses resultados devem-se sobretudo, à acumulação do rejeito no sedimento do rio e em bancos das margens, que continuam a ser revolvidos, natural ou artificialmente. Prevê-se que, não havendo novos eventos, futuramente essas médias continuem reduzindo-se, porém, cada vez de forma mais lenta.
Para os metais arsênio, cadmio, cromo, niquel e mercurio total, observa-se que ocorreram variações dos respectivos limites de classe desde o inicio do monitoramento, reduzindo paulatinamente a frequencia dessas violação até apresentarem-se em conformidade com os respectivos limites de classe e abaixo do máximo da serie histórica do IGAM ainda no 1º. período avaliado.
Porem, grande parte dos demais metais (ferro dissolvido, manganês total, aluminio dissolvido, chumbo total e zinco total) continuaram a violar os respectivos limites no 2º periodo, pelo menos uma vez no ultimo intervalo considerado.

O Item 13 – IEMA apresenta análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco, com base em 5 pontos de coleta distribuidos pelo Rio Doce, no estado de ES.
As coletas realizadas pelo IEMA terminaram em agosto de 2017.
São apresentados os dados de coletas realizadas após a chegada da lama de rejeitos no trecho capixaba do Rio Doce, contemplando dados de novembro de 2015 a agosto de 2017.
Os dados obtidos nas diversas campanhas de coleta foram sintetizados, com o calculo da média aritmética, em quatro periodo:
1.periodo chuvoso 2015-2016
2.período seco 2016
3.periodo chuvoso 2016-2017
4.período seco 2017
Após análise da evolução e comportamento de uma série de paâmetros ao longo do rio Doce, observou-se que 4 parametros possuem relação direta com o rejeito:
-aluminio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total e turbidez.
Desta forma, foi apresentada a evolução destes parâmetros nos pontos monitorados ao longo do tempo, observando as particularidades dos periodos seco (abril a outubro) e chuvoso (novembro a março) dos anos monitorados.
De maneira geral, é sabido que com o periodo chuvoso os sedimentos depositados no fundo do rio são ressuspendidos e novamente carreados, levando a alteração da condição de corpo hidrico, quando comparado com o periodo seco.
Devido a baixa declividade da bacia do Rio Doce em seu trecho capixaba e ao alargamento da calha do rio, as frações mais finas do sedimento encontram no ES condições para deposição no leito do rio e, com as chuvas, parte delas voltar a ficar em suspensão, alterando assim a qualidade da água. Observa-se, também, um acumulo deste compostos na parte mais baixa da bacia, nos pontos P4 e P5.

2.2. Interação metais água e biota: Bioacumulação

Os comentários sobre este item foram elaborados após leitura dos documentos que constam na Base Documental Bioacumulação, incluindo os itens 17 a 31 (Tabela 1).

2.2.1 Trabalhos desenvolvidos pelo Instituto de Ciências Biológicas da FURG: itens 17 a 21.

O Item 17 FURG apresenta dados de metais na água e em peixes obtidos em uma expedição realizada entre os dias 19 a 27 de abril de 2015 a bordo do Soloncy Moura. Os dados apresentados neste relatório são considerados no Item 21 FURG.
O Item 18 FURG efetua uma análise comparativa sobre os resultados entre as expedições Soloncy Moura I e II e as amostras coletadas antes do evento.
Dados de água são apresentados para 3 períodos: antes da chegada da pluma (4 amostras), dois meses após a chegada da pluma no mar (24 amostras) e, depois de transcorrido 5 meses (36 amostras), totalizando 64 amostras.
Os organismos também foram coletados em 3 períodos: antes (9), 2 meses (27) e 5 meses (77amostras), totalizando 113 amostras.
Também, os dados referentes à análise no músculo, apresentado neste relatório, estão reunidos no Item 21.
Como é o único relatório da serie FURG que apresenta dados de metais dissolvidos com evolução temporal, estes serão comentados a seguir.
Os metais Cd, Cr, Cu e Pb apresentaram um aumento significativo nas suas concentrações na 1ª. coleta após o rompimento (28/1/2016), tendo na 2ª. coleta após o evento (24/4/2016) retornado a níveis semelhantes aqueles observados antes da ocorrência do evento. Por outro lado, denota-se que as concentrações de Ferro aumentaram significativamente na 1ª. coleta (28/1/2016) e permaneceram elevadas também na 2ª. coleta (24/4/2016). As concentrações de Manganês não se alteraram na 1ª. coleta mas aumentaram significativamente na 2a. coleta após o evento, confirmando a hipótese de que houve um arraste de metais depositados no leito do Rio Doce por ocasião do evento e a importante contribuição da mineração na contaminação das águas costeiras na região da Foz do Rio Doce com Fe e Mn.
Não são apresentados dados que confirmam o arraste. É apresentado como uma hipótese.

O Item 19 FURG apresenta os dados de água e material biológico, coletados na 1ª. expedição do Soloncy Moura, durante os dias 26/01 a 3/02/2016. Os dados de água estão inseridos no Item 18 e, os dados de metais no músculo estão inseridos no Item 21 FURG.
O Item 20 FURG apresenta um resumo das análises realizadas na 1ª. expedição Soloncy Moura. Pode ser dito que é um resumo do item anterior, o Item 19 FURG.

O Item 21 FURG apresenta um relatório de atividades que, por fim, agruparam as 4 expedições realizadas, mas refere-se unicamente ao pescado:

1ª. expedição:	26/01/16 a 03/02/16	Soloncy Moura	Itens 18, 19 e 20
2ª. expedição:	19 a 27 de abril 2016	Soloncy Moura	Itens 17 e 18
3ª. expedição:	5 a 10 de dezembro 2016	Abaeté	
4ª. expedição:	Fase 1: 23 a 28 de set 2017	Abaeté	
	Fase 2: 29 a 30 de setembro	Scuba	

Foi realizada outra expedição, posterior, que não constam nos documentos lidos para compor este relatório.
É comentado que até o momento da apresentação desse relatório, a equipe de pesquisa envolvida já analisou 1.026 amostras de tecido, sendo 360 amostras de músculo de camarões e 666 amostras de músculo de peixes.

Padrões espaciais distintos dos níveis de contaminação dos metais analisados na extensão da área afetada pela pluma de rejeitos na foz do Rio Doce e região costeira adjacente.
Houve um significativo aumento da contaminação de pescado para todos os metais analisados (arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro e manganês) nos primeiros meses após o acidente, com os níveis mais elevados de contaminação sendo observados, de forma geral, na Foz e nas regiões adjacentes ao norte e ao sul da foz deste rio (dados da 1ª. expedição –

janeiro – fevereiro/2016). Após quase 2 anos do rompimento (dados da 4ª. expedição – setembro 2017) este padrão espacial de contaminação só foi observado para a contaminação do músculo dos camarões com chumbo, cromo e cobre, bem como para a contaminação do músculo dos peixes como o cromo. Para as demais situações, observou-se um padrão homogêneo de contaminação do pescado ao longo das áreas estudadas, evidenciando assim uma dispersão dos contaminantes ao longo da região costeira adjacente a Foz do Rio Doce.

Padrões temporais distintos dos níveis de contaminação dos metais analisados na extensão da área afetada pela pluma de rejeitos na foz do Rio Doce e região costeira adjacente.
Para todos os metais analisados, à exceção do cromo, os maiores níveis médios de contaminação no pescado foram observados nos primeiros meses após o rompimento (dados da 1ª. expedição).
Após quase 2 anos (4ª. expedição) o nível de contaminação do pescado por cromo foi significativamente maior do que aqueles evidenciados nas expedições anteriores, inclusive na 1ª. expedição. Além disso, cabe ressaltar que as concentrações médias da maioria dos metais analisados, especialmente em camarões, apresentaram um aumento nas amostras coletadas na 4ª. campanha, em relação aquelas observadas nas amostras coletadas na expedição anterior (3ª. expedição), evidenciando assim uma significativa influencia dos eventos meteorológicos associados ao período de inverno na região estudada. Neste caso, destacam-se os significativos aumentos observados nas concentrações de cádmio e cromo, tanto nos camarões quanto nos peixes, bem como os significativos aumentos observados nas concentrações de cobre, ferro, manganês nas amostras de músculo dos camarões.

Contaminação de pescado (camarões e peixes) acima dos limites permitidos pela Resolução no. 42 de 29/08/2013 da Diretoria Colegiada da ANVISA (Normas Mercosul).
Nos primeiros meses após o rompimento, a maioria das amostras de pescado coletadas na foz do Rio Doce e região costeira adjacente apresentavam concentrações de alguns metais (As, Cd e Pb) acima dos limites permitidos pela legislação atual. No outono, na 2ª. expedição e no final da primavera (3ª. expedição) houve uma redução significativa nos níveis de contaminação do pescado. Porem, um significativo aumento da concentração do pescado foi novamente observado no final do inverno (4ª. expedição), evidenciando a importante influencia dos eventos meteorológicos. Neste caso, destaca-se a não conformidade da maioria das amostras de peixes ao limite máximo permitido pela atual legislação no que diz respeito à contaminação do músculo do peixe por cádmio.
Deve ser mencionado que a oscilação das concentrações com relação à intensidade de chuvas foi também apresentada pelo IEMA, no relatório de numero 13.
No caso das amostras de pescado coletadas durante a 1ª. expedição na região do PARNA marinho de Abrolhos, somente foi observada a não conformidade de amostras em relação a legislação vigente no que diz respeito a contaminação por As. Por sua vez, todas as amostras coletadas durante a 4ª. expedição na região do PARNA, apesar de serem em numero reduzido, se mostraram em conformidade com a legislação vigente.
Um ponto importante a ser considerado com relação ao Cd é que as concentrações encontradas próximas da Foz do Rio Doce foram semelhantes às encontradas em Abrolhos. E, segundo o que indicaram os relatórios da UERJ e da COPPE, o parque marinho não sofreu impacto da pluma de sedimentos do Rio Doce.

2.2.2 Trabalhos desenvolvidos pelas instituições: UFVJM, Econservation, Aplysia, Bioma, Hidrobiology, Golder e ANVISA (Itens 22 a 31 da Tabela 1).

Item 22 UFVJM

Relatório peixes do Rio Doce UFVJM

Relatório da contaminação dos peixes capturados na região do médio Rio Doce na microrregião de Governador Valadares, MG, capturado em agosto de 2016, em 3 pontos da bacia: a montante e a jusante da UHE Baguari e no Rio Corrente Grande.

Foi verificado que dos 14 exemplares de peixes coletados na região do Médio Rio Doce, oito deles (57%) apresentaram contaminação por algum tipo de metal acima dos limites descritos pela ANVISA em sua Resolução 42 de 2013. Dentre os peixes contaminados com metais, 50% estavam contaminados por Hg, 38% com As, 25% com Pb e 13% com Cd. Esses resultados informaram que os peixes apresentaram contaminação por algum tipo de metal, não apenas os nativos, mas também os introduzidos na bacia. Conclui que as fontes de contaminação devem ser verificadas considerando que a região do alto Rio Doce apresenta grande atividade de mineração e industrial associada à metalurgia, a celulose e a agroindústria, atividades que podem também promover a contaminação do Rio Doce e seus afluentes.

Item 23 Econservation

Monitoramento da bioacumulação (Ictiofauna, Carcinocultura e Malacofauna) por metais, na região marinha adjacente a Foz do Rio Doce e sob possível influencia da lama de rejeitos oriunda do rompimento da Barragem de Fundão.

Monitoramento realizado ao longo de 2 meses, 8 semanas, de 14-18/12/2015 a 02 -05 de fevereiro de 2016.

Os organismos foram coletados semanalmente na Barra Nova, Barra Seca, Regência, Barra do Riacho e Santa Cruz. Os peixes foram coletados com técnica ativa (arrasto) e passiva (rede de espera).

Este relatório traz para comparação dados de As, Cd, Cr, Pb e Hg em espécies coletadas em 2009, pelo Instituto Adolfo Lutz e, publicado em Morgano et al., 2011, onde é apontado a já existência de concentrações acima dos limites. Faz uma comparação também com os dados apresentados em Kuniyoshi et al., 2011, do IOUSP, onde é relatado para o litoral de São Paulo, altas concentrações de As.

Com relação ao Cádmio deve ser destacado que o relatório que compõe o Item 21 apresenta altas concentrações deste metal nos organismos. Neste relatório da Econservation consta que o padrão temporal, verificado nos 3 grupos monitorados (ostras, peixes e camarões), indicou a ausência de bioacumulação para o Cd. Informa também que todas as amostras de tecido muscular estiveram adequadas perante o limite máximo recomendado para consumo de peixes e frutos do mar, de 0,5 mg/Kg de peso úmido em crustáceos, 2,0 mg/Kg de peso úmido em moluscos bivalves e de 0,05 mg/Kg de peso úmido em peixes, segundo a RDC ANVISA n. 42/2013.

Informam que de uma maneira geral não foi possível estabelecer relações diretas de causa e efeito entre os resultados de bioacumulação e a presença da pluma de rejeitos. Demandam mais estudos.

Por fim, para dirimir as duvidas sobre os riscos de As encontrados, recomendam também mais uma etapa de monitoramento.

Item 24 Golder

Este memorando técnico apresenta concentrações de metais em água, sedimentos, tecidos de peixes e organismos aquáticos coletados na região marinha e estuarina da Foz do Rio Doce e foi apresentado em março de 2016.

Concluem que os metais com concentrações elevadas pelo rompimento da barragem não resultaram em níveis que excedem as normas de consumo existentes no Brasil, no caso onde estas diretrizes existem.

As concentrações de As, Se e Zn que estão elevadas nos pescados, não apresentaram aumento de concentração nas regiões mais baixas do Rio Doce ou próximas à área estuarina/costeira, se comparado com as condições pré-rompimento da barragem.
Como tal, apesar de As e Se terem sido medidos na biota marinha acima das normas de consumo humano, essas observações não são resultados do rompimento da barragem de rejeito de Fundão.

Item 25 Aplysia
Este relatório técnico faz uma análise de bioacumulação de metais em tecidos de molusco bivalve da espécie *Corbicula sp*., coletados no Rio Doce, antes da passagem da pluma de turbidez.
É um documento importante, pois visa construir um cenário de baseline.
Conclui que foi evidenciado que as concentrações de As, Pb, Hg, Ni, Al, Fe, Cu e Zn encontravam-se em conformidade com os padrões para consumo humano, antes e após o rompimento. Já o resultado de Cr esteve superior ao limite máximo tolerado pela legislação brasileira, tanto antes como após o rompimento.

Item 26 Aplysia
Levantamento de dados de As em tecidos de peixes e moluscos, apresentado em outubro 2016.
Este documento consiste no levantamento bibliográfico das informações relacionadas à bioacumulação de As em tecidos de moluscos e peixes na região costeira do ES, gerados em período anterior a chegada da pluma de turbidez.
Este levantamento considerou a avaliação de 244 amostras de tecido de moluscos e peixes. Dentre os que apresentaram resultados individualizados, 65,22% das amostras de moluscos e 16,06% das amostras de peixes estiveram fora da conformidade em relação ao limite máximo tolerável para consumo humano (1 mg/Kg PU). As desconformidades em tecidos de moluscos tiveram distribuição difusa ao longo da costa do estado, enquanto para as espécies de peixes foram verificados desconformidades nas regiões de Santa Cruz (Aracruz) e foz do Rio Jucu (Vila Velha).

Item 27 da Aplysia refere-se a 2 tabelas de dados brutos referentes à bioacumulação de As em peixe e em molusco e que estão apresentadas em figuras que constam do Cap 3. Biota.

Item 28 ANVISA
Refere-se a ANVISA Protocolo 009123 – 2016, cujo assunto é: Pescados da região afetada pelo acidente da Barragem de Fundão – Samarco.
Um dos documentos mais importantes, pois coloca em seu parágrafo de numero 7:
7. Como medida de precaução, a Diretoria de Controle e Monitoramento Sanitário da ANVISA, publicou em 15 de abril de 2016, a Resolução-RE no. 989, determinando a proibição de armazenamento, distribuição e comercialização de pescado oriundo da atividade pesqueira desenvolvida no mar, na região de Barra do Riacho em Aracruz/ES até Degredo/Ipiranguinha em Linhares/ ES.

A Anvisa recebeu em 07/04/2016 oficio do IBAMA, convidando para reunião no dia seguinte, com representantes do IBAMA, ICMBio, MAPA, MMA, SEAMA/ES para tratar da contaminação de pescados da costa capixaba com niveis de As, Cd e Pb acima dos limites previstos na RDC 42.
Juntamente com o convite foi enviado um oficio do ICMBio com uma nota tecnica conjunta do Centro TAMAR/APA Costa das Algas/REBIO de Comboios/RVS de Santa Cruz, apresentando memória de reunião ocorrida nos dias 15 e 16 de março no auditório do IBAMA em Vitoria,

onde foram apresentados os resultados da expedição do navio Soloncy Moura e outros monitoramentos.
Na reunião de 8/4/2016 foi solicitado a ANVISA um parecer sobre o impacto a saude humana decorrente da contaminação de pescados e crustáceos com metais pesados, em virutde dos resultados obtidos pela ICMBio junto a UFES e a FURG.
Em 28/4/2016 a ANVISA recebeu vários relatórios do ICMBio, mas com base em UFES e FURG.
Em 27/4/2016, a ANVISA recebeu do IBAMA relatório da Samarco "Monitoramento da bioacumulação (Ictiofauna, Carcinocultura e Malacofauna) por metais, na região marinha adjacente a Foz do Rio Doce e sob possível influencia da lama de rejeitos oriunda do rompimento da Barragem de Fundão", que é o Item 23 Econservation, citado acima.
Mas, como apresentado no inicio deste item, por medida de precaução foi introduzido o "fish ban" para evitar riscos à população da região litorânea.
Mas, a exposição a um dado agente depende:
- concentração da substancia no alimento
- consumo do alimento
- peso corpóreo.
O que vale para os humanos é válido também para a cadeia trófica marinha.

Muitas vezes a concentração total de um metal em um organismo, não significa muito. Por exemplo, a concentração total de As não é indicativa, pois a quantificação de As total pode não caracterizar risco à saúde. Daí, a necessidade de efetuar a especiação química e definir suas formas inorgânicas e orgânicas. No ambiente marinho, com frequência, o As é encontrado em altas concentrações, mas na fração orgânica, como p.e. nas suas formas metiladas que não são toxicas. E, problemas acontecem quando o As é encontrado nas suas formas inorgânicas, como o As III (conhecido por veneno de rato) e o As V.
A necessidade da especiação é citada nos parágrafos 20 (p.7) e 27 (p. 8) do Protocolo ANVISA 009123 – 2016.

Item 29 Econservation
Remoção, Identificação, Contabilidade e Destinação de Peixes do Rio Doce.
Relatório interessante para se conhecer as espécies tanto nativas como introduzidas no Rio Doce. Trabalho descritivo/informativo.

Item 30 BIOMA
Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Apresentado em fevereiro de 2016.
O Rio Doce foi amostrado em 5 locais, no estado do ES.
Foram registradas amostras com valores de As e Cr que ultrapassaram os limites estipulados pela ANVISA. O As foi encontrado com valores acima do limite em uma única amostra ao passo que o Cr esteve acima para todas as espécies estudadas.
Com base nos dados disponíveis e analisados, as concentrações para os diversos elementos não demonstraram relação direta com os pontos de amostragem ou período considerado (pré e pós-passagem da pluma).
O cromo demanda atenção, pois os dados demonstraram que está presente de forma ampla nos peixes desde o momento anterior à passagem da pluma de sedimentos.
E, em 2014, Niencheski et al. (L.F. Niencheski, E.C. Machado, I.M.O. Silveira e M.J.Flores Montes: Metais traço em peixes e filtradores em quatro estuários da costa brasileira. Tropical Oceanography, Recife, v. 42, n. 1, p. 94-93, 2014. ISSN: 1679-3013 D.O.I.: 10.5914/1679-3013.2014.0106) apresentaram dados de metais no peixe *Lutjanus synagris* (vermelho) da Baia de Vitória, para o ano de 2003 e de 2004, em 2 locais, sendo um considerado local de referencia e outro contaminado. Como pode ser observado na tabela abaixo, mesmo no local

denominado referência às concentrações de Cr no peixe ou estavam no valor limite ou acima dele e, isto há mais de uma década.

Legislação mg/Kg = 0,10		2003 (mg/Kg)	2004 (mg/Kg)
Lutjanus synagris	Local referencia	0,10	0,110
(vermelho)	Local contaminado	0,5	

Item 31 Hydrobiology

Este é o item final desta seção denominada Bioacumulação onde são apresentados 4 gráficos de As total e inorgânico nas diferentes espécies de peixes capturados pela Econservation no estudo de bioacumulação que foi feito no mês de dezembro(2015) a fevereiro de 2016.

Nesses gráficos, estão 2 limites: o da ANVISA e o Food Standards Australia New Zealand (*FSANZ*).

Uma análise desses gráficos traz a luz o problema que persiste, o da diferença de concentrações informadas pelo consorcio de universidades (UFES/FURG) e o apresentado pela Fundação Renova.

Com o objetivo de visualizar melhor essas diferenças, efetuamos para alguns metais, como o As, Cd, Cu e Pb uma tabela, colocada logo abaixo, onde os valores máximos de concentração extraídos do Relatório de Atividades FURG 27_10_17 são comparados com os valores máximos obtidos das Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 deste Parecer Técnico Independente, que foram confeccionadas com os "Dados Renova", extraídos do Relatório ECV TR 065-16-RT Bioacumulação.

	Rel. Atividades FURG 27_10_17	Valores até (mg/Kg)		"Dados Renova"		Valores até (mg/Kg)
	Mix de Espécies				Espécies de peixe	
As	Figura 1	90		Figura 3.4	*Bagre miscelanius*	25
Cd	Figura 2	0,3		Figura 3.2	*Maria Luisa*	0,01
Cd	Figura 2	0,3		Figura 3.4	*Aspistor luniscutis*	0,01
Cu	Figura 4	2		Figura 3.3	*Geidens genidens*	0,7
Pb	Figura 7	0,3		Figura 3.3	*Genidens genidens*	0,1

2.3 Invertebrados

Base documental contemplando os itens 15 e 16.

Item 15 Econservation

Este relatório trata da análise estatística dos dados do programa de monitoramento da comunidade de zoobentos do Rio Doce.

Foi verificado que a análise das relações entre as variáveis químicas do sedimento com o zoobentos demonstrou que a variação na estrutura da fauna está mais relacionada com fatores estocásticos ou aleatórios do que propriamente com a composição do sedimento.

É dito que a análise de consistência dos dados revelou que as amostras dos laboratórios Limnos e SGS-Geosol não puderam ser aproveitadas devido a problemas na identificação das amostras e na resolução taxonômica.

A abundancia e diversidade do zoobentos foram pobres ao longo de todo o Rio Doce e também em alguns dos seus tributários, segundo estudos anteriores. A revisão bibliográfica mostrou ainda que a situação já era precária antes do acidente, ocorrendo à substituição de espécies endêmicas por outras introduzidas. A partir de maio de 2016 houve um aumento na abundancia e diversidade do zoobentos, mas isto está mais ligado à chegada da estação chuvosa do que a um possível inicio de recuperação do ambiente.
Tanto os níveis de metais como a quantidade de lama no sedimento foram maiores nos locais mais próximos ao derrame, formando um gradiente espacial em direção a foz. Da mesma maneira, um gradiente temporal foi detectado: os níveis de metais vem diminuindo ao longo do tempo após o acidente em todos os locais amostrados, da mesma forma que também são menores nos locais mais afastados do acidente, exceto para As e Cr.
A revisão bibliográfica revelou que os rios de todo o quadrilátero ferrífero apresentam valores de metais compatíveis com aqueles encontrados neste trabalho, com alguns metais ultrapassando o limite CONAMA, revelando uma possível situação de contaminação generalizada.
Por fim, informam que nenhuma relação foi estabelecida entre a fauna e os teores de metais no sedimento.

Item 16 Golder
Esse memorando informa sobre os potenciais efeitos adversos resultantes do rompimento sobre o criadouro natural do camarão sete barbas (*Xiphopenaeus koryeri*) na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Comboios.
As e Cd foram os únicos parâmetros encontrados nos sedimentos acima dos valores referentes ao nível 2 da Resolução CONAMA 454. Porém, não ocorreram na área próxima à foz do Rio Doce e o padrão espacial encontrado para estes registros não sugere que eles sejam resultado da pluma de sedimentos. E, a análise de frequência para o As não configurou um padrão espacial consistente com os efeitos do rompimento da barragem: os casos excedentes foram pelo menos 50% mais frequentes em outras áreas investigadas que não nas imediações da Foz.
A falta de dados populacionais pretéritos para o camarão sete barbas impossibilita afirmar que a deposição de rejeitos tenha afetado o seu criadouro natural.
Resultados das amostragens de abril e maio de 2016 no entorno da foz mostraram a ocorrência da espécie em densidades similares tanto em áreas onde se verificou deposição de rejeitos quanto em áreas onde esta deposição não ocorreu.

2.4 Deposição de rejeitos

Base documental contemplando os itens 33 ao 38 (Tabela 1).

Item 33 Econservation
Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho. Junho 2017.
Relata que ao longo dos 16 meses de monitoramento o que se observou em relação à dispersão da pluma é uma ocorrência com frequência elevada restrita ao entorno da foz do Rio Doce, o que está em linha com os resultados de outros programas de monitoramento (Econservation 2016 a e b).
Em condições de baixa turbidez e/ou nível baixo do Rio Doce às plumas tendem a dispersar menos e por isso os contornos de alta frequência ficam localizados mais próximos da foz do rio e, ocorre o inverso quando mudam as condições de turbidez e nível.
Informam que a técnica de acompanhamento das plumas por sobrevoo parece não mais se adequar.

Item 34 Aplysia

Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (REBIO COMBOIOS)

Neste relatório, é apresentado à aplicação de metodologia única capaz de explicar e demonstrar como o continente é fonte de materiais para a região costeira e, como esta absorve e reage com esse material lançado pelo(s) rio(s) seja na forma solúvel ou particulada. O estudo evolutivo das concentrações ao longo de um gradiente salino, tendo os seus "endmembers" bem definidos, é a única maneira de avaliar os processos biogeoquímicos (responsável pela adição ou retirada de elementos/compostos do meio) que ocorrem em uma zona de transição entre o ambiente continental doce e o marinho costeiro

Foram realizadas apenas 3 campanhas.

Entretanto, quando essas três campanhas são consideradas ao mesmo tempo, fica evidente a forte influencia do Rio Doce como fonte de elementos dissolvidos e particulados para o ambiente costeiro. Destacam-se duas grandes diferenças que são apresentadas a seguir:

1. Com relação à oscilação de valores e concentrações:
   Para a maioria dos parâmetros, os valores e concentrações encontrados para a segunda campanha são inferiores aos registrados para a primeira. Uma avaliação da intensidade de escala do eixo Y (concentração) revela isso. Por exemplo, para ferro total, as concentrações atingiam 5 mg/L para a primeira campanha enquanto que para a segunda, as concentrações atingiram 2 mg/L. Outro parâmetro que bem revela esta diminuição é o Material em Suspensão, passando de 400 mg/L para 80 mg/L. Esta tendência nos levaria a concluir que o sistema iniciou o ciclo de recuperação, tendo sido colocado a autodepuração natural em marcha. Entretanto, uma forte condicionante meteorológica fez com que a descarga do Rio Doce aumentasse sobremaneira e com intensidade tal, que provocasse a abertura da Barra Sul do Estuário do Rio Doce. Essa forçante física provocou uma nova retomada nos valores e concentrações dos parâmetros analisados, levando-nos a crer, na época em que o relatório estava sendo produzido, em janeiro de 2016, que o processo estaria ainda longe de atingir sua estabilidade e retornar as condições ambientais anteriores ao acidente. Isto se constituía na época, em um argumento muito forte para que esta metodologia inovadora continuasse a ser empregada, para emissão de um comentário conclusivo sobre o restabelecimento das condições naturais deste sistema.
2. Com relação aos Processos biogeoquímicos:
   O observado para a 1ª. campanha foi a predominância dos processos de adição/aporte/chegada, em função da contribuição abrupta de elementos dissolvidos e particulados trazidos pelo Rio Doce à região estuarina e costeira adjacente. Enquanto que para a 2ª. campanha, começaram a tomar importância os processos de remoção/retirada do material que foi aportado para a plataforma adjacente. Esse comportamento era esperado e desejado, indicando que o ambiente oceânico iniciou seu processo de auto-depuração. Na 3ª. campanha, mesmo tendo ocorrido a mudança nas condições heterodinâmicas internas e externas ao estuário, como o já comentado fato de abertura da segunda barra, a Barra Sul, foi observado que o processo de remoção/retirada do material aportado por processos biogeoquímicos naturais continuaram a ocorrer. Assim, parte desse material estava deixando a coluna d´água e estava se depositando na água intersticial, subterrânea ou na superfície da camada sedimentar (processo de floculação e outros processos agregados).
   Neste contexto, as evidencias convergiram para o inicio de um processo de autodepuração do ambiente marinho costeiro, sendo que o material continental aportado estava sendo removido do meio, seja pela ação biológica (p.e. fitoplancton) ou geoquímica, que provocou deposição no sedimento.
   Em definitivo, o estudo da distribuição das concentrações ao longo do gradiente de salinidade é o único que nos permite conhecer cientificamente o que ocorre em uma

zona de transição complexa que é o ambiente estuarino, saindo das fastidiosas interpretações pontuais e descritivas, que comentam o tradicional “sobe e desce” das concentrações, sem explicação plausível do por que elas ocorrem, sendo calçadas apenas em comparações com dados temporais ou espaciais de uma mesma região ou, simplesmente comparando-as com limites de legislação, sem possibilidade alguma de previsão sobre as reações biogeoquímicas que ocorrem dependentes dos processos físicos que por sua vez são regulados pela meteorologia.

Item 35 Econservation

Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre Abrolhos e Vitória. Abril 2016.

A Figura 4.2.1-7 deste relatório apresenta imagens de dispersão da pluma na Foz do Rio Doce e adjacências, no dia 24/1/2016. Este figura é composta por várias fotos e a Foto 3 apresenta o avanço da pluma media para o mar. Nesta Foto 3 pode ser vista a presença de um navio em deslocamento cortando esta pluma e a esteira produzida por ele é de água com coloração absolutamente diferente da pluma de sedimentos, indicando que logo abaixo da interface ar-mar, encontra-se água marinha transparente, provavelmente água da Corrente do Brasil.

Muito interessante o que é reportado para Abrolhos, indicando ocorrência de aporte de água subterrânea. Sabe-se que a água subterrânea é muito rica em elementos traços e seus isótopos (TEI´s), constituindo-se assim em uma fonte considerável desses elementos para o meio marinho (Paiva e Niencheski, 2018).

Em síntese, o padrão verificado foi de grande homogeneidade de valores inferiores aos respectivos limites de quantificação ou próximos a estes.

Item 36 Golder

Análise da ocorrência de deposição de rejeitos oriundos da barragem de fundão no ambiente marinho adjacente ao Rio Doce. Apresentado em maio 2016.

O objetivo deste relatório foi investigar a ocorrência de depósitos de rejeitos oriundos do rompimento sobre o fundo marinho da região costeira adjacente do Rio Doce.

Infelizmente houve aplicação de metodologia inadequada para a obtenção correta das amostras para responder ao objetivo do relatório. Não poderia ter sido usada a draga Van Veen e sim obtenção de sedimento com uso de testemunhos transparentes, com abertura a cada centímetro, como indicada em Niencheski et al., 2004 (L.F.H. Niencheski, B. Baraj, H. Windom & R, França. Natural background assessment and its anthropogenic contamination of Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Al and Fe in the sediments of the southern area of Patos Lagoon. Journal of Coastal Research. 2004. Special Issue 39. p. 1040 -1043).

Item 37 UERJ

Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos BA, para o evento de 5-6 de janeiro de 2016. Maio 2016

Foi aplicado assinatura isotópica e química do material particulado na superfície do oceano, baseadas nas razoes dos isótopos de $^{87}Sr/^{86}Sr$ (estrôncio) e $^{143}Nd/^{144}Nd$ (Neodímio)e nas análises de micropartículas insolúveis para os elementos Si, Al, Fe, Ti, Ca, Cl, Zn, Cu, K, Mg e Na.

Os dados apresentados sugerem que o evento de 5-6 de janeiro de 2016 não teve impacto direto sobre o Parque Nacional de Abrolhos. Ressaltam que o evento caracterizado por uma brusca mudança dos ventos de Norte para vento de Sul, foi de curta duração e as coletas foram realizadas somente no dia 8 de janeiro, quando já se observava o redirecionamento de pluma para o setor sul.

Nos Relatórios COPPE, o Cap. 4 – Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente informa que com base na análise feita por padrões de similaridade, a probabilidade da pluma vinda do Rio Doce migrar para o Norte e atingir o arquipélago de Abrolhos é irrisória.

Item 38 Golder
Caracterização Geoquímica de rejeitos, solos e sedimentos. Outubro 2017.
Os rejeitos possuem a mais baixa reatividade dentre o conjunto de materiais incluídos nos dados geoquímicos, devido ao fato de que eles consistem de fases minerais insolúveis. Os rejeitos geralmente contêm as menores concentrações de metais traço, não resultando em nenhum parâmetro excedente em relação aos padrões de solo.
Os sedimentos e solos não afetados pela liberação de rejeitos contem algumas das maiores concentrações de metais traço, no conjunto de dados geoquímicos. Uma maior proporção de fases minerais solúveis encontra-se presente nos sedimentos e solos não afetados, fazendo com que os materiais não afetados frequentemente excedam os critérios regulatórios.
Em muitos casos, a mistura de rejeitos com sedimentos e solos naturais resultou em materiais com menores concentrações de metais traço do que nas condições não afetadas pela deposição de rejeitos.
Os resultados dos testes de lixiviação e mineralógicos confirmam a presença de fases minerais insolúveis nos rejeitos (i.e hematita e goethita) e fases minerais mais solúveis nos solos/sedimentos (isto é hidróxidos de Fe/Mn redutíveis)
A qualidade da água do rio é controlada pelo comportamento de dissolução/sorção dos solos/sedimentos naturais. Os rejeitos não são uma fonte significativa de mobilização adicional de metais.
Tendo como base uma avaliação formal de perigo e uma avaliação qualitativa em nível de triagem, a mobilização de metais dos rejeitos não constitui uma preocupação do ponto de vista biogeoquímico.
Por fim, colocam que os resultados do Programa de Caracterização Geoquímica estão em total consonância com os resultados de estudos de terceiros relativos à qualidade das águas superficiais, solos e sedimentos realizados na área afetada pelo despejo de rejeitos, tanto antes como depois do rompimento da barragem.

2.5. Hidrografia

Base documental contemplando somente o item 39.

Item 39 AMBLEV
Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce. Abril 2016.
Aspecto interessante foi a informação de que a contribuição fluvial do Rio Doce na área de estudo representa cerca de 2% de todo o volume amostral, considerando uma área de 550 km^2, abrangendo distancia de 15 km da boca do rio. E, a vazão média do Rio Doce é de 500 m^3/s.
É um dado muito importante para estudos de Balanço de Massa, e fornecendo uma melhor ideia, sobre o que consiste toda a água que o Rio Doce aporta para a região costeira atingida pela pluma de rejeitos.

2.6. Ictiofauna

Base documental contemplando o item 40.

Item 40 CTA
Relatório Final do Monitoramento da Ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, Linhares/ES- Relatório Final. Dezembro / 2017

Este documento tem por finalidade apresentar o relatório final do monitoramento da ictiofauna, carcinofauna e ictioplâncton na região marinha adjacente à foz do rio Doce.
A metodologia foi estruturada em duas linhas de ação:
-Monitoramento da biota associada à zona de arrebentação de praia e,
-Monitoramento da biota demersal associada ao fundo inconsolidado na plataforma continental interna.
Neste monitoramento foi possível identificar 120 espécies de peixes apenas nas imediações da foz do rio Doce, indicando que a área se encontra com riqueza elevada, mesmo depois da chegada do rejeito.
O padrão CPUE não foi o mesmo no presente estudo, pois variou com as estações do ano. No período de seca apresentou maior CPUE (23.875 g/h) em relação à chuvosa (19.187 g/h), produzindo uma média geral de 22.433 g/h. Essa média é superior ao estudo da ECONSERVATION (2014), indicando que a região recuperou seu índice de abundancia relativo (CPUE g/h) após o incidente.
Em relação ao fator espacial, foi observado que o rejeito afetou a distribuição da ictiofauna, mesmo que a abundancia nesse monitoramento tenha sido maior em relação a estudos pretéritos nas adjacências da foz do rio Doce.
A riqueza na área sem deposição de rejeitos foi maior, enquanto que na área de camada espessa a diversidade e equitabilidade foram maiores, entretanto, não foram significativamente distintos.
Por fim, através da análise da comunidade de peixes pode-se concluir que as amostras foram compostas principalmente por peixes da família *Sciaenidae.* A região apresentou elevada riqueza de espécies. A abundância de peixes apresentou variação natural ao longo do tempo, quando aplicados os testes estatísticos. Entretanto, comparando os resultados do presente monitoramento com um estudo pretérito, é possível observar que a abundancia relativa (CPUE g/h) foi superior, indicando que a abundancia se restabeleceu na área.
Em relação à variação espacial, não foram encontradas diferenças significativas entre a riqueza das três áreas de monitoramento, embora a maior riqueza e abundancia média tenha sido registrada na área sem deposição de rejeitos (ASDR), indicando que a presença do rejeito ainda afeta a distribuição de peixes na região, embora a abundancia, no geral, tenha se recuperado.
Em suma, a ictiofauna se recuperou em termos de abundancia com elevada riqueza, inclusive com diversas espécies ameaçadas se distribuindo na área. O mesmo pode se dizer da carcinofauna, sendo observado que o camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*), por suas características bioecológicas, se distribuiu por áreas afetadas e não afetadas. Diante disso, a continuidade de um monitoramento com foco na distribuição espacial da ictiofauna e carcinofauna na área de estudo deve contribuir para determinar a influencia da deposição de sedimentos na distribuição da fauna local de maneira mais acertiva. Para tanto, é importante que o pacote de sedimento seja novamente reavaliado, com objetivo de avaliar a depuração do mesmo pela ação da hidrodinâmica local.

2.7. Macroalgas e manguezal

Base documental contemplando os itens 42 e 43.

Item 42 Golder
Avaliação do estado de conservação dos bancos de macroalgas e rodolitos adjacentes à foz do Rio Doce. Outubro 2016
Não foi observada evidência visual de deposição de rejeitos sobre macroalgas e rodolitos na APA Costa das Algas e na RVS Santa Cruz.

É pouco provável que impactos crônicos letais ou subletais sobre a estrutura e funcionamento das comunidades de macroalgas da APA Costa das Algas e na RVS Santa Cruz tenham ocorrido ou venham a ocorrer, na medida em que, após o rompimento da barragem, não foram observadas mudanças nas concentrações de metais (impacto químico), enquanto que o pulso de elevação de turbidez observado foi de curto prazo e atingiu níveis máximos, que não ultrapassaram a faixa de variação natural pré-evento.

Item 43 Golder
Manguezais: níveis de referência e potenciais impactos.
Não foram observadas evidencias visuais de alteração recente (p.e. mortandade em massa) de flora e fauna associada nos manguezais estudados.
A inexistência de evidencia visual de alteração recente no ecossistema foi corroborada pela análise dos resultados de caracterização estrutural das florestas de mangue e pela comparação com dados pretéritos disponíveis.
Em função das duas conclusões iniciais, podem-se assumir os dados de caracterização estrutural da vegetação dos 34,82 km^2 de manguezais existentes na área de estudo podem ser considerados como de referencia frente a futuras avaliações que se façam necessárias.
Uma análise de vetores de impacto potenciais indicou a plausibilidade e, portanto, necessidade de caracterização, para os vetores "efeitos sub-letais em organismos, levando a alterações no funcionamento e na estrutura do ecossistema em decorrência de liberação de metais sobre o ambiente" e "redução do sucesso reprodutivo de crustáceos residentes do manguezal, em função de mudanças na qualidade da água do estuário e zona costeira adjacente", é recomendado à realização de uma análise de risco ecológico e à saúde humana para fins de confirmação da plausibilidade.

2.8. Relatórios COPPE

Base documental contemplando o item 44, da Tabela 1, que se desdobra em 11 relatórios/capitulos.

Avaliação dos impactos da ruptura da Barragem de Rejeitos de Fundão em Mariana nove meses após o acidente.
São apresentados 11 capítulos que englobam estudos sobre Geotécnica (Cap. 2), Avaliação de Concreto de Estruturas (Cap. 3), a aspectos ambientais (Cap. 4 ao 9), a abastecimento de água e saneamento (Cap. 10) e o ultimo capitulo, trata da elaboração de um repositório dinâmico de documentos georreferenciados.
Será dada atenção aos capítulos de 4 a 9, por ter uma relação direta com o "Fish Ban".
O Cap. 4 – Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente estudou a possibilidade da pluma da foz do rio Doce migrar para o norte e atingir áreas sensíveis como o Arquipélago de Abrolhos. Esta análise foi feita através de padrões de similaridade considerando dados de corrente medidos no mês de junho de 2016 e dados históricos de vento entre novembro de 2015 e agosto de 2016.
A simulação mostrou que a pluma de sedimentos é transportada a grandes distancias para o sul, atingindo cerca de 55 km ao sul da Foz do Rio Doce.
A análise feita por padrões de similaridade mostrou que a probabilidade da pluma vinda do Rio Doce migrar para o Norte e atingir o arquipélago de Abrolhos é irrisória. Considerando os efeitos de diluição na zona costeira, a uma distancia de menos de 20 km para o norte da foz, as concentrações já eram irrelevantes.
O Cap. 5 aborda sobre a Biodiversidade e, sintetizam os conhecimentos a cerca dos padrões de biodiversidade após o rompimento, tal como esses padrões se apresentavam no momento da pesquisa realizada, em setembro de 2016.

Cap. 6 – Qualidade da Água superficial – Caracterização, baseia-se em 3 séries de coletas: 4 – 7 de outubro de 2016; 24–27 de outubro e 7–9 de novembro de 2016, em 18 pontos de monitoramento no Rio Doce e, nenhum na região costeira adjacente..
Apresenta que Fe, Al, Mn e P possuem alguma desconformidade.

Cap. 7 – Qualidade da Água superficial – Análise de Conformidade, faz um interessante relato histórico dos problemas que o rio já vinha sofrendo antes do acidente e, relata que alguns elementos, como p.e. o caso do Hg, até melhoraram sob o ponto de vista contaminação.
Cap 8 – Amostragem e avaliação físico-química e mineralógica de rejeitos e sedimentos, nos rios, até a foz do Rio Doce, mas não entrando na região marinha.
Foram recolhidas cerca de 200 amostras, em vinte pontos e foi aplicada a técnica correta de obtenção de sedimentos por testemunhagem.
Também, foi efetuada normalização da granulometria, que é recomendado e correto.
É relatado que a partir de Ipatinga e Nape não se encontram sedimentos com minério de ferro – somente argila e areia.
Foi efetuado enquadramento dos sedimentos como rejeitos ou resíduos e sua classificação foi de acordo com CONAMA e NT da ABNT.
A secagem das amostras foi a 80 C, o que pode acarretar problema para a determinação correta do Hg.
O trabalho mostra que depois do ponto 40, em Baguari, a composição mineralógica dos sedimentos deixa de ter minério de ferro. À medida que chega a Regência a argila vai se reduzindo ficando em % inferior a 1, com total domínio de areia + silte.
A abertura das amostras foi efetuada por fusão $NaHSO_4$. Hoje, o mais recomendado é o uso de digestão por forno de micro-ondas.
É interessante remarcar que o Cd teve sempre suas concentrações muito baixas.
Por fim, conclui com relação ao conteúdo de metais pesados, que suas concentrações presentes nos rejeitos e nos sedimentos não representam riscos a contaminação ambiental.

O Cap. 9 aborda sobre avaliação da conformidade de amostras de sedimentos na calha dos rios impactados e na foz do Rio Doce, fazendo um relato de todo programa de monitoramento, inclusive dos programas executados pela própria COPPE e que constam dos ítens anteriores já comentados.
Apresentam uma descrição individualizada por metais.
Como é um trabalho extenso, suas considerações finais também assim são (7 páginas).
É um trabalho para servir de guia de consulta, para os metais que estiverem acima do permitido pela legislação para consumo.

O capítulo 10 que trata de saneamento e abastecimento de água não será comentado, assim como o capitulo 11, que trata da confecção de um banco de dados e um repositório de documentos georreferenciados.

Parte 3. Releitura dos dados brutos de metais na biota

Em 20 de junho foi enviado pela Aplysia uma planilha Excel com o nome “Amostras Samarco (003)”, contendo resultado de arsênio em 27 espécies, com um total de 506 exemplares analisados, referentes ao estudo da Econservation (2016) (ECV RT 065-16 –RT Bioacumulação).

Acompanhavam duas outras planilhas com os nomes de Arsenic Samples A set 24012017 e Arsenic Samples B set 24012017. Estas planilhas foram usadas no relatório da Hydrobiology “As total and inorganic graphs by species”, Item 31 da Base Documental. Com base nas informações obtidas nas planilhas acima mencionadas, foram selecionadas 8 espécies de

peixes de maior interesse comercial entre as 27 espécies coletadas. Foram confeccionados gráficos de concentração de As em cada uma dessas 8 espécies *versus* tempo, os quais estão apresentados na Figura 3.1. Nesta figura, o vetor tempo é expresso em lotes, mas cada um possui sua data específica ou intervalo de pescaria.

A análise visual da Figura 3.1 não indica tendência definida, seja ao longo do:
- tempo: de 19 de dezembro de 2015 a 03/02/2016, talvez por que as coletas foram realizadas de forma muito frequentes em um espaço reduzido de tempo (menos de dois meses) e,
- espaço, considerando que os exemplares de peixes foram coletados em Regência, Santa Cruz, Barra Nova, Barra Seca e Barra do Riacho.

A Figura 3.1 apresenta valores de media e desvio padrão e, observam-se desvios padrão muito elevados.
Quando o valor do desvio padrão se iguala ao da média, ou até superior, não é um bom indicador de homogeneidade de dados, pois informa sobre a presença de "outliers". Isto é, dados que se distanciam drasticamente de todos os outros, que fogem da normalidade e podem causar anomalias nos sistemas de análise.
Para exemplificar, foram extraídas informações das planilhas Arsenic Samples A & B set 24012017 e, estão apresentadas na tabela logo abaixo. Para compor esta tabela/resumo/explicativa foram extraídos dados de As, do Lote 4, referente à *Genidens genidens*, coletados em Regência. Com uma rápida visualização da tabela abaixo percebe-se que somente um resultado está absolutamente diferente dos demais.

Espécie	Local	**Código**	**As mg/kg**
Genidens genidens	Regência Interior	**C162842**	**0,0**
Genidens genidens	Regência Interior	**C162843**	**0,4**
Genidens genidens	Regência Interior	**C162845**	**17,5**
Genidens genidens	Regência Interior	**C162846**	**0,1**
Genidens genidens	Regência Interior	**C162847**	**0,1**

Explicações para isto podem ser encontradas desde a tabulação de dados, troca de amostras ou até erro analítico. Mas, deve ser colocada a pergunta:
- seria de se acreditar mais em um "erro metodológico" ou na possibilidade de ter sido encontrado um "único" exemplar bastante contaminado em relação aos outros?

Com base na distribuição das concentrações apresentadas por essas 8 espécies de peixes, podem ser divididos em 3 grupos:
1)Espécies que apresentaram concentrações elevadas:
- Bagre bagre detritívoros
- *Bagre marinus* idem
- *Aspistor luniscatis* (também é bagre) idem

2)Espécies que apresentaram concentrações médias:
- *Paralonchorus brasiliensis* (Maria Luiza) bentônico
- *Menticirrhus americanus* (Papa terra) relação direta com o fundo

3)Espécies que apresentaram concentrações baixas:
- *Macrodon atricauda* (pescada) camarões e peixes pequenos
- *Genidens genidens* (tb. é bagre) crustáceos, moluscos, peixes e plantas
- *Eugerres brasilianus* (carapeba) zoobentívoro; invertebrados e plantas.

Torna-se claro então, que os resultados devem ser apresentados individualizados para cada espécie, não sendo possível a apresentação de dados agrupados, como foi realizado e apresentado em vários relatórios.

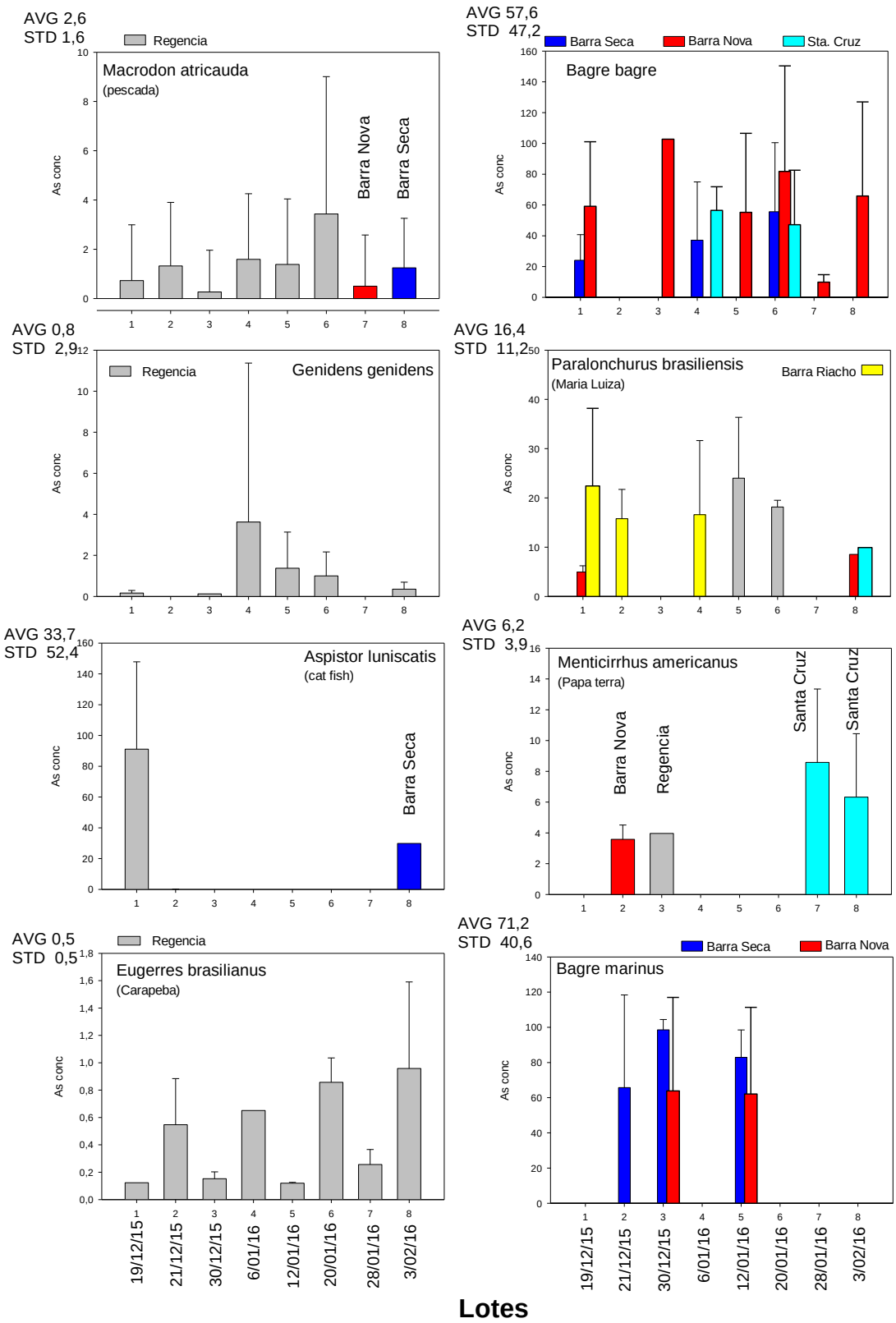


Figura 3.1. Concentração de As Total expressa mg/kg peso úmido para 8 espécies de importante valor comercial ao longo do tempo (de dezembro de 2015 a fevereiro de 2016) em 5 regiões da costa do estado de Espírito Santo (cinza: Regência; azul: Barra Seca; vermelho: Barra Nova; Ciano: Santa Cruz e amarelo: Barra do Riacho).

Também foi disponibilizada pela Aplysia, em 28 de maio, uma tabela que foi extraída do Relatório ECV TR 065-16-RT Bioacumulação.pdf. Esta planilha possui o titulo Coordenadas e Biometria para Samarco.xls.
Após uma avaliação desta planilha, foram solicitados esclarecimentos à Aplysia, a qual contatou a Renova, obtendo retorno da Econservation com correções apresentadas na planilha agora denominada BD – bioacumulação.xls.

Com uso dos dados desta planilha foram selecionadas 6 espécies, por serem de grande representatividade na pesca regional. Essas espécies estão reunidas nas Figuras 3.2; 3.3 e 3.4 que representam a distribuição de concentração de metais *versus* comprimento dos indivíduos.
São elas:
Na Figura 3.2 estão apresentadas as espécies:

Menticirrhus americanus	Papa terra
Paralonchurus brasiliensis	Maria Luisa

Na Figura 3.3 constam as espécies:

Eugerres brasilianus	Carapeba
Genidens genidens	*bagre*

Na Figura 3.4 estão apresentadas as espécies:

Aspistor luniscutis	Sea catfish

Bagres: representam a reunião várias espécies de bagra tais como
Bagre marinus
Netuma barba
Bagre bagre
Cathorops spixii
Foram selecionados 5 metais: As, Fe, Cd, Pb e Cu, porque são os metais principalmente comentados no Relatório ANVISA – Protocolo 009123-2016.pdf
Os dados para cada espécie foram divididos em dois grupos:
- indivíduos que foram obtidos na presença de pluma
- indivíduos que foram obtidos na ausência de pluma.
Nesses gráficos os círculos vazios indicam ausência de pluma e os círculos pretos, indicam que a coleta foi realizada na presença de pluma.
Não foi efetuado agrupamento por local de captura, devido à mobilidade dos organismos e pelo fato da Figura 3.1 não ter demonstrado diferença de concentrações com relação aos locais de pesca, nem pelos diferentes tempos de amostragens, uma vez que todas as coletas foram efetuadas durante o período agudo do acidente (de dezembro 2015 a fev 2016).
Para os metais que possuem limites de concentração definido, foi adicionada uma linha indicativa.
Pode ser afirmar que:
- existem “outliers”. Importante verificar o motivo que levou a tal.
- existem muitos dados abaixo do Limite de Quantificação ou de Detecção do Método, mas estas informações têm que estar presentes na mesma planilha dos dados brutos.
- as concentrações bioacumuladas são diferentes para cada espécie, o que era esperado em função do hábito alimentar e posição em relação à coluna d´água.

Dessa forma, fica indicado, mais uma vez, que os resultados de metais não podem ser apresentados de forma agrupada, ou seja, reunindo todos os exemplares analisados e apresentando valor de média e desvio padrão;

- a tendência de acumulação de metais de acordo com o aumento do comprimento dos indivíduos foi observada poucas vezes, não podendo ser dito que existe um padrão. Deve ser salientado que o intervalo de tamanho considerado foi sempre muito reduzido;
- não é observada diferença de concentração bioacumulada entre os organismos que foram capturados na presença ou ausência de pluma. Isso indica claramente a ausência de comportamento de ação e reação imediata. Inclusive, em muitas vezes, as maiores concentrações foram obtidas em exemplares capturados fora da pluma;
- deve ser dado destaque para o pequeno tamanho das espécies consideradas. Papa terra e Maria Luisa tiveram comprimento abaixo dos 30 cm. Caso existam exemplares de maior tamanho, devem ser confeccionados gráficos de concentração X tamanho dos indivíduos.

Figura 3.2: Concentrações de 5 metais expressos em mg/Kg de (peso úmido) em exemplares das espécies *Menticirrhus americanus (*Papa terra) e *Paralonchurus brasiliensis (*Maria Luisa) na foz do Rio Doce e região costeira adjacente em exemplares capturados em local com presença de pluma (círculos pretos) e em áreas sem presença de pluma (círculos vazios).

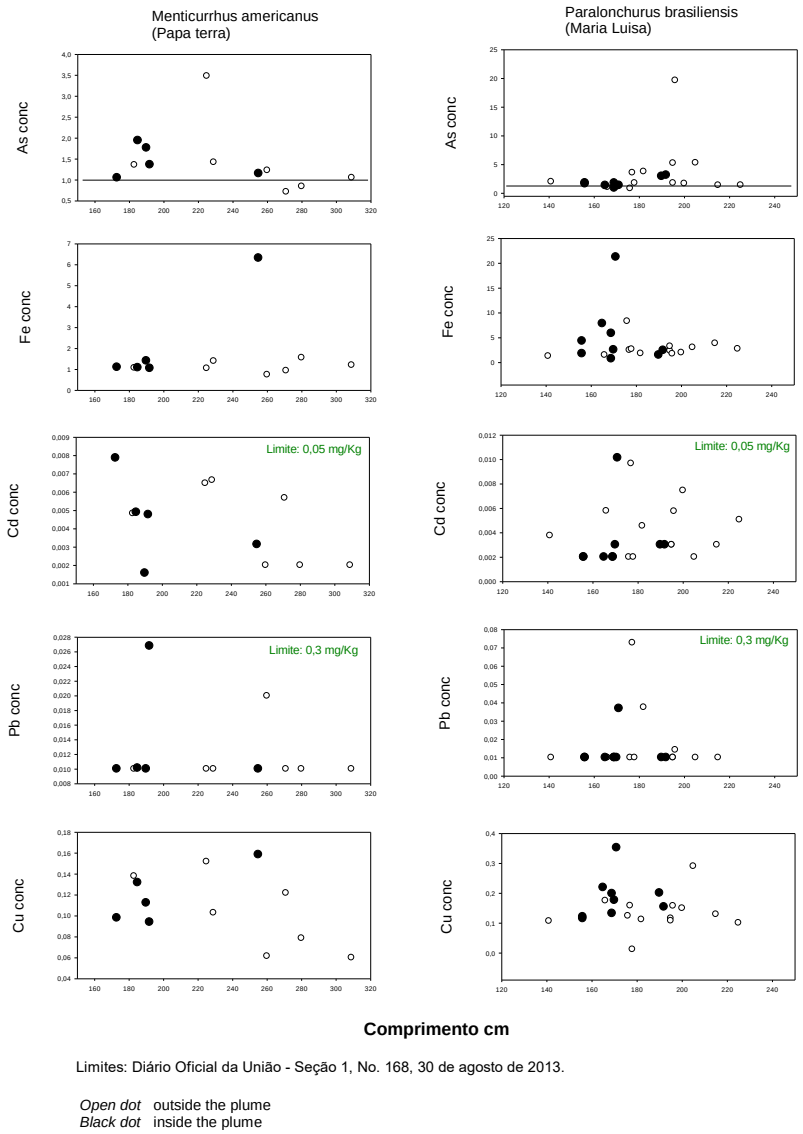


Figura 3.3: Concentrações de 5 metais expressos em mg/Kg de (peso úmido) em exemplares das espécies *Eugerres brasilianus (*Carapeba*)* e *Genidens genidens* na foz do Rio Doce e região costeira adjacente em exemplares capturados em local com presença de pluma (círculos pretos) e em áreas sem presença de pluma (círculos vazios).

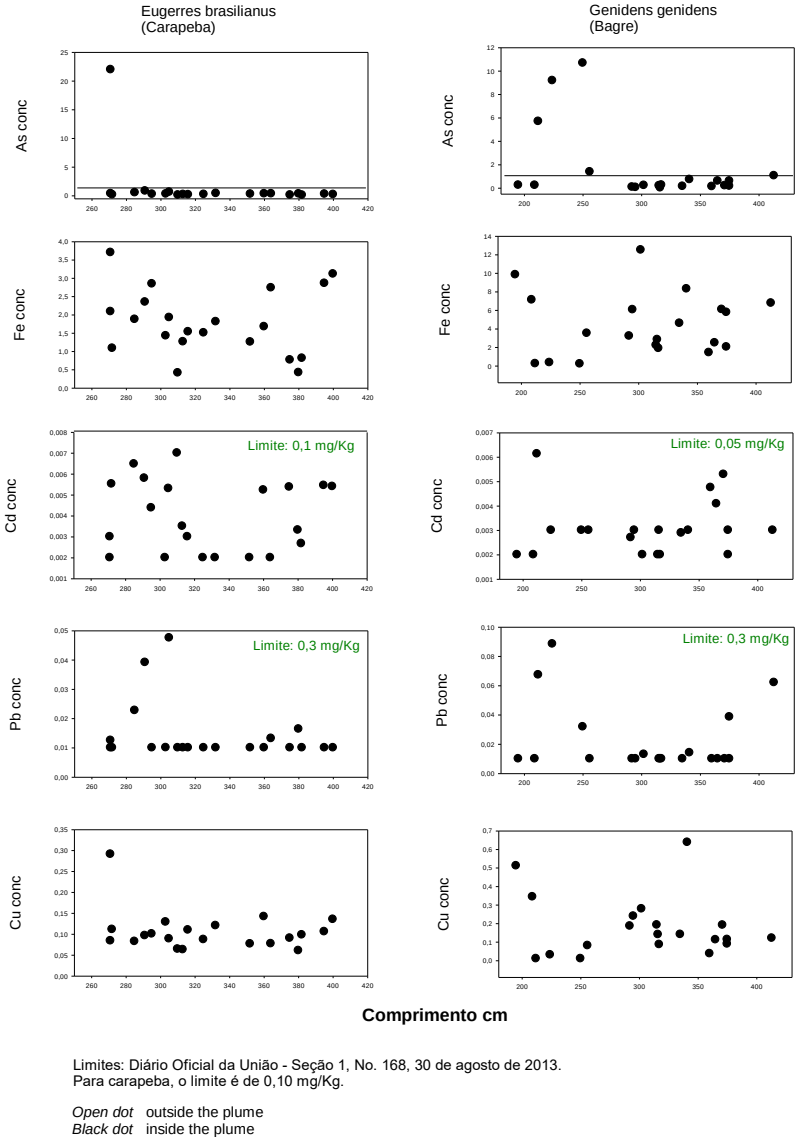
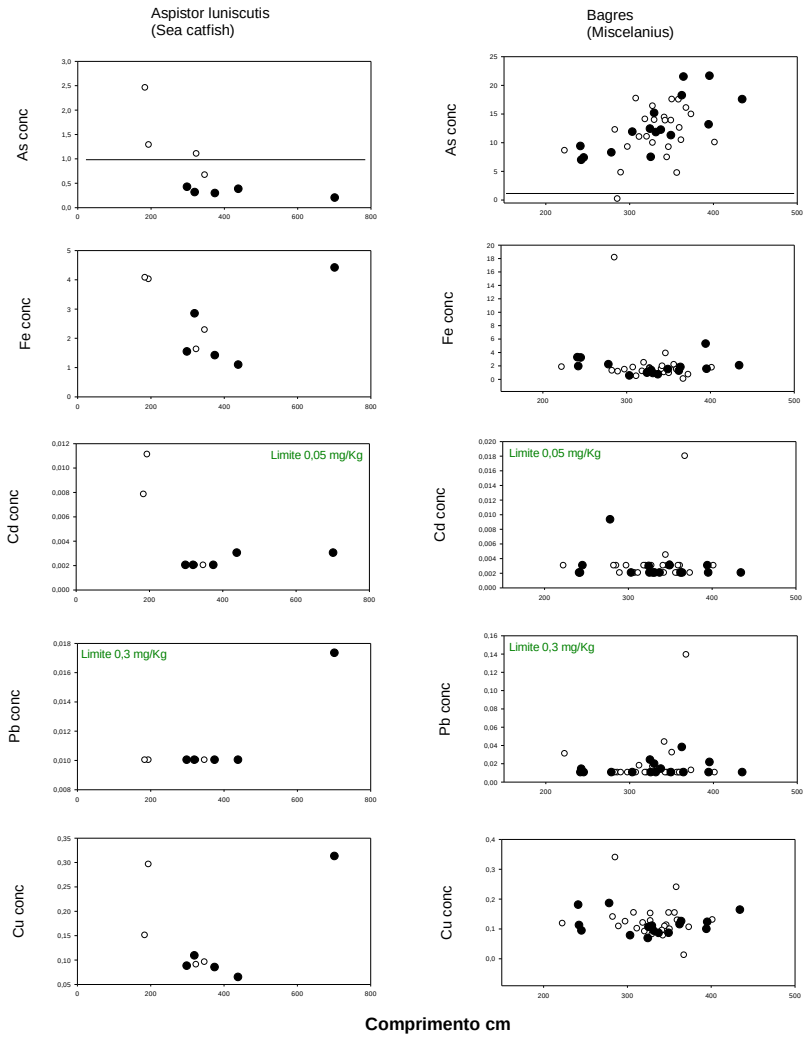


Figura 3.4: Concentrações de 5 metais expressos em mg/Kg de (peso úmido) em exemplares das espécies *Aspistur luniscutis (*Sea catfish*)* e bagres (reunião de espécies) na foz do Rio Doce e região costeira adjacente em exemplares capturados em local com presença de pluma (círculos pretos) e em áreas sem presença de pluma (círculos vazios).



Limites: Diário Oficial da União - Seção 1, No. 168, 30 de agosto de 2013.

Open dot outside the plume
Black dot inside the plume

Parte 4: Comentários gerais com base nos estudos/relatórios disponibilizados.

<u>4.1 Definição de estratégia de execução de estudos complementares</u>

Ao finalizar este relatório, com relação aos dados disponíveis referentes à biota, faz-se necessário apresentar algumas perguntas:

1) As 8 espécies de peixes que foram selecionadas e apresentadas em figuras neste relatório são realmente as mais pescadas, vendidas, consumidas, tanto pela população local como a distante?
2) Qual o intervalo de tamanho dessas espécies?
   A análise de metais no músculo do pescado deve ser feito em uma maior escala de tamanho possível. Em alguns casos, a população local se alimenta de exemplares de pequeno tamanho, pois os maiores são vendidos para mercados externos.
3) As espécies selecionadas estão sempre presentes (permanentes) na área afetada pela pluma ou são sazonais?
   Esta informação é muito importante, pois não seria conveniente recomendar a liberação da pesca para determinadas espécies e outras não. Pois caso haja sazonalidade definida, será necessário esperar que esses indivíduos se façam presentes na região para proceder a captura para estudos complementares.

Algumas outras informações também se fazem necessárias, como por exemplo, saber se os estoques das espécies selecionadas estão aumentando ou não na região. Pois, antes de definir o numero correto de indivíduos que devem ser coletados para constituir uma amostragem eficaz e representativa da situação do meio ambiente, deve ser aplicada uma avaliação sobre o estoque e o esforço de pesca que será necessário para a captura de novos indivíduos para as análises complementares. Os próprios pescadores são peça chave na indicação do estado dos estoques pesqueiros (p.e., se estão ou não restabelecidos). Esta informação pode ser colhida através de entrevistas com as comunidades ribeirinhas ou costeiras.
Também, saber quais os locais de coleta/pesca que são mais representativos, bem como os locais de referência. Outra vez, os pescadores, baseados nas suas experiências e vivências, são as pessoas mais indicadas para responder a estas perguntas. Não se está falando em visão científica, mas sim de conhecimentos adquiridos através da prática profissional. O Relatório COPPE informa sobre os limites, mas seria conveniente acoplar a experiência dos pescadores, antes de uma tomada final de decisão.

As respostas a estas perguntas irão auxiliar na definição e estratégia de execução de estudos complementares, que devem ser desenvolvidos de forma rápida e eficaz. Infelizmente, esses estudos se fazem necessários, pois é condição *sine qua non* ter dados completos, corretos, exatos e reprodutíveis, realizados em mais de um laboratório, para que seja efetuada intercalibração e controle de qualidade dos mesmos.

Assim, para evidenciar definitivamente uma linha de argumentação estabelecida a partir da análise dos dados, esclarecendo tecnicamente as condições bióticas e/ou abióticas favoráveis ou contrárias à manutenção da proibição de pesca, necessita-se de informações complementares para a compreensão do processo de bioacumulação dessa região da foz do Rio Doce e proximidades afetada pela pluma, há quase 3 anos, tais como:
- taxa de acumulação de metais em relação ao tamanho/peso dos indivíduos;
- sazonalidade das espécies;
- espécies de curto e longo prazo de vida;
- posição das espécies na cadeira trófica;
- hábitos alimentares
- sexo (período de desova) e
- posição das espécies na coluna d´água.

Ainda, também é necessário que seja feita a escolha correta dos locais de coleta, bem como dos locais de controle e referencia.
Estes dados serão usados para composição de gráficos e figuras que conterão informações científicas corretas e concisas para os tomadores de decisão.

4.2. Recomendações:

Além dos dados complementares indicados acima, também é necessário:

- Melhor interpretação dos dados já disponíveis e aplicação de critérios de validação.

Deve ser considerado que estamos lidando com um problema novo, onde a simples aplicação da Legislação, dentro ou fora dos valores limites, não resolverá o problema, pois é uma região com background próprio.

- Apresentação de uma arquitetura de monitoramento com esquemas de tomadas de amostra representativas.

Coletas efetuadas em pontos específicos, definidos em escritório ou sala de reunião, não conduzem ao perfeito entendimento do que está ocorrendo com este complicado ecossistema.

Um desenho amostral correto e eficaz deve conter uma combinação de estações fixas (para monitoramento) e estações não fixas (para explicação do metabolismo ambiental). Todos os dados devem ser usados para indicar os processos biogeoquímicos envolvidos.

-Conhecer a "História da Atividade Humana no Litoral do Espírito Santo, no Rio Doce e área costeira sob sua influência", a partir da análise de sedimentos.

O registro nos sedimentos tem sido usado por muitos grupos de pesquisadores para reconstruir a história de entradas de contaminantes em estuários e ambientes costeiros em todo o mundo (2014. L.F. Niencheski, W.S. Moore & H.L. Windom. History of Human Activity in Coastal Southern Brazil from Sediment. Marine Pollution Bulletin. 78, p. 209-212). As premissas básicas são de que os insumos contaminantes se equilibram relativamente rápido com as partículas de sedimentos na interface sedimento-água e que a coluna de sedimentos representa uma sequência contínua de acumulação de sedimentos e de contaminantes associados.

Para a obtenção dessa geocronologia, as taxas de acumulação são calculadas com base nas mudanças na atividade total de ^{210}Pb com a profundidade nos sedimentos, usando como elemento de confirmação um radiotraçador complementar, o ^{137}Cs.

Para tal o que devemos é encontrar "proxies", para todas as matrizes:

- água
- sedimento
- organismos

- Obter dados exatos e precisos necessários para o cálculo de parâmetros que constam em ANVISA – Protocolo 009123-2016, visando à comparação com os padrões de:

-Ingestão Mensal Máxima Tolerável (PTMI)

-Benchmark Dose Lower Confidence Limit (BMDL)

-Margin of Exposure (MOE).

Para isto, faz-se necessário que os relatórios apresentados e disponibilizados sejam acompanhados de tabelas contendo:

- os dados brutos
- os valores dos brancos
- os materiais de referencia internacional

-os Limites de Detecção e Quantificação do Método, bem como exatidão e precisão baseados no uso de material de referência certificado e,

- apresentação de Carta de Controle de Qualidade.

4.3.Informações alentadoras

A análise do conteúdo dos relatórios revela também boas noticias: o sistema está em fase de recuperação. Abaixo, de forma bem resumida, são apresentados trechos desses relatórios:

O Item 9 – Golder, com base nos dados coletados entre novembro de 2015 e fevereiro de 2017, informa que a Qualidade da Água no último período temporal de observação (periodo chuvoso 2016-2017 - (T4), apresentou uma diminuição das concentrações de uma forma geral em relação aos periodos anteriores. Informa que as intervenções de controle de rejeitos promovidas pela Fundação Renova e o fato do pulso de elevação da vazão do Rio Doce no ultimo periodo ter sido menor são os fatores que explicam essas diferenças.

O Item 15 Econservation trata da análise estatística dos dados do programa de monitoramento da comunidade de zoobentos do Rio Doce e sua revisão bibliográfica mostrou que a situação já era precária antes do acidente, ocorrendo a substituição de espécies endêmicas por outras introduzidas. Revelou também que os rios de todo o Quadrilátero Ferrífero já apresentavam valores de metais compatíveis com aqueles encontrados neste trabalho, com alguns metais ultrapassando o limite CONAMA e mostrando uma possível situação de contaminação generalizada. Por fim, este item informa que nenhuma relação foi estabelecida entre a fauna e os teores de metais no sedimento.

Baseado no Item 37 UERJ, os dados apresentados sugerem que o evento de 5-6 de janeiro de 2016 não teve impacto direto sobre o Parque Nacional de Abrolhos.

O Item 38 Golder, Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos, informa que os rejeitos possuem a mais baixa reatividade no conjunto de materiais incluídos nos dados geoquímicos, devido ao fato de que eles consistem de fases minerais insolúveis. Os rejeitos geralmente contêm as menores concentrações de metais traço, não resultando em nenhum parâmetro excedente em relação aos padrões de solo.

Item 40 CTA, em relatório do Monitoramento da Ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, relata que a ictiofauna se recuperou em termos de abundancia com elevada riqueza, inclusive com diversas espécies ameaçadas se distribuindo na área. O mesmo pode se dizer da carcinofauna, sendo observado que o camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*), por suas características bioecológicas, se distribuiu por áreas afetadas e não afetadas.

Com relação Macroalgas e Manguezal, o Item 42 Golder, informa que não foi observada evidência visual de deposição de rejeitos sobre macroalgas e rodolitos na APA Costa das Algas e na RVS Santa Cruz. É pouco provável que impactos crônicos letais ou subletais sobre a estrutura e funcionamento das comunidades de macroalgas da APA Costa das Algas e na RVS Santa Cruz tenham ocorrido ou venham a ocorrer, na medida em que, após o rompimento da barragem, não foram observadas mudanças nas concentrações de metais (impacto químico), enquanto o pulso de elevação de turbidez observado foi de curto prazo e atingiu níveis máximos que não ultrapassaram a faixa de variação natural pré-evento.

O Item 43 Golder, sobre manguezais: níveis de referencia e potenciais impactos relata que não foram observadas evidencias visuais de alteração recente (p.e. mortandade em massa) de flora e fauna associada nos manguezais estudados.

Com relação aos relatórios COPPE, o Cap. 4 – Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente, que estudou a possibilidade da pluma da foz do rio Doce migrar para o norte e atingir áreas sensíveis como o Arquipélago de Abrolhos, informa que a simulação mostrou que a pluma de sedimentos é transportada a grandes distancias para o sul, cerca de 55 km para o sul da Foz do Rio Doce. A análise feita por padrões de similaridade mostrou que a

probabilidade da pluma vinda do Rio Doce migrar para o Norte e atingir o arquipélago de Abrolhos é irrisória. Considerando os efeitos de diluição na zona costeira, a menos de 20 km para o norte da foz as concentrações já eram irrelevantes.
O Cap. 5 aborda sobre a Biodiversidade e sintetiza os conhecimentos acerca dos padrões de biodiversidade após o rompimento, ou seja, em setembro de 2016, quando da realização da pesquisa.
O Cap 8 – Amostragem e Avaliação Físico-Química e Mineralógica de Rejeitos e Sedimentos, nos rios, até a foz do Rio Doce, conclui com relação ao conteúdo de metais pesados, que suas concentrações presentes nos rejeitos e nos sedimentos não representam riscos à contaminação ambiental.

4.4 Relatórios complementares: informações relevantes sobre o estudo.

Tendo em vista os relatórios comentados abaixo terem sido recebidos em um momento posterior, eles não estão incluidos na Tabela 1, mas suas referencias podem ser buscadas na Tabela 2.

A UFES, através do seu Departamento de Oceanografia, apresentou três relatórios sob o título de "Processamento, Interpretação e Consolidação de Dados da Área Estuarina e Marinha na Foz do Rio Doce – ES" para apresentar análise integrada de dados coletados entre os dias 03 e 05 de fevereiro de 2016.
O 1º. Relatório efetua uma descrição dos estudos e apresenta alguns resultados iniciais que foram completados no 2º. Relatório (Item 1, da Tabela 2).
O 2º. Relatório informa que, em relação à granulometria, o padrão de distribuição amostrado no dia 05/02/16 é bastante semelhante ao encontrado em estudos anteriores à chegada da pluma (Quaresma et al., 2015). Entretanto, os resultados deste 2º. Relatório apresentaram um afinamento bem sensível do material de fundo em relação ao documentado por Quaresma et al (2015) e, que esse afinamento pode resultar em uma maior ressuspensão.

Quanto às análises parciais de metais e metaloides na água do mar e sedimento, destaca-se o nítido aumento das concentrações de alguns elementos com a presença da lama, as quais aparentemente são rapidamente diluídas no ambiente marinho. Somente as concentrações de As, Zn e Se ultrapassaram os valores orientadores tanto para a água como para o sedimento.
O 3º. Relatório (Item 3, Tabela 2), apresentado em setembro de 2016, relata que ovos e larvas de peixes coletados estavam com um sedimento alaranjado aderido, indicando uma influencia da lama na amostra de superfície. Isto também já tinha sido apresentado no Relatório Aplysia 1763.2016, o qual também informou que o ictioplancton e o fitoplancton parecem ter sido impactados pela chegada da lama de rejeitos.
O 4º. Relatório da UFES informa sobre o Processamento, Interpretação e Consolidação de dados da área estuarina e marinha na foz do Rio São Mateus – ES.
Este relatório traz dados coletados entre os dias 01 e 06 de abril de 2016, como parte do monitoramento da foz dos Rios São Mateus, Mucuri e Caravelas.
Com relação aos dados obtidos sobre o Banco dos Abrolhos, como a época de coleta aconteceu no período de outono, quando esta região se caracteriza por apresentar uma tendência à homogeneização vertical (Guisolfi et al., 2015), padrão esse que foi observado nos dados coletados na plataforma até os 15-20 m de profundidade. Os valores de turbidez superiores a 10 FTU observados nas coletas realizadas em áreas de menor profundidade (em torno de 8 m) podem refletir a atuação das ondas observadas na região. Já os altos valores de salinidade refletiram a baixa descarga continental.
Informa que uma imagem de satélite no dia da coleta das amostras mais costeiras (06/04/16) onde se observa claramente que a região de maior turbidez abrange a faixa de até 10 m de

profundidade. Esta maior turbidez pode ser o resultado de processos de ressuspensão de sedimento na área costeira ou de material de descarga do rio São Mateus. Não há evidencia clara que esta ressuspensão seja diretamente produto do deslocamento em direção norte da pluma do rio Doce.
Apresenta, também, como informação que quando são juntados os resultados de granulometria total, superficial e de densidade, a teoria de que esta área de maior turbidez esteja ligada a processos de ressuspensão se torna mais plausível, uma vez que o domínio é basicamente arenoso com apenas uma estação no domínio lamoso e uma segunda com maiores teores de lama. Esses maiores valores poderiam estar ligados diretamente ao aporte do próprio Rio São Mateus e não necessariamente ao aporte da lama de rejeito resultante do rompimento da barragem de propriedade da Samarco, do ponto de vista sedimentológico.
As concentrações de nitrogênio amoniacal mais elevadas encontradas na desembocadura do rio indicam uma contribuição de nitrogênio destas fontes antrópicas, uma vez que a bacia hidrográfica do rio São Mateus já vem sofrendo com este tipo de atividade (Reis, 2014). Ressaltam que apenas o Se (Total) apresentou concentrações acima dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.
Com relação a concentrações de metais no MES, informam que concentrações mais elevadas próximas à foz do Rio São Mateus indicam que materiais terrígenos de fontes naturais/antrópicas, provenientes da bacia hidrográfica deste corpo hídrico, são responsáveis pelos valores observados na região avaliada.
Metais nos sedimentos, as maiores concentrações estão presentes nos sedimentos superficiais próximos à desembocadura do Rio São Mateus, indicando aporte terrígeno desta bacia. Poucos elementos (As e Se) ultrapassaram os valores orientadores, seja para água ou para sedimentos, estabelecidos pela legislação brasileira.
Os elementos analisados apresentam maiores concentrações nas estações amostrais mais próximas a desembocadura do Rio São Mateus em todas as matrizes analisadas, tanto na coluna d´água (dissolvido, total e MPS) quanto no sedimento superficial.
Com relação a clorofila a, esta mostrou valores muito variáveis mas chegou a valores muito elevados em várias estações. A baixa quantidade de feopigmentos, bem como os percentuais quase sempre elevados de clorofila ativa, mostrou um grau pequeno de senescência do fitoplancton desta área.

O Item 5 da Tabela 2 é o trabalho desenvolvido pela Fundação Renova "Quantificação de metais e arsênio nos organismos coletados durante o programa de monitoramento da ictiofauna do Rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo – Relatório 2, de agosto 2018, de autoria de Laila Carine Campos Medeiros. Foram coletados 268 peixes durante a 6ª, 7ª, 11ª e 12ª campanhas (outubro, novembro de 2017 e março e abril de 2018) do Programa de Monitoramento da ictiofauna do Rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e, informa que o conjunto de dados analisados revelou que nenhuma amostra ultrapassou os limites impostos pela Resolução RDC nº 42/2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para os elementos As, Cd, Pb e Hg, ou os limites do Decreto 55871/65 da Presidência da República para os elementos As, Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Cr e Cu. Assim, o consumo deste pescado, em tese, não ofereceria risco à saúde humana.

O Item 6, é o trabalho de Adalto Bianchini, apresentado na 23ª. Reunião Ordinária da CT-BIO/CIF (não consta na Tabela 1), onde no slide 58, Conclusões – conformidade com a RDC – ANVISA, informa que houve uma redução temporal significativa no percentual de amostras de peixes em não conformidade com a RDC ao longo dos dois anos de monitoramento realizado.
As amostras de peixes coletadas durante a expedição V (realizada entre os dias 810 e 840) na área de proibição da pesca (Foz do Rio Doce; <20 m de profundidade) e em toda a região monitorada (Gurarapari – Abrolhos) apresentaram percentuais semelhantes de não conformidade com a RDC para todos os metais analisados.

O Relatório apresentado pela BHP1702_R_v2-0, foi desenvolvido pela Hydrobiology como o nome de “Upper catchment supplementary ecological indicators” e, constitui-se o Item 7 da Tabela 2.
Aplicam o conceito de coletas em locais teste, que são as amostras obtidas no local que sofreu o impacto imediato e amostras coletadas em locais de referencia e de controle.
Embora um número de valores excedentes ao padrão ambiental tenha sido encontrado para vários contaminantes na água e sedimento, não foi observado nenhum padrão discernível, e os valores elevados observados ocorreram tanto nas estações de coleta, como nos locais denominados controles e de referência.
As observadas mudanças nos habitats associadas ao aumento da carga de sedimentos têm afetado a comunidade de macroinvertebrados, nas estações denominadas teste, as mais próximas ao local do rompimento, onde é registrado uma menor diversidade (comparados aos locais controle / referência) e ausência geral de táxons que são sensíveis a uma turbidez mais elevada e que requerem um maior espaçamento intersticial dos sedimentos.
Isto é, o rejeito acabou sufocando os ambientes rasos, preenchendo os espaços dos poros e, elevando a turbidez, afetou os organismos filtradores e os que possuem brânquias.
As concentrações de metal em amostras de tecido foram de um modo geral abaixo dos respectivos valores de referência. As poucas amostras com concentrações de metal acima dos valores de referência não foram específicas para nenhum local, isto é, as elevações observadas foram registradas tanto para os locais denominados de teste, controle e referência.
Um dos principais efeitos do rompimento da barragem no Rio Gualaxo do Norte foi à homogeneização do habitat do leito fluvial. Até agora, os esforços de reabilitação concentraram-se nos trabalhos de estabilização dos leitos e margens. Assim, em curto prazo, os bancos seriam estabilizados, proporcionando abrigo, alimentação e habitat de desova para a biota aquática.
Recomenda-se que trabalhos de estabilização dos leitos e margens com emprego de material natural como troncos e toras de madeira devem ser continuados.

O Item 8 é o Relatório apresentado pela Golder com o título “Barragem de Rejeitos de Germano e Fundão, e reservatório de Santarém a jusante”. Informa que as amostras de rejeito coletadas na Barragem de Germano consistiam, principalmente, do silicato mineral quartzo, com menores quantidades dos (hidr)óxidos de ferro hematita e goethita. Os rejeitos não continham minerais sulfetados e, por conseguinte, foram classificados como não geradores de ácido. Os principais compostos detectados nas amostras de rejeito foram sílica e oxido de ferro. No conjunto de dados geoquímicos, os rejeitos apresentaram as menores concentrações para muitos metais-traço (isto é, As, Ba, Co, Cu, Pb, Ni, Ag, V e Zn).
Os resultados da análise da fase sólida não excederam os padrões de prevenção ou de investigação estabelecidos na Resolução CONAMA. Além disto, a composição de fase sólida das amostras de rejeito estava dentro dos Valores de Referencia de Qualidade de Solo de Minas Gerais, e das concentrações de referência determinadas para o Quadrilátero Ferrífero.
A Golder informa também que todas as conclusões derivadas do Programa de Caracterização Geoquímica relativas aos teores, distribuição e mobilidade de metais são inteiramente consistentes com os muitos estudos realizados por terceiros na área afetada pela liberação dos rejeitos, realizados tanto antes como depois do rompimento da barragem. Isto inclui estudos relativos à geologia regional, investigações referentes à qualidade pré-existente dos solos, sedimentos e águas superficiais e estudos focados, especificamente, nos impactos ambientais do rompimento da barragem sobre a qualidade dos solos e sedimentos.

Parte 5. Consideração final

Foi solicitado para que este Parecer Técnico Independente respondesse a algumas questões, onde a questão primária era:
-os estudos disponíveis até o momento são suficientes para responder se há justificativa sob o ponto de vista ambiental e de risco à saúde humana para a manutenção da área de proibição da pesca delimitada atualmente e, se o consumo de pescado oferece risco à saúde humana.

Este Parecer informa sobre a necessidade de serem realizados estudos complementares a respeito da concentração de metais na biota e apresenta linhas a serem seguidas. Após a obtenção desses estudos e dados complementares, deverá ser efetuada uma análise dos mesmos, a fim de esclarecer tecnicamente as condições bióticas e/ou abióticas favoráveis ou contrárias à manutenção da proibição de pesca.

Por fim, este Parecer está em sintonia com o que foi apresentado no trabalho da Fundação Renova de agosto de 2018. Este relatório da Renova atesta que nenhuma amostra ultrapassou os limites impostos pela Resolução RDC nº 42/2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para os elementos As, Cd, Pb e Hg, ou os limites do Decreto 55871/65 da Presidência da República para os elementos As, Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Cr e Cu. Assim, o consumo deste pescado, em tese, não ofereceria risco à saúde humana. Contudo, se mostra necessária a continuidade da ampliação do número amostral de forma a possibilitar análises mais representativas em termos de abrangência geográfica, quantidade por espécie e quantidade por estação de amostragem, além de estender a avaliação de risco para analitos não legislados pela referida Resolução, para dirimir a questão da segurança de consumo do pescado oriundo do rio Doce e seus tributários.

Referências Bibliográficas

Corradi, C.E., Baumgarten, M.G.Z., Niencheski, L.F. e M. Wallner Kersanach. 2007. Monitoramento hidroquímico da área do Porto de Rio Grande (RS) submetida a atividades de dragagem. In: Cap. 2 Licenciamento e monitoramento ambiental. Dragagens Portuárias no Brasil. Licenciamento e Monitoramento Ambiental. Organizadores: Eliane Beê Boldrini, Carlos Roberto Soares e Eduardo Vedor. p. 77 – 87. ISBN 978-85-60764-00-6.

Cutter, Greg (ed) (2014) Sampling and sample-handling protocols for GEOTRACES cruises. (In WWW.geotraces.org).

Ethica Ambiental RT 02/2016. 2016. Parecer Técnico em Resposta ao Auto de Infração # 016543-A.

Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). 2006. Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006. 156 p. ISBN 85-7427-017-2

Kunyoshi, L.S.; Braga, E.S.; Favaro, D.I.T. 2011. Uso do arsênio na avaliação da qualidade do pescado: necessidade de adequação da legislação ambiental. In: V Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 5, 2011. Santos, Resumos.

Milani, I.C.B, Niencheski, L.F.H. & M.R. Milani. 2005. Minimização da contaminação na determinação de metais traços em águas naturais. Revista Vetor - FURG, Vol. 15 (2). p. 93 - 99. ISSN 0102-7352.

Morgano, M.A.; Milani, R.F.; Martins, M.C.; Rodriguez-Amaya, D. B. *Food Contro.* 2011, *22*, 1604.

Nadella et al., 2009. Toxicity of dissolved Cu, Zn, Ni and Cd to developing embryos of the blue mussel (*Mytilus trossolus*) and the protective effect of dissolved organic carbon. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. Vol. 149, Issue 3, April 2009, p. 340-348.

Niencheski,L.F.; Machado, E.C.; Silveira, I.M.O. e M.J. Flores Montes. 2014. Metais traço em peixes e filtradores em quatro estuários da costa brasileira. Tropical Oceanography, Recife, v. 42, n. 1, p. 94-93, ISSN: 1679-3013 D.O.I.: 10.5914/1679-3013.2014.0106).

Niencheski, L.F.H.; Baraj, B.; Windom, H.L. & R. França. Natural background assessment and its anthropogenic contamination of Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Al and Fe in the sediments of the southern area of Patos Lagoon. Journal of Coastal Research. 2004. Special Issue 39. p. 1040 -1043.

Niencheski L.F.; Moore, W.S. & H.L. Windom. 2014. History of Human Activity in Coastal Southern Brazil from Sediment. Marine Pollution Bulletin. 78, p. 209-212.

Niencheski, L.F.; Baumgarten, M.G. e M. Wallner-Kersanach. 2006. Capítulo 3. Caracterização ambiental: hidroquímica e sedimentologia. Seção 3.1 Hidroquimica. *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 14 – 51.

Niencheski, L.F. & Fillmann, G. 2006. Capítulo 4. Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. Seção 4.1 Introdução. *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 63 – 64.

Niencheski, L.F. 2006. Capítulo 4. Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. Seção 4.2 Determinação de metais traço. *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A .; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 64 – 66.

Niencheski, L.F. e Wallner-Kersanach, M. 2006.Capítulo 4. Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. Subitem 4.2.2.5.1 Peixes. *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A ; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 66 – 67.

Niencheski, L.F. e Santos, C.S.G. 2006. Capítulo 4. Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. Subitem 4.2.2.5.2 Mollusca, Bivalvia (Ostra). *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 68 – 70.

Niencheski, L.F. e Santos, C.S.G. 2006. Capítulo 4. Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. Subitem 4.2.2.5.3 Annelida, Polychaeta. *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 70 – 72.

Niencheski, L.F. e Baumgarten, M.G.Z. 2006. Capítulo 4. Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. Subitem 4.2.2.5.4 Crustacea, Cirripedia (Cracas). *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 73 – 75.

Niencheski, L.F. 2006. Capítulo 4. Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. Subitem 4.2.2.6 Digestão do material biológico – análise de elementos traço por espectroscopia de absorção atomica. *In*: Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas. Lana, P.C.; Bianchini, A.; Ribeiro, C.A.O.; Niencheski, L.F.; Fillmann, G. & Santos, C.S.G. (Organizadores). Projeto RECOS: Uso e apropriação de Recursos Costeiros. Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2006 (ISBN 85-7427-017-2). p. 75 – 79.

Niencheski, L.F.; Milani, M.R. & Milani, I.C.B. 2008. Metais traço: Água. Parte III. Capítulo 7. In: Baptista Neto, J.A.; Wallner-Kersanach, M. & Patchineelam, S.M. *(Org.). Poluição Marinha.* Editora Interciência. Rio de Janeiro. ISBN 978-85-7193-26-7. p. 179-196.

Paiva, M. and Niencheski, L.F.H. 2018. Advances of Submarine Groundwater Discharge Studies in South America. *J. Braz. Chem. Soc.* Vol 29, n. 5, p. 916-924. http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20170220.

RDC No. 42. *Resolução no. 42 de 29/08/2013 da Diretoria Colegiada da ANVISA (Normas Mercosul).*

Shiller, A.M., 2003. Syringe filtration methods for examining dissolved and colloidal trace elements in remote field locations. Environ. Sci. Technol. 37, 3953-3957.

UFES, 2016. Resultados parciais das analyses realizadas em amostras coletadas na plataforma adjacent a Foz do Rio Doce, APA Costa das Algas e Plataforma de Abrolhos: embarque Soloncy Moura. Relatório Técnico Parcial. 24 p.

Windom, H.L., Moore, W.; Niencheski, L.F. e R. Jahnke. 2006. Submarine Groundwater Discharge: a Large, Previously Unrecognized Source of Dissolved Iron to the South Atlantic Ocean. Marine Chemistry. Vol 102, Issues 3-4, p. 252-266.

<u>Observação:</u>

Além das referencias acima, devem ser considerados os Memorandos, Relatórios e Anexos que compõem as Tabelas 1 e 2.

Anexo I

Tabela 1. Base documental definida pela Fundação Renova que foram avaliados para elaboração deste Parecer Técnico Independente, objeto deste serviço.

Item	Empresa/Instituição	Título de Referência	Data
Físico-Químico: Água e Sedimentos			
1	GOLDER ASSOCIATES	Memorando Técnico: Qualidade de água, sedimentos e resultados de testes ecotoxicológicos (dados até 18/jan/2016)	mar/16
2	GOLDER ASSOCIATES	Memorando Técnico: concentração de arsênio, zinco e selênio na zona costeira	mai/16
3	GOLDER ASSOCIATES	Memorando Técnico: Atualização da qualidade da água e sedimento na zona costeira	mai/16
4	GOLDER ASSOCIATES	Memorando Técnico: Referente ao Auto de Infração nº 016543-A	jul/16
5	GOLDER ASSOCIATES	Memorando Técnico: Resumo da Qualidade de água e sedimento relativo aos limites da resolução Conama 357/2005	jul/16
6	AMBILEV	Monitoramento Marinho ADP - Pacote 4	abr/16
7	ECONSERVATION	Relatório Técnico Conhecimento do Comportamento do Cádmio na Bacia do Rio Doce	fev/17
8	GOLDER ASSOCIATES	Qualidade da água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas - Atualização de Julho 2016	jul/16
9	GOLDER ASSOCIATES	Relatório Monitoramento Marinho Dados Nov-15 a Fev-17 (período emergencial)	mai/17
10	GOLDER ASSOCIATES	Relatório Monitoramento Rio Doce Nov-15 a Mar-17 (período emergencial)	jul/17
11	IGAM	Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 2 anos do rompimento da barragem de Fundão - 2015/2017	out/17
13	IEMA	Análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco	Não informado
14	FUNDAÇÃO RENOVA	Anexo: Análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco	Não informado
Invertebrados			
15	ECONSERVATION	Análise Estatística dos Dados do Programa de monitoramento da comunidade do zoobentos do rio Doce	mai/16
16	GOLDER ASSOCIATES	Auto de Infração nº 019973	jul/16
Bioacumulação			
17	FURG	Relatório Técnico científico - contrato 105/2016 - Etapa 1	abr/16

18	FURG	Relatório Técnico científico - contrato 105/2016 - Etapa 5	nov/2015 até abr/2016
19	FURG	Avaliação de impacto da lama da Samarco sobre os ambientes costeiros - 1ª expedição	jan/16
20	FURG	Resumo das análises realizadas - expedição Soloncy Moura	mar/16
21	FURG	Relatório_de_Atividades_FURG_27_10_2017	jan/2017 e set/2017
22	UFVJM	Relatório da contaminação dos peixes capturados na região do médio rio doce	mai/17
23	ECONSERVATION	Monitoramento de bioacumulação por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possível influência da lama de rejeitos oriunda do rompimento	abr/16
24	GOLDER ASSOCIATES	Concentração de metais em água, sedimentos, tecido de peixe e organismos aquáticos coletados na região marinha e estuarina do rio Doce	mar/16
25	APLYSIA	Análise de concentração de metais em tecido de moluscos	abr/17
26	APLYSIA	Levantamento de dados de arsênio em tecido de peixes e moluscos	out/16
27	APLYSIA	Anexo - RT Análise de concentração de metais em tecido de moluscos	abr/17
28	ANVISA	Assunto: Pescados da região afetada pelo acidente	jun/16
29	ECONSERVATION	Remoção, identificação, contabilidade e destinação de peixes do rio Doce	abr/17
30	BIOMA	Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de fundão	fev/16
31	HIDROBIOLOGY	As total and inorganic	dez/2015 a fev/2016
Deposição de Rejeitos			
33	ECONSERVATION	Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho	jun/17
34	APLYSIA	Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (REBIO COMBOIOS)	dez/2015 a fev/16
35	ECONSERVATION	Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre abrolhos e Vitória	abr/16
36	GOLDER ASSOCIATES	Análise da ocorrência de deposição de rejeitos oriundos da barragem de fundão no ambiente marinho adjacente ao Rio Doce	mai/16
37	UERJ	Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos	mai/16
38	GOLDER ASSOCIATES	Caracterização Geoquímica de rejeitos	out/17
Hidrografia			
39	AMBLEV	Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce	abr/16
Ictiofauna			
40	CTA	Monitoramento da ictiofauna na região marinha	dez/17
Macroalgas e Manguezal			
41	GOLDER ASSOCIATES	Avaliação do estado de conservação dos bancos de macroalgas e rodolitos adjacentes à foz do rio Doce	out/16
42	GOLDER ASSOCIATES	Definição de níveis de referência e avaliação de potenciais impactos sobre os manguezais	out/16
Relatórios COPPE			

43	UFRJ/COPPE	Relatório 20275_Vale	jan/17

Tabela 2. Base documental complementar enviada para avaliação e inclusão na elaboração deste Parecer Técnico Independente, objeto deste serviço.

Item	Empresa/Instituição	Título de Referência	Data
1	UFES	1º. Relatório UFES – Rio Doce – 16388. pdf	
2	UFES	2º. Relatório UFES – Rio Doce – 16388. pdf	
3	UFES	3º. Relatório UFES – Rio Doce – 16388. pdf	Setembro/16
4	UFES	4º. Relatório UFES – São Mateus – 16388. pdf	
5	RENOVA	Quantificação peixes 164_relatório 2_Complemento.pdf	Agosto /18
6	Rede Rio Doce Mar	Adalto Bianchini_07_06_2018_CTBio.pdf	7 junho/18
7	Hydrobiology	BHP 1702_R_v2-0.pdf	agosto/18
8	GOLDER ASSOCIATES	20171123 – Geoquímico Rev Final.pdf	outubro/17

CAPÍTULO 3

BIOACUMULAÇÃO E ECOTOXICOLOGIA

Dra. Tatiana Heid Furley

APLYSIA
SOLUÇÕES AMBIENTAIS

FUNDAÇÃO RENOVA

PARECER TÉCNICO INDIVIDUAL

AVALIAÇÃO DOS DOCUMENTOS TÉCNICOS RELATIVOS A QUALIDADE DO PESCADO NO RIO DOCE E ZONA COSTEIRA ADJACENTE: *BIOACUMULAÇÃO E ECOTOXICOLOGIA*

Relatório Técnico n° 766/2018

Revisão 00

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 3
2. OBJETIVO.....4
3. METODOLOGIA.....5
4. RESULTADOS 8
4.1 ASPECTOS RELATIVOS AO CONSUMO HUMANO.....8
4.2 ASPECTOS AMBIENTAIS.....16
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 19
6. REFERÊNCIAS.....22
7. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DA EMPRESA DE CONSULTORIA 25
8. EQUIPE TÉCNICA 26
9. ANEXO.....27

1. INTRODUÇÃO

Devido ao rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana/MG, no dia 05 de novembro de 2015, a pluma de turbidez alcançou o rio Doce e percorreu sua extensão até chegar ao mar em 21 de novembro de 2015 (CPRM, 2015). Dentre as alterações ambientais decorrentes do rompimento, o IBAMA apontou em laudo técnico preliminar impactos sobre a ictiofauna, bem como restrição a pesca com redução de receita econômica a comunidade de pescadores artesanais profissionais (IBAMA, 2015).

Em fevereiro de 2016 a Justiça Federal determinou, liminarmente, a proibição da pesca a partir do dia 22 de fevereiro de 2016 por tempo indeterminado, na área compreendida entre a região de Barra do Riacho, Aracruz/ES, até Degredo/Ipiranguinha, em Linhares/ES, dentro dos 25 metros de profundidade, conforme requerido pelo Ministério Público Federal. Em decisão, registra-se que a continuidade da atividade pesqueira nas áreas afetadas pelos rejeitos *"... representam, ao menos em potência, risco grave de dano irreparável ou de difícil reparação ao meio ambiente e à saúde da coletividade..."*, estabelecendo que tal decisão é passível de revisão quando dos resultados das análises técnicas oficiais (JUSTIÇA FEDERAL, 2016). Esta área foi redefinida para a isóbata de 20 metros de profundidade em maio do mesmo ano.

Já em novembro de 2016, o Instituto Estadual de Florestas estabeleceu por meio de Portaria a proibição da pesca profissional em toda a bacia hidrográfica do rio Doce, nos limites do estado de Minas Gerais. Em maio de 2017 a normativa é revista, sendo a proibição restrita a pesca de espécies autóctones (origem ou ocorrência natural na bacia), motivada pelos impactos ambientais sobre os recursos pesqueiros (IEF, 2016, 2017).

Estudos acerca da qualidade do pescado e relacionados a esta questão vem sendo conduzidos tanto na bacia do rio Doce quanto na região costeira adjacente, desde o período do rompimento da barragem, a pedido da SAMARCO e posteriormente da Fundação RENOVA, ou por iniciativa dos órgãos reguladores e universidades. Os

resultados disponibilizados até o momento farão parte da presente avaliação, nos termos descritos a seguir.

2. OBJETIVO

O presente parecer pretende, a partir de estudos e dados secundários, apresentar elementos técnicos que possam embasar as avaliações sobre a qualidade do pescado na região delimitada como área de proibição da pesca e zona costeira adjacente.

As manifestações técnicas aqui produzidas consideraram os aspectos relacionados a ecotoxicidade e, principalmente, bioacumulação de metais e arsênio. Foram apresentadas como questões norteadoras da análise:

1. Há justificativa sob o ponto de vista ambiental e de risco a saúde humana para a manutenção da área de proibição da pesca delimitada atualmente?

2. O consumo próprio do pescado oferece risco à saúde humana?

3. Os estudos disponíveis são suficientes para responder estas questões?

3. METODOLOGIA

A manifestação técnica acerca do tema foi construída exclusivamente a partir de estudos existentes, disponibilizados pela Fundação RENOVA ou produzidos pela própria APLYSIA. Para a análise apresentada na sequência, os documentos levados em consideração estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Discriminação dos documentos utilizados na construção deste parecer técnico individual, referente a ecotoxicidade, bioacumulação de metais e arsênio em pescado.

Referência	Título	Categoria	Assunto	Período
ANVISA, 2016	Avaliação de risco do consumo de pescados da região afetada pelo acidente da Barragem de Fundão - SAMARCO	Nota Técnica	risco humano	dez/15 a fev/16
APLYSIA, 2016	Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (Rebio Comboios)	Relatório Técnico	ecotox e biológico	nov/15 a jan/16
APLYSIA, 2017a	Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão	Relatório Técnico	ecotox	nov/15 a jan/17
APLYSIA, 2017b	Levantamento de dados de arsênio em tecidos de peixes e moluscos	Relatório Técnico	bioacumulação	2007 a out/15
APLYSIA, 2017c	Avaliação dos dados de clorofila-a provenientes do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão	Relatório Técnico	indicador biológico	nov/15 a jan/17
APLYSIA, 2017d	Avaliação da concentração de metais em tecido de moluscos coletados no rio Doce antes e depois da passagem da pluma de turbidez	Relatório Técnico	bioacumulação	nov/15 a mai/17
APLYSIA, 2017e	Avaliação dos dados da comunidade bentônica do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão	Relatório Técnico	biológico	nov/15 a jan/17
BIOMA, 2016	Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, MG	Relatório Técnico	bioacumulação	2015-2016
CTA, 2017	Monitoramento da ictiofauna na região marinha	Relatório Técnico	biológico	abr/16 a abr/17
ECONSERVATION, 2016	Monitoramento de bioacumulação por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possível influência da lama de rejeitos oriunda do rompimento da barragem de Fundão	Relatório Técnico	bioacumulação	dez/15 a fev/16
ECONSERVATION, 2017	Remoção, identificação, contabilidade e destinação de peixes do rio Doce	Relatório Técnico	biológico	nov/15

Tabela 1 – Discriminação dos documentos utilizados na construção deste parecer técnico individual, referente a ecotoxicidade, bioacumulação de metais e arsênio em pescado, continuação.

Referência	Título	Categoria	Assunto	Período
FIBRIA, 2010 - 2015	Monitoramento da qualidade do efluente da Fibria Celulose AS através do uso de mexilhões como indicadores de metais pesados e organoclorados	Relatório Técnico	bioacumulação	dez/10 a mar/15
FURG, 2016a	Resumo das análises realizadas – Expedição Soloncy Moura	Resumo Técnico	bioacumulação	out/15 a 2018
FURG, 2016b	Avaliação de impacto da lama/pluma da Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos com ênfase nas Unidades de Conservação - 1ª expedição do navio Soloncy Moura	Relatório Técnico	bioacumulação	
FURG, 2016c	Análise de contaminantes (metais)	Relatório Técnico-Científico	bioacumulação	
FURG, 2016d	Análise comparativa sobre os resultados entre as expedições Soloncy Moura I e II e as amostras coletadas antes do evento	Relatório Técnico-Científico	bioacumulação	
FURG, 2017	Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do rio Doce sobre o ambiente marinho – contaminação do pescado	Relatório de Atividades	bioacumulação	
FURG, 2018	Ecotoxicologia – contaminação do pescado	Apresentação	bioacumulação	
GOLDER, 2016a	Concentração de metais em água, sedimentos, tecido de peixe e organismos aquáticos coletados na região marinha e estuarina do rio Doce	Nota Técnica	físico-químico, bioacumulação	nov/15 a fev/16
GOLDER, 2016b	Definição de níveis de referência e avaliação de potenciais impactos sobre os manguezais	Relatório Técnico	biológico	mar/16 a abr/16
HIDROBIOLOGY, 2016	Arsênio total e inorgânico	Nota Técnica	bioacumulação	dez/15 a fev/16
HIDROBIOLOGY, 2017	Marine issues related to tailings deposition	Nota Técnica	risco ao ambiente marinho	jul/17
HIDROBIOLOGY, 2017	Priority projects status memorandum	Nota Técnica	resumo de estudos diversos	set/17
HIDROBIOLOGY, 2018	Fish distribution and aquatic habitat of the rio Doce ant tributaries – march 2018 acoustic survey	Relatório Técnico	biológico	out/17 a mar/18
HIDROBIOLOGY, 2018	Upper catchment supplementary ecological indicators	Relatório Técnico	biológico	out/17 a abr/18

Tabela 1 – Discriminação dos documentos utilizados na construção deste parecer técnico individual, referente a ecotoxicidade, bioacumulação de metais e arsênio em pescado, continuação.

Referência	Título	Categoria	Assunto	Período
RENOVA, 2018	Quantificação de metais e arsênio nos organismos coletados durante o programa de monitoramento da ictiofauna do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo	Relatório Técnico	bioacumulação	out/17 a abr/18
UFVJM, 2017	Relatório da contaminação dos peixes capturados na região do médio rio doce	Relatório Técnico	bioacumulação	ago/16

A análise foi compartimentada em aspectos relativos ao consumo humano (4.1) e aspectos ambientais (4.2). No subcapítulo 4.1, relativo aos riscos a saúde, os resultados foram apresentados por tipo de ambiente: água doce e estuarino/marinho.

Como a restrição a pesca vinculada a qualidade do pescado é específica para a região costeira/marinha, serão enfatizadas as informações geradas para este ambiente. Os dados de bioacumulação em pescado provenientes na bacia do rio Doce serão empregados como indicativos de origem de eventuais contaminantes.

Visando identificar a aderência dos conteúdos aos objetivos específicos desta avaliação foram considerados na análise de cada documento: fatores relativos a delimitação espaço-temporal da área de estudo, consistência metodológica, bem como apresentação/ interpretação dos resultados.

4. RESULTADOS

4.1 ASPECTOS RELATIVOS AO CONSUMO HUMANO

Em geral, a avaliação quanto a possível contaminação do pescado ocorreu, nos diferentes estudos, por meio da comparação das concentrações de metais e arsênio nos tecidos dos peixes, moluscos e crustáceos com padrões de qualidade estabelecidos em normas brasileiras voltadas ao consumo humano. Para explorar esta primeira linha de evidência, as análises serão conduzidas por tipo de ambiente.

Do ambiente costeiro e marinho

Na Tabela 2 é apresentado um quadro resumo contemplando a análise de consistência metodológica dos principais estudos de bioacumulação em ambiente costeiro e marinho, realizada a partir de critérios técnicos relevantes para avaliações desta natureza.

Ressalta-se que os estudos pretéritos de bioacumulação em mexilhões (FIBRIA, 2010 a 2015) não foram abordados pela ausência de dados pós-pluma que empregasse este bioindicador, impossibilitando o estabelecimento de comparação temporal.

Tabela 2: Quadro resumo com os principais critérios empregados na avaliação de consistência metodológica dos estudos analisados

Referência	Preparo das amostras	Controles analíticos	Conversão de unidade	Ensaios de recuperação por lote	Estatística	Dados brutos
APLYSIA, 2017b	NA					
ECONSERVATION, 2016						
FURG, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017, 2018						
HIDROBIOLOGY, 2016					NA	

Legenda: cor vermelha retrata a observação de inconsistência ou ausência de informação, cor amarela representa dado apresentado de forma não estruturada, e a cor branca significa conformidade em relação ao critério específico. NA: não se aplica pela natureza do estudo.

Os estudos que suportam mais amplamente a análise do pescado para este ambiente foram conduzidos pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017, 2018), com a realização de 8 campanhas de monitoramento entre outubro de 2015 e início de 2018; e num período mais restrito e próximo a chegada da pluma, pela ECONSERVATION (2016), com a realização de 8 campanhas semanais entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016.

A área de estudo abrangeu desde a foz do rio Doce até a região de Abrolhos/BA ao norte e Guararpari/ES ao sul (FURG, 2016c). No caso da ECONSERVATION, a área restringiu-se de Barra Nova, São Mateus/ES, a Santa Cruz, Aracruz/ES. Foram analisados tecidos de moluscos, crustáceos e peixes de diferentes espécies.

Os cuidados metodológicos foram reportados em ambos os estudos, abarcando as atividades de preparo das amostras, conversão de peso seco/úmido e o emprego de controles analíticos adequados ao tipo de matriz (Tabela 2). Em relação aos dados de recuperação da FURG, sempre que presentes, foram apresentados os mesmos valores, até quando reportados resultados de campanhas distintas, sugerindo que este controle analítico pode não ter sido específico para cada rodada de ensaios realizados (Tabela 2).

Em relação a apresentação dos resultados obtidos, com exceção da comunicação datada de junho de 2018 (FURG, 2018), observou-se o agrupamento das espécies. Tal decisão traz consequência negativa quanto ao tipo de informação que pode ser extraída tendo em vista a existência de diferenças interespecíficas nos níveis de bioacumulação de metais. Visando transpor esta limitação foram acessados os dados brutos do estudo da ECONSERVATION para refinamento de análise, o que não pôde ser realizado com o estudo da FURG pela indisponibilidade dos dados brutos. Além disso, as interpretações geradas pela equipe da FURG não pareceram ser suportadas por análises estatísticas, uma vez que não foi tratado do assunto na descrição metodológica.

Em que pese a existências de algumas lacunas de informação metodológica, assumiu-se os dados gerados para prosseguimento da análise:

- FURG: Para as amostras coletadas antes da chegada da pluma de turbidez (out-nov/2015), os resultados não foram comparados com os padrões de qualidade para

consumo humano (FURG, 2016d). No entanto, extrai-se dos gráficos apresentados que os valores encontravam-se em níveis relativamente baixos para a maioria dos parâmetros analisados. Em janeiro de 2016, após a chegada da pluma de turbidez na costa, a maioria dos resultados excederam os padrões para arsênio, cádmio e chumbo (FURG, 2016b); já em abril de 2016, 99% das amostras estiveram em conformidade, evidenciando expressiva redução na concentração dos metais ao longo de 3 meses (FURG, 2016c). Com as campanhas de dezembro de 2016 e setembro de 2017 foi consolidado aproximadamente 2 anos de monitoramento após a chegada da pluma, quando foram registradas na região da foz do rio Doce e adjacências concentrações mais baixas de arsênio e chumbo, entretanto, valores elevados de cádmio e cromo em setembro de 2017, o que foi relacionado à influência dos eventos meteorológicos no período de inverno (FURG, 2017). Níveis elevados de arsênio em peixes e moluscos, inclusive superiores ao padrão de qualidade para o consumo (18% das amostras de peixes e 65% de moluscos), foram registradas na costa capixaba mesmo antes do rompimento da barragem (APLYSIA, 2017b) e devem servir de balizamento frente aos resultados obtidos neste monitoramento (ANEXO - Figura 1). Ressalta-se que, de acordo com posição oficial da ANVISA (ANEXO - Figura 2), o cromo apresenta limite máximo de tolerância estabelecido no Decreto 55.871/65 (0,1 mg/kg), apesar de não estar sendo observado no relatório da FURG. Por fim, na campanha amostral realizada no período de verão 2017-2018 (FURG, 2018), foi observado declínio nos valores de cádmio e cromo para patameres similares ou inferiores aos padrões de qualidade e manutenção dos demais contaminantes inorgânicos em conformidade com os respectivos padrões, bem como similaridade nos valores obtidos dentro e fora da área de proibição de pesca. Com base nos últimos resultados, apresentados na 23ª Reunião Ordinária da CT-BIO/CIF em junho de 2018, o responsável pelos estudos apresenta a perspectiva de revisão da área de proibição da pesca na região costeira.

- ECONSERVATION: As oito campanhas semanais realizadas neste estudo estiveram restritas entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016. Os resultados indicaram concentrações elevadas de arsênio e selênio nos tecidos de peixes,

crustáceos e moluscos, em desacordo com os padrões de qualidade de consumo para a maioria das amostras analisadas, tanto nos locais próximos quanto aos mais afastados da foz do rio Doce. Nas ostras não foi verificada variação espacial para estes dois parâmetros e para camarão, as concentrações de arsênio e selênio foram menores em Santa Cruz em relação aos demais pontos. Não foram verificadas variações temporais para o período. O cádmio e o chumbo, presentes em níveis elevados nas amostras de tecidos processados pela FURG no mesmo período, não acusaram como fontes de perigo no presente estudo. Ao final, foi ressaltada a importância de se realizar análises específicas de arsênio para segregar a fração orgânica da inorgânica, uma vez que as formas apresentam níveis de toxicidade bastante distintos (ECONSERVATION, 2016).

Avaliações Complementares

Complementarmente às análises realizadas, os dados brutos do estudo da ECONSERVATION foram reavaliados com objetivo de identificar algum padrão por espécie amostrada, enfatizando os principais parâmetros que estiveram em desacordo: arsênio e selênio.

De início, em atividade de validação e organização dos dados, foram identificadas inconsistências relativas a:

- incompatibilidade na descrição de determinados locais de amostragem com as respectivas coordenadas geográficas, o que acarretou no descarte de aproximadamente 5% dos dados (20/407);

- divergência na identificação da espécie de ostra, ora reportada como *Crassostrea gigas*, ora como *Crassostrea rhizophorae,* o que gera incertezas no uso da informação;

- presença de possíveis *outliers* nas concentrações de ferro, cromo e zinco de alguns indivíduos, o que pode dificultar a identificação de eventuais padrões na análise global dos dados de cada parâmetro.

Posteriormente, foi avaliada a representatividade espacial e temporal das espécies de peixes, ostra e camarão com vistas ao estabelecimento de indicadores. Foi contabilizada a frequência de ocorrência de cada espécie, representada pelo número de pontos amostrais (análise espacial) e semanas (análise temporal). As espécies de peixes *Eugenes brasilianus* (8 semanas), *Paralonchurus brasiliensis* (7 semanas), *Genidens genidens* (7 semanas) e *Bagre bagre* (6 semanas) apresentaram a maior representatividade temporal e portanto foram objeto de aprofundamento de análise.

Foi considerada a premissa de que a pluma de turbidez esteve presente em todos os pontos amostrais em parte ou em toda a série histórica, o que foi sugerido pela avaliação *in situ* realizada durante as amostragens do pescado. Dessa maneira, tendo em vista que todos os pontos amostrais estiveram em algum momento submetidos ao efeito da pluma de turbidez, esses foram agrupados em um único conjunto de dados. Em seguida, para cada espécie foi feito o cálculo da média e desvio padrão de arsênio e selênio em cada semana do monitoramento. Os resultados médios semanais não indicaram tendências de aumento ou redução das concentrações de arsênio e selênio ao longo das 8 semanas (ANEXO – Figura 3).

Em relação a análise espacial, são apresentados na Tabela 3 os locais onde cada espécie foi encontrada. O camarão foi o organismo com maior representatividade espacial e, somada a característica de locomoção restrita, foi o grupo escolhido para proceder esta avaliação. A região de Santa Cruz foi a única que apresentou concentrações significativamente menores de arsênio (Kruskal Wallis, $p<0,05$) (ANEXO – Figura 4), o que não se repetiu para o selênio.

Tabela 3: Locais onde foram amostradas as 4 especies de peixes selecionadas, as ostras e camarões.

Espécies	Grupo biológico	Barra Nova	Barra Seca	Regência (Foz)	Regência (Costeiro)	Barra do Riacho	Santa Cruz
Crassostrea sp	O						
Xiphopenaeus kroyeri	C						
Bagre bagre	P						
Paralonchurus brasiliensis	P						
Eugerres brasilianus	P						
Genidens genidens	P						

Legenda: a cor cinza representa os locais onde a espécie foi amostrada. O = ostra, C = camarão, P = peixe.

Ao avaliar a bioacumulação de arsênio e selênio entre as espécies de peixes foram encontradas diferenças significativas entre elas para o arsênio (ANEXO - Figura 5). Foi identificado que *B. bagre* apresentou as maiores concentrações médias de arsênio, seguido por *P. brasiliensis*. Os teores mais elevados de arsênio em *B. bagre* possivelmente estão relacionados ao hábito alimentar carnívoro, que concentra esse elemento via teia alimentar e ao hábito demersal, que configura afinidade com o sedimento.

A identificação de níveis distintos de bioacumulação fornece subsídios para a definição de estratégias diferenciadas de manejo do pescado por espécie, possibilitando inclusive discutir a eventual existência de nexo causal entre as concentrações de metais encontradas nos tecidos dos organismos e o rompimento da barragem de Fundão. A espécie de bagre *G. genidens,* por exemplo, foi a única encontrada tanto na região interna da foz quanto na zona costeira adjacente a Regência, formando um breve gradiente espacial na região estuarina. A análise descritiva dos resultados obtidos para esta espécie indica que as concentrações de ferro (principal constituinte do rejeito) foram mais elevadas nos peixes amostrados na foz do rio em relação a região costeira (T-test, p=0,018), enquanto o inverso ocorreu para as concentrações de arsênio e selênio (Mann-Whitney, p=0,008 para ambos) (ANEXO – Figura 6). Estas diferenças podem representar origens

distintas dos contaminantes e devem ser melhor exploradas a partir de um delineamento de projeto adequado.

Da bacia do rio Doce

Na Tabela 4 é apresentado um quadro resumo contemplando a análise de consistência metodológica dos principais estudos de bioacumulação na bacia do rio Doce, realizada a partir de critérios técnicos que depreendem as etapas críticas de avaliações desta natureza.

Tabela 4: Quadro resumo com os principais critérios empregados na avaliação de consistência metodológica dos estudos analisados

Referência	Preparo das amostras	Controles analíticos	Conversão de unidade	Ensaios de recuperação por lote	Estatística	Dados brutos
APLYSIA, 2017d						
BIOMA, 2016						
UFVJM, 2017						
RENOVA, 2018					NA	

Legenda: cor vermelha retrata a observação de inconsistência ou ausência de informação e a cor branca significa conformidade em relação ao critério específico. NA: não se aplica pela natureza do estudo.

Em fevereiro de 2016 é apresentado o primeiro relatório referente a avaliação de acumulação de elementos químicos (alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco) em peixes, abrangendo como área de estudo o trecho do rio Doce nos limites do estado do Espírito Santo (BIOMA, 2016). No documento é informado que os exemplares foram obtidos em períodos pré e pós passagem da pluma, sem reportar claramente os períodos de amostragem. Os resultados apontam para concentrações de cromo em desacordo com o padrão de qualidade de pescado em todas as espécies, pontos e períodos (antes e após passagem da pluma). No entanto, tais dados serão considerados com ressalvas por não estarem disponíveis quaisquer informações relativas a metodologia analítica empregada e tão pouco

apresentados os dados brutos, ou seja, não foram evidenciados os controles inerentes ao preparo das amostras, uso de branco, material de referência, taxas de recuperação, dentre outros. A ausência dos dados brutos também dificulta a análise de consistência dos resultados apresentados.

Por outro lado, dados apresentados em julho de 2017 pela Aplysia, referente a análise de bioacumulação de metais e semi-metal (alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco) em bivalve de água doce do gênero *Corbicula*, coletados antes (8 de novembro de 2015) e após a passagem da pluma (24 a 26 de maio de 2017) em diferentes pontos do rio Doce no estado do Espírito Santo, se assemelham aos resultados obtidos para os peixes no estudo conduzido pela BIOMA (2016) por evidenciarem concentrações de cromo em desacordo com o padrão de qualidade tanto em momento anterior quanto posterior a passagem da pluma (APLYSIA, 2017d). Neste estudo foram descritos os procedimentos metodológicos, contemplando os controles de qualidade analíticos inerentes.

Em agosto de 2016, a Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri realizou avaliação da contaminação (arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio) em 14 peixes coletados na região do médio rio Doce (UFVJM, 2017). Apesar de acusada contaminação por mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio, os resultados serão tratados com ressalvas por não terem sido apresentados os controles de qualidade analíticos típicos de estudos desta natureza (descrição do método de digestão das amostras, uso de padrão de referência internacional, taxa de recuperação). Além disso, foram apresentados os dados brutos para cada exemplar, os quais foram analisados em duplicata (2 amostras retiradas de cada indivíduo). Os resultados das duplicatas se mostraram expressivamente discrepantes, variando por exemplo de 0,006 a 0,813 mg/kg de Cd num espécime de dourado, de 0,645 a 1,968 mg/kg de As num mandi, e de 0,105 a 0,513 mg/kg de Pb num mesmo exemplar de curvina.

Por fim, em agosto de 2018 foi consolidada pela Fundação RENOVA a avaliação de metais (alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel, prata e zinco) e arsênio em peixes (268 indivíduos) coletados ao longo do rio Doce em 30 pontos de Barra Longa/MG a Linhares/ES, contemplando amostragens no período de outubro de

2017 a abril de 2018. Neste estudo, não foram registradas desconformidades nas concentrações de metais e arsênio em nenhuma das amostras avaliadas em relação aos padrões de qualidade voltados ao consumo humano. Ressalta-se, entretanto, que os limites de quantificação adotados pelo laboratório para as análises de chumbo e cromo excederam os respectivos padrões estabelecidos no Decreto 55.871/65. Com isso, não é possível concluir sobre o perigo a saúde relacionadas a estes dois elementos e verificar, por exemplo, se as concentrações mais elevadas de cromo, reportadas nos estudos supracitados (BIOMA: <0,2mg/kg a 0,927mg/kg), estariam condizentes com o encontrado no período final de 2017- início de 2018. Vale ressaltar que não ficou claro se o padrão NIST e os brancos foram rodados paralelamente a cada lote de ensaios analíticos. Na conclusão, remete-se a necessidade de continuidade dos estudos visando imprimir representatividade geográfica, atribuindo maior quantidade de indivíduos por espécie/estação; aspectos os quais concordamos e por essa razão (poucos indivíduos por espécie) não se avançou com a análise complementar fazendo uso dos dados brutos.

4.2 ASPECTOS AMBIENTAIS

A proibição da pesca perpassa por aspectos relativos a recuperação do estoque pesqueiro, ou seja, do potencial impacto do rompimento da barragem de Fundão sobre as populações de peixes, crustáceos e moluscos do rio doce e região costeira adjacente e posterior reestabelecimento das mesmas. Para explorar esta segunda linha de evidências, serão abordados os estudos discriminados na Tabela 1 que apresentam vínculo com o tema.

Partindo do início da cadeia trófica, foi conduzido um estudo para avaliar os impactos potenciais da elevação dos níveis de turbidez na produtividade primária, fazendo uso dos dados de clorofila-a obtidos no âmbito dos programas de monitoramento no período de dezembro de 2014 a fevereiro de 2017. Tendo em vista que os resultados abaixo dos limites de quantificação (<0,1; <3; <6; <15; <37,5; <75 µg/L) representaram mais de 80% dos dados coletados, foram empregadas análises estatísticas que consideram dados censurados à esquerda. Ao final, não foram observadas diferenças significativas nos níveis de clorofila-a entre os períodos pré e pós passagem da pluma para as localidades

onde existiam dados pretéritos consistentes: Ipatinga, Governador Valadares, Resplendor e Baixo Guandu (APLYSIA, 2017c). Ressalta-se que foram identificadas restrições relativas ao desenho amostral utilizado na geração dos dados e aos métodos analíticos empregados, questões que impuseram limitações na interpretação dos dados existentes.

Em relação a biodisponibilidade de contaminantes e seu potencial efeito às comunidades aquáticas, foram sintetizados os resultados dos 3.607 mil ensaios ecotoxicológicos gerados no período de novembro de 2015 a dezembro de 2016 com amostras coletadas ao longo do rio Doce, quando foi reportada ausência de ecotoxicidade aguda nas amostras de água para o peixe *Danio rerio,* o microcrustáceo *Daphnia similis* e a bactéria *Vibrio fisheri* durante praticamente todo o período, e presença de ecotoxicidade crônica (46,41%) na água para *Ceriodaphnia dubia* e de ecotoxicidade aguda (30,26%) no sedimento do rio Doce para *Hyallela azteca* (ANEXO - Figura 7). Os efeitos crônicos foram intensificados com a passagem da pluma, se extendendo por um período de 4 a 5 semanas e depois novamente no período de chuva (jan/2016); e estiveram associados a presença de sólidos em suspensão em 95% das amostras, afetando fisicamente as espécies filtradoras, como o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* (ANEXO - Figura 8). Para o organismo bentônico que vive no sedimento (*Hyallela azteca*), não foi estabelecido um padrão claro de resposta, apesar de terem sido registrados valores superiores de mortalidade no período inicial da série histórica. A magnitude dos efeitos, avaliado por meio dos resultados obtidos com *Ceriodaphnia dubia,* foi maior para a região do alto rio Doce, decaindo gradativamente conforme a distância em relação ao local do rompimento, sendo significativa a magnitude dos efeitos observados em laboratório entre as amostras do alto e do baixo rio Doce (ANEXO - Figura 9) (APLYSIA, 2017a).

Sobre a comunidade bentônica do rio Doce, foi realizada compilação (APLYSIA, 2017) dos laudos biológicos gerados no período de novembro de 2015 a janeiro de 2017. Neste estudo, não foram identificados efeitos negativos sobre o zoobentos amostrados em Aimorés, Baixo Guandu, Colatina e Linhares decorrentes da passagem da pluma de turbidez. Em Regência, a salinidade e os processos de transporte e deposição de sedimentos provavelmente contribuíram para a redução da riqueza e diversidade nos meses subsequentes a chegada da pluma, como reportado em APLYSIA (2016) (ANEXO - Figura 10). Em geral, foi verificado aumento dos índices ecológicos no período de seca.

Ressalta-se entretanto a limitação destacada no estudo referente a ausência de dados anteriores a passagem da pluma para os pontos do Alto rio Doce, região onde são esperados efeitos físicos imediatos e intensos sobre este grupo biológico com a passagem do rejeito.

Em relação ao peixes no rio Doce, ressalta-se o estudo de acústica realizado em três campanhas entre maio de 2017 e março de 2018, quando foram registrados sinais de recuperação do estoque pesqueiro em algumas áreas impactadas pela pluma de rejeitos por meio da densidade de biomassa em relação a áreas controle (HIDROBIOLOGY, 2018).

Em avaliação dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema praial, realizada em três campanhas entre novembro de 2015 e janeiro de 2016, foram conduzidos ensaios ecotoxicológicos em amostras de água superficial, água intersticial e sedimento (coletado em diferentes profundidades até 1m); bem como avaliações ecológicas da macrofauna bentônica. Ao final, observou-se ausência de ecotoxicidade aguda para anfípodas e ausência de ecotoxicidade crônica para embriões de ouriço do mar, indicando que a água superficial, coletada próxima a praia, e o sedimento não apresentaram potencial de causar efeitos a estes organismos. Por outro lado, a permanência da pluma de turbidez causou alteração sobre a comunidade bentônica (ANEXO - Figura 11), evidenciado por redução no número de espécies e indivíduos na segunda e terceira campanhas (dez/15 e jan/16), possivelmente em resposta a presença física do material depositado no espaço intersticial do sedimento (APLYSIA, 2016).

Por fim, o monitoramento da ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, realizado em treze campanhas entre abril de 2016 e abril de 2017, em pontos definidos com base nos resultados da deposição dos sólidos sedimentáveis proveniente da pluma de turbidez, apontou para o reestabelecimento da abundância de peixes na região, mas um possível efeito da presença do rejeito sobre a riqueza de espécies, já que os valores, embora não significativos, foram relativamente maiores na área sem deposição de rejeitos (CTA, 2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. *HÁ JUSTIFICATIVA SOB O PONTO DE VISTA AMBIENTAL E DE RISCO A SAÚDE HUMANA PARA A MANUTENÇÃO DA ÁREA DE PROIBIÇÃO DA PESCA DELIMITADA ATUALMENTE?*

Em relação ao risco à saúde humana, a grande maioria dos estudos objeto desta avaliação foram realizados sob o conceito da comparação das concentrações de contaminantes com os padrões estabelecidos em normas brasileiras, a saber Resolução RDC ANVISA nº 42/2013 e Decreto 55871/1965. Assumindo como verdadeiros os últimos resultados referentes às concentrações de contaminantes em pescado, gerados na região da foz do rio Doce e zona costeira adjacente pela FURG (2017), enquanto os valores de arsênio e chumbo reduziram com o tempo, os níveis de cádmio e cromo aumentaram até a campanha de setembro de 2017 e decaíram, atingindo níveis similares ou inferiores aos padrões de qualidade para consumo humano no início de 2018.

A partir desta primeira linha de evidência, é necessário destacar que as análises químicas representam a concentração total dos elementos nos tecidos biológicos, não diferenciando a fração orgânica da inorgânica. Tomando o arsênio como referência, a arsenobetaína é a forma orgânica mais abundante em peixes, caranguejos, lagostas e camarões; e representa a maior fração do arsênio total (EMBRAPA, 2016). Dados de especiação química gerados pela Hydrobiology (2016) em amostras de peixes, moluscos e peixes da região da foz do rio Doce corroboram tal afirmação ao evidenciarem redução a patamares inferiores aos padrões de qualidade quando medidos na sua fração inorgânica. Peshut et al. (2008) destacam a importância das análises de especiação de arsênio, visto que a toxicidade é variável dependendo da forma química presente no organismo. Conforme estudos sobre a toxicidade do arsênio, a forma orgânica é relativamente estável, não apresentando efeito tóxico aos seres humanos (ANVISA, 2016). Pelo exposto, a análise da forma total não é suficiente para inferir riscos à saúde humana.

Além disso, a abordagem comparativa empregada nos estudos configura avaliação de perigo, uma vez que são consideradas as características intrínsecas de cada contaminante, mas não engloba os diferentes níveis de exposição a que as pessoas estão submetidas. A análise de risco já considera os cenários de exposição e foi apresentada na Nota Técnica elaborada pela ANVISA em maio de 2016.

A partir de concentrações elevadas de cádmio, chumbo e arsênio disponibilizadas à época (amostras coletadas em janeiro de 2016) nos relatórios técnicos da FURG (2016b) e ECONSERVATION (2016), foram estimados os riscos de consumo do pescado para a população brasileira e do estado do Espírito Santo (ANVISA, 2016). Foi considerado que os pescados e frutos do mar correspondem a 2% da dieta do brasileiro, sendo que os peixes de água salgada representam até 47% do pescado no caso dos altos consumidores. Num cenário apresentado como conservador, a ingestão máxima tolerável de cádmio e chumbo seria excedida para o grupo de crianças consideradas altas consumidoras. Ressalta-se que a avaliação foi realizada com dados coletados há aproximadamente 2 meses da chegada da pluma na região costeira, quando concentrações de cádmio (em linguados), arsênio e chumbo estavam expressivamente mais elevados em relação ao período de verão 2017-2018.

Por fim, a definição quanto a manutenção da área de proibição de pesca será melhor fundamentada com a realização de avaliação de risco à saúde humana específica para o caso, considerando a existência de análises químicas mais atuais e a delimitação de um cenário de exposição compatível com o características regionais (consumo de peixes da população local).

Sob o ponto de vista ambiental, os estudos ecotoxicológicos discriminados, realizados em laboratório, indicam ausência de efeitos agudos na água e baixa incidência de efeitos crônicos sobre as comunidades aquáticas decorrentes da passagem da pluma, e o potencial efeito físico em condições eventuais relacionadas ao incremento de sólidos na água (organismos filtradores) e/ou sua deposição na região estuarina (organismos bentônicos). Além disso, os resultados das comunidades bentônicas e ictiofauna no rio Doce, bem como da produtividade primária apontam para um cenário favorável ao reestabelecimento das comunidades de peixes e demais pescados.

5.2. O CONSUMO PRÓPRIO DO PESCADO OFERECE RISCO À SAÚDE HUMANA?

Os estudos realizados até o momento são insuficientes para que uma resposta segura seja dada. Reforçando os argumentos supracitados, a realização de uma avaliação de risco específica, empregando dados atuais e consistentes, deverá nortear a questão.

5.3. OS ESTUDOS DISPONÍVEIS SÃO SUFICIENTES PARA RESPONDER ESTAS QUESTÕES?

A partir dos estudos avaliados apresentam-se as seguintes recomendações:

- Atentar para todos os instrumentos normativos brasileiros em que se encontram vigentes padrões de qualidade voltados ao consumo de pescado, como o Decreto 55.871/1965, que estabelece limite máximo de tolerância para cromo, cobre, níquel, zinco e selênio, dentre outros contaminantes inorgânicos;

- Disponibilizar os dados brutos/laudos analíticos dos estudos realizados, a descrição dos procedimentos metodológicos e os controles de qualidade analíticos visando confirmar consistência/exatidão dos dados disponíveis;

- Considerando a diferença de bioacumulação de metais entre as espécies de pescado, proceder as análises subsequentes de perigo e risco a saúde humana por espécie de pescado;

- Reunir estudos existentes correlatos ao tema, gerados em período anterior a passagem da pluma ou em região não afetada de forma a subsidiar a análise de causa-efeito entre as concentrações de metais nos tecidos e o rompimento da barragem de Fundão;

- Elaborar *design* e executar um novo estudo de monitoramento voltado a responder especificamente à contaminação do pescado e o risco a saúde humana.

6. REFERÊNCIAS

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Avaliação de Risco do consumo de pescados da região afetada pelo acidente da Barragem do Fundão – Samarco. Nota Técnica nº 96/2016 – GGALI/DIARE/ANVISA. Brasília, 2016.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução - RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013. Brasil, 2013.

APLYSIA. Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (Rebio Comboios). Relatório Técnico nº 1763/2016. 2016.

APLYSIA. Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. Relatório Técnico nº 897/2017. 2017a.

APLYSIA. Levantamento de dados de arsênio em tecidos de peixes e moluscos. Relatório Técnico nº 245/2017. 2017b.

APLYSIA. Avaliação dos dados de clorofila-a provenientes do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. Relatório Técnico nº 1127/2017. 2017c.

APLYSIA. Avaliação da concentração de metais em tecido de moluscos coletados no rio Doce antes e depois da passagem da pluma de turbidez. Relatório Técnico nº 1174/2017. 2017d.

APLYSIA. Avaliação dos dados da comunidade bentônica do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. Relatório Técnico nº 1514/2017. 2017e.

BIOMA. Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, MG. 2016.

BRASIL. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Presidência da República. Brasília, 1965.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Monitoramento especial da bacia do rio Doce. Relatório II. Belo Horizonte, 2015.

CTA. Monitoramento da ictiofauna na região marinha. 2017

ECONSERVATION. Monitoramento de bioacumulação (ictiofauna, carcinofauna e malacofauna) por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possível influência da lama de rejeitos oriunda do rompimento da barragem de Fundão. Relatório Técnico - RT ECV 065/16. 2016.

ECONSERVATION. Remoção, identificação, contabilidade e destinação de peixes do rio Doce – Relatório Final. Relatório Técnico – RT ECV 060-17. 2017.

EMBRAPA. Teores de arsênio, cádmio e chumbo em peixes marinhos comercializados em Maceió/AL, Aracaju/SE e Salvador/BA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasil. 2016.

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Resumo das análises realizadas – Expedição Soloncy Moura. 2016a

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Avaliação de impacto da lama/pluma da Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos com ênfase nas Unidades de Conservação - 1ª expedição do navio Soloncy Moura. 2016b

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Análise de contaminantes (metais). 2016c

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Análise comparativa sobre os resultados entre as expedições Soloncy Moura I e II e as amostras coletadas antes do evento. 2016d

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do rio Doce sobre o ambiente marinho – Contaminação do pescado. 2017.

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Ecotoxicologia – contaminação do pescado. Apresentação em slides. 2017.

GOLDER ASSOCIATES. Concentração de metais em água, sedimentos, tecido de peixe e organismos aquáticos coletados na região marinha e estuarina do rio Doce. 2016a.

GOLDER ASSOCIATES. Definição de níveis de referência e avaliação de potenciais impactos sobre os manguezais próximos à foz do rio Doce. Relatório Técnico. 2016b.

HIDROBIOLOGY. Arsênio total e inorgânico. Nota Técnica. 2016.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Laudo Técnico Preliminar. Brasília, 2015.

JUSTIÇA FEDERAL. Decisão Judicial. 2016

PESHUT, P. J.; MORRISON, R. J.; BROOKS, B. A. Arsenic speciation in marine fish and shellfish from American Samoa. Chemosphere, Amsterdam, n. 71, p. 484-492, 2008.

UFVJM – UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI. Relatório da contaminação dos peixes capturados na região do médio rio doce na microrregião de Governador Valadares, MG. Relatório Técnico. Teófilo Otoni, 2017.

7. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DA EMPRESA DE CONSULTORIA

IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Razão Social: Fundação RENOVA

Número do CNPJ: 25.135.507/0001-83

Endereço:

Telefone e fax: : (31)

Representante Legal: Rodolfo Campelo

E-mail: rodolfo.campelol@fundacaorenova.org

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA CONSULTORA

Nome: APLYSIA ASSESSORIA E CONSULTORIA LTDA.

Número do CNPJ: 02.290.210/0001-97

Endereço: Rua Júlia Lacourt Penna, 335, Jd. Camburi, Vitória/ES, CEP 29090-210

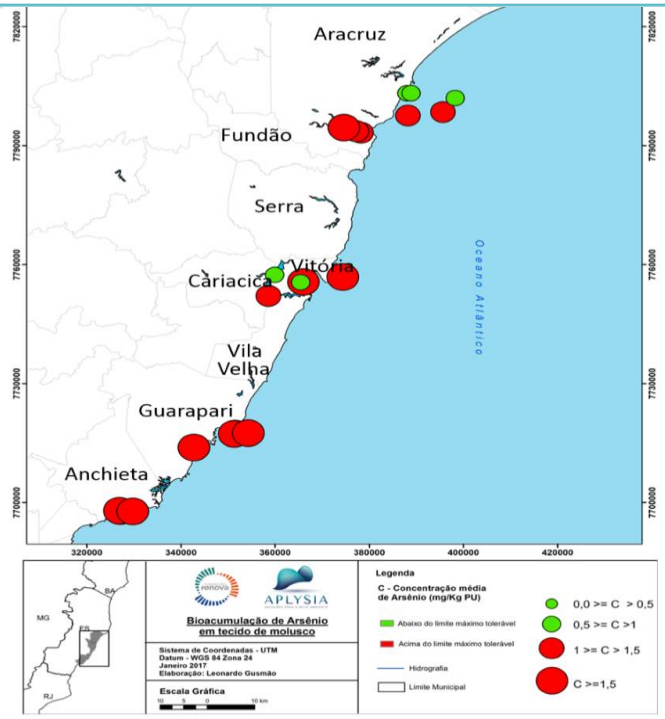
Telefone e fax: (27) 3337-4877

8. EQUIPE TÉCNICA

Responsabilidade / Cargo	Nome	Formação	CRBio
Suporte técnico	MSc. Fernando Aquinoga	Ecólogo	*
Elaboração do Relatório	Drª. Tatiana Furley	Bióloga	15.386/02
Gerente do Projeto	Noelle Arruda	Oceanógrafa	*

*Os ecólogos e oceanógrafos não possuem conselho profissional.

9. ANEXO



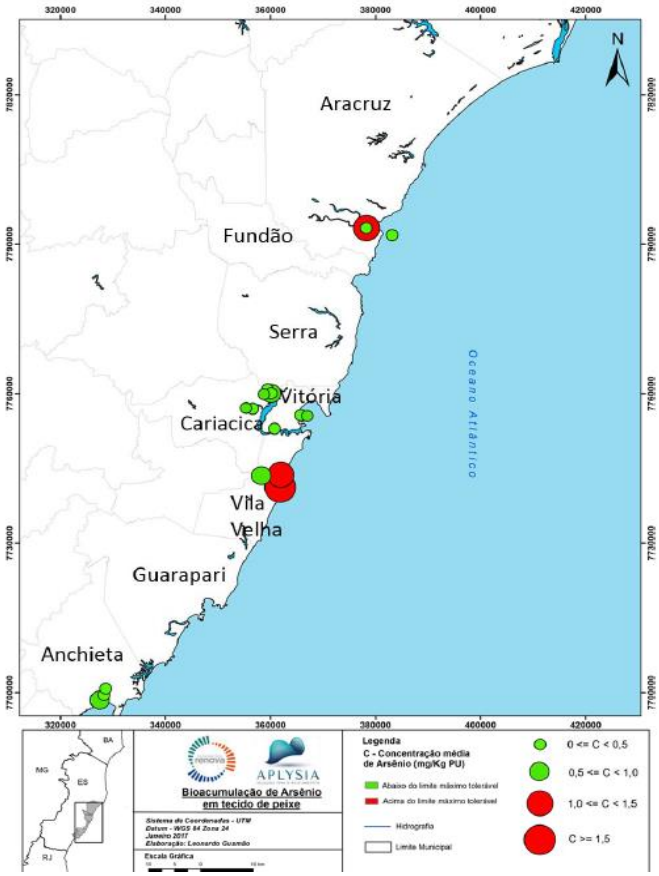


Figura 1 – Mapas com os dados obtidos em levantamento bibliográfico sobre bioacumulação de arsênio em molusco (superior) e peixes (inferior), realizados em momento anterior ao rompimento da barragem de Fundão. Fonte: APLYSIA, 2017b.

16/08/2018 Anvisa - Resposta ao Protocolo 2018218869 - Fernando Aquinoga Mello

Anvisa - Resposta ao Protocolo 2018218869

Central de Atendimento ao Público - Anvisa <atendimento.central@anvisa.gov.br>

sex 22/06/2018 12:39

Para:Fernando Aquinoga Mello <fernando@aplysia.com.br>;

Prezado (a) Senhor (a),

Em atenção a sua solicitação, informamos que o Decreto nº 55.871 / 1965 continua vigente para os temas não contemplados na Resolução RDC nº 42/2013 e na Portaria nº 685/1998.

A Portaria nº 685 / 1998 dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos. Em seu anexo, a Portaria nº 685 / 1998 dispõe sobre os limites máximos de cobre em diversas categorias de alimentos. Os limites máximos de tolerância para arsênio, cádmio, estanho, mercúrio e chumbo foram revogados pela Resolução RDC nº 42 / 2013.

Por favor, avalie a resposta recebida acessando o link: https://pesquisa.anvisa.gov.br/index.php/241521?lang=pt-BR&encode=

Atenciosamente,
Anvisa Atende
Central de Atendimento
Agência Nacional de Vigilância Sanitária
0800 642 9782
www.anvisa.gov.br
Siga a Anvisa: www.twitter.com/anvisa_oficial
Este endereço eletrônico está habilitado apenas para enviar e-mails. Caso deseje entrar em contato com a central, favor ligar no 0800 642 9782 ou acessar o "Fale Conosco", disponível no portal da ANVISA (link: http://portal.anvisa.gov.br/fale-conosco). As ligações podem ser feitas de segunda a sexta - feira, das 7h30 às 19h30, exceto feriados.

Figura 2 – Correspondência oficial da ANVISA atestando a vigência dos níveis máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos estabelecidos no Decreto 55.871/1965.

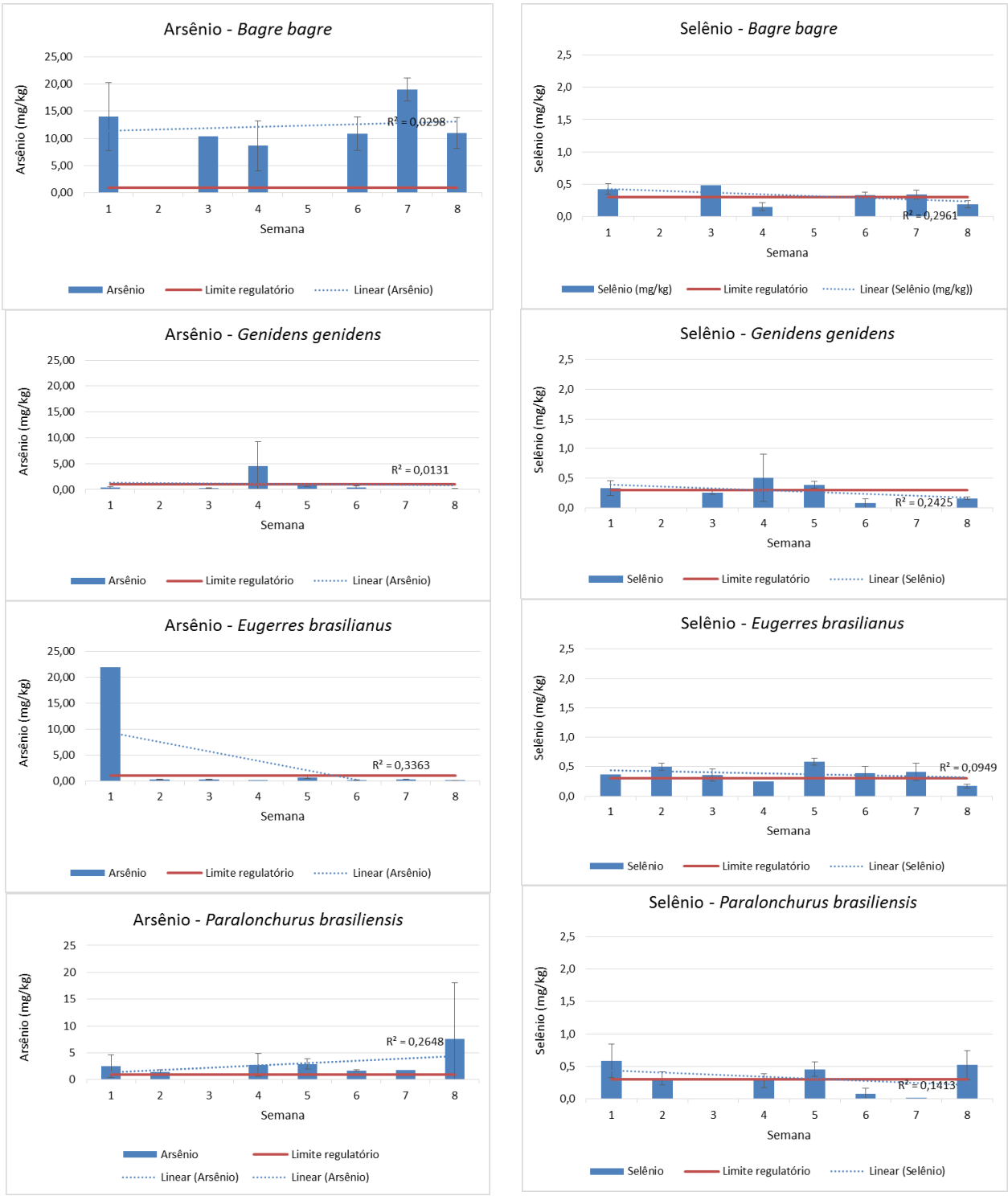


Figura 3 – Ilustração das concentrações médias e desvio padrão de arsênio e selênio ao longo das 8 semanas, para *Bagre bagre, Genidens genidens, Eugerres brasilianus* e *Paralonchurus brasiliensis*, respectivamente. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016.

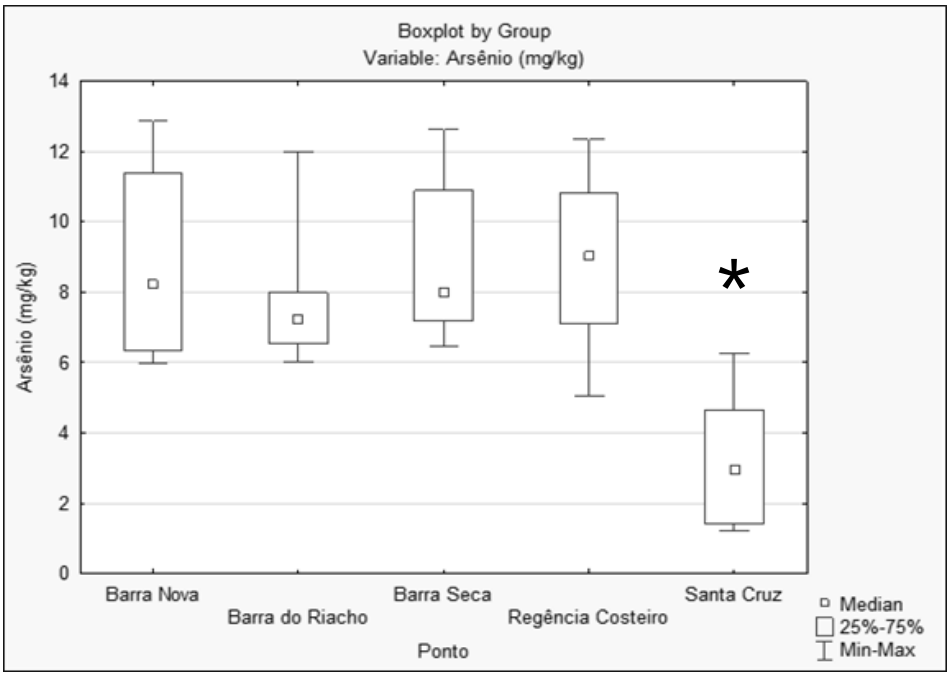
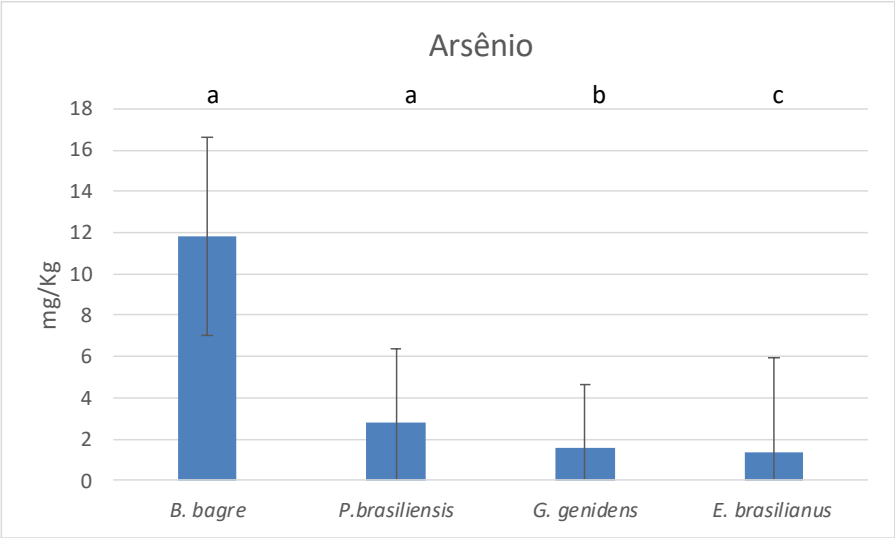


Figura 4 – Variação da concentração de arsênio em camarão nos pontos amostrais durante a série histórica do monitoramento na região marinha adjacente à foz do rio Doce. *Diferença estatisticamente significativa em relação aos demais pontos. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016.



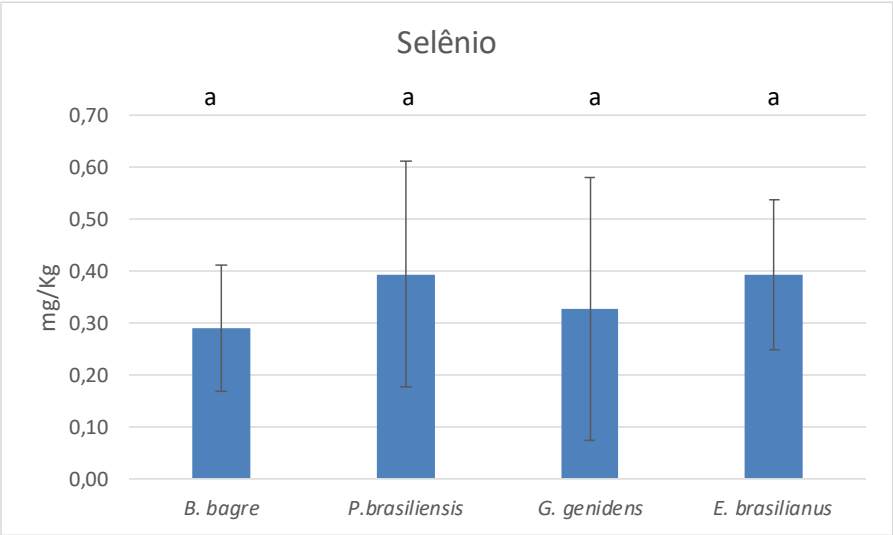
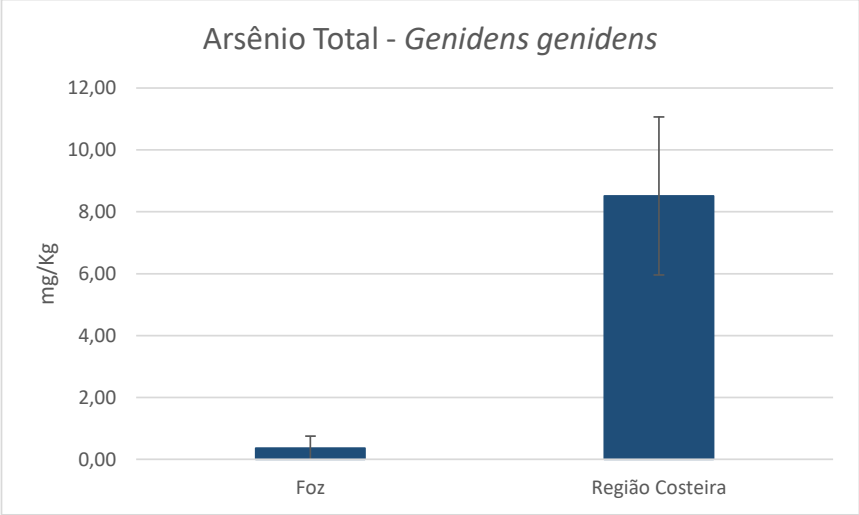
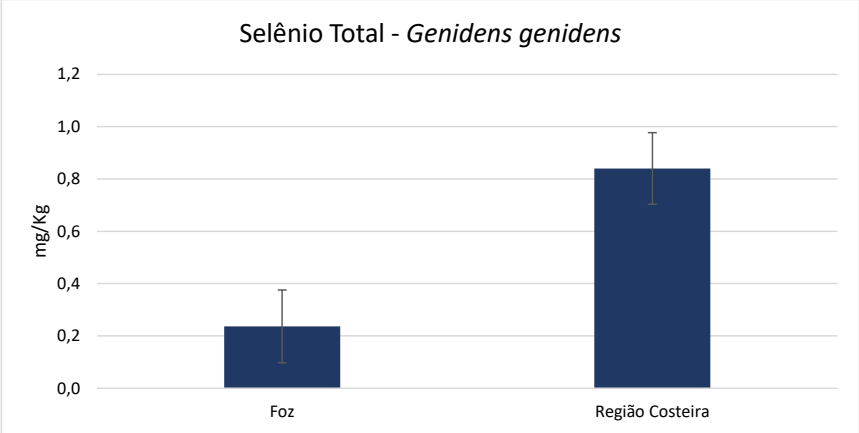


Figura 5 – Concentrações médias e desvio padrão de arsênio e selênio por espécie de peixe amostradas entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016.





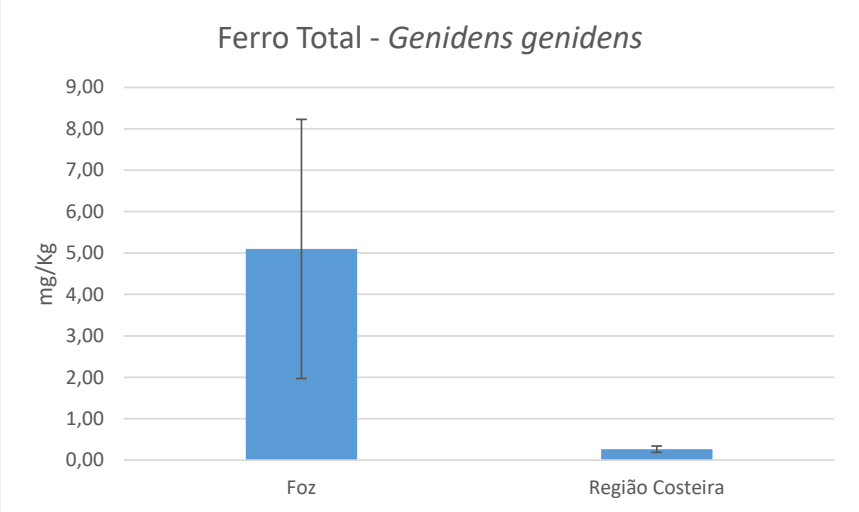


Figura 6 – Concentrações médias e desvio padrão de arsênio, selênio e ferro totais no músculo dos espécimes de bagre *Genidens genidens* coletados na foz do rio Doce e na região costeira próxima, no período de dezembro/15 a fevereiro/16. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016.

Organismo-teste	Matriz	Não tóxico	Tóxico	Total Geral	% de Tóxicos
Ceriodaphnia dubia	Água	314	272	586	46,41%
Danio rerio		761	12	773	1,55%
Daphnia similis		783	14	797	1,76%
Vibrio fischeri		789	11	800	1,38%
Hyalella azteca	Sedimento	454	197	651	30,26%
Total		**3101**	**506**	**3607**	**13,92%**

Figura 7 – Número de ensaios realizados e quantidade de ensaios tóxicos e não tóxicos por organismo para o ambiente de água doce, obtido em avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem e Fundão. Fonte: APLYSIA, 2017a.

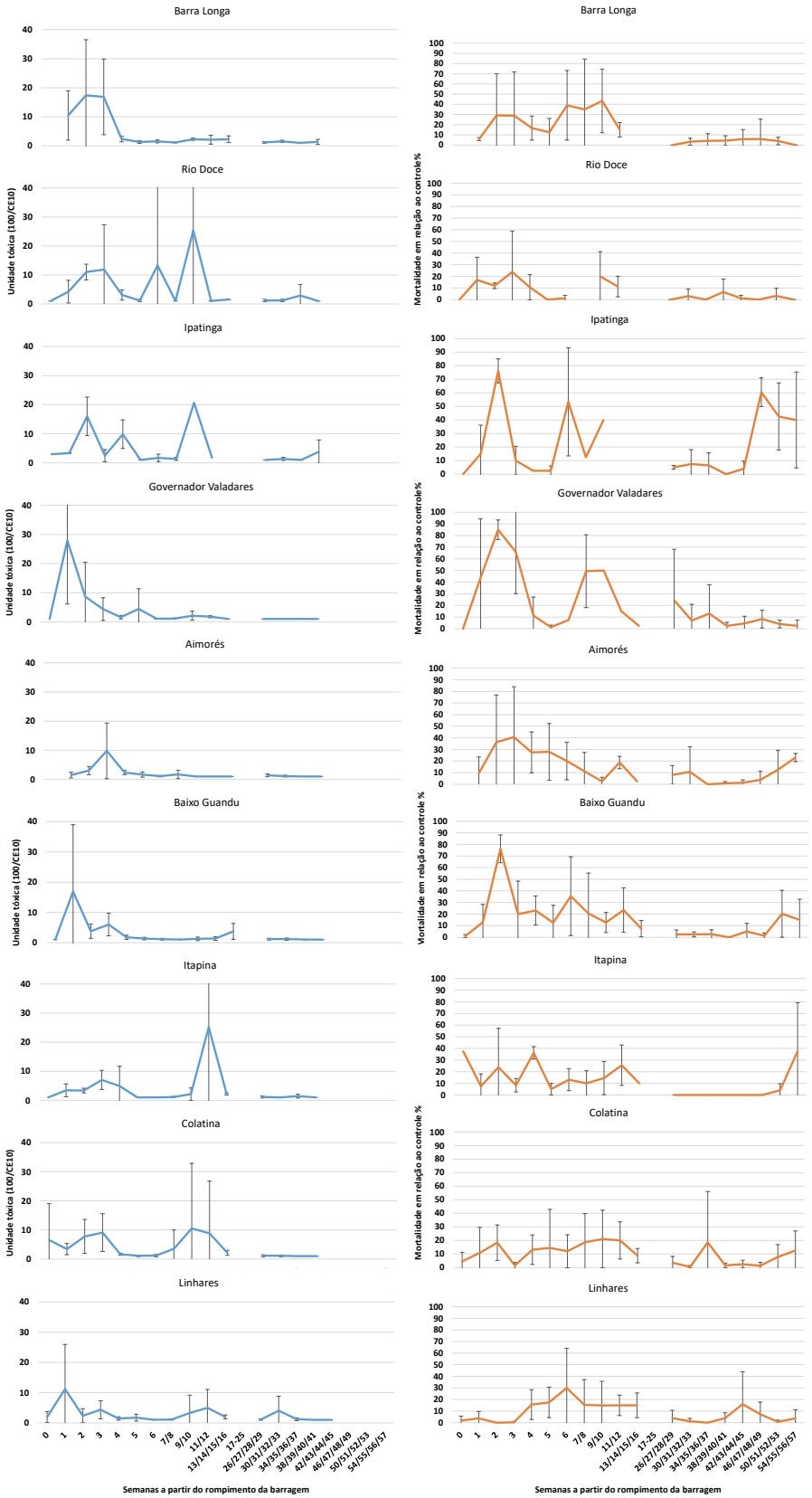
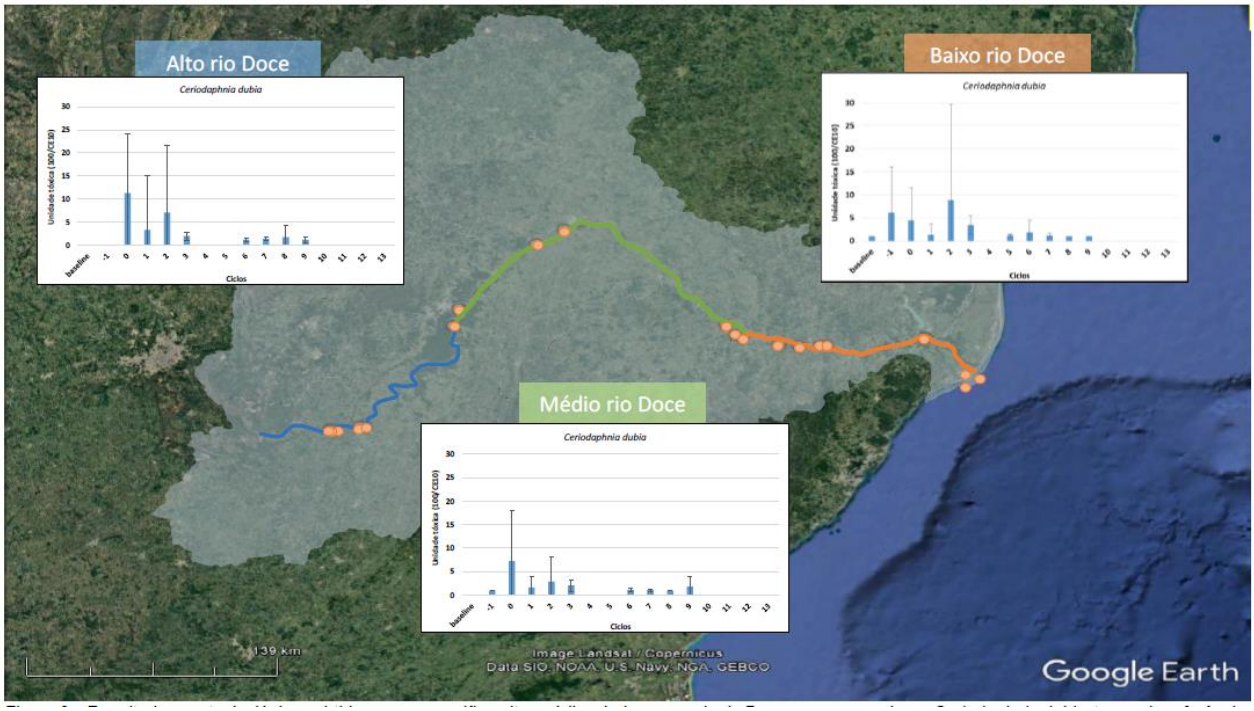


Figura 8 - Resultados ecotoxicológicos em água superficial com *Ceriodaphnia dubia* (esquerda) e sedimento com *Hyallela azteca* (direita), tomando com escala temporal as semanas em relação ao rompimento da barragem de Fundão. Fonte: APLYSIA, 2017a.



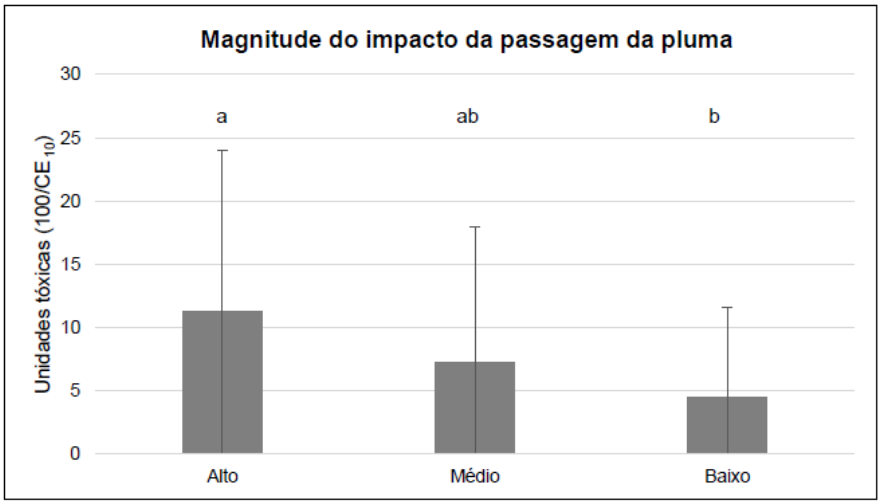


Figura 9 - Resultados ecotoxicológicos (médias e desvio padrão) com espécie de *Ceriodaphnia dubia* com base nas subdivições do curso do rio Doce (alto, médio e baixo rio Doce). Fonte: APLYSIA, 2017a.

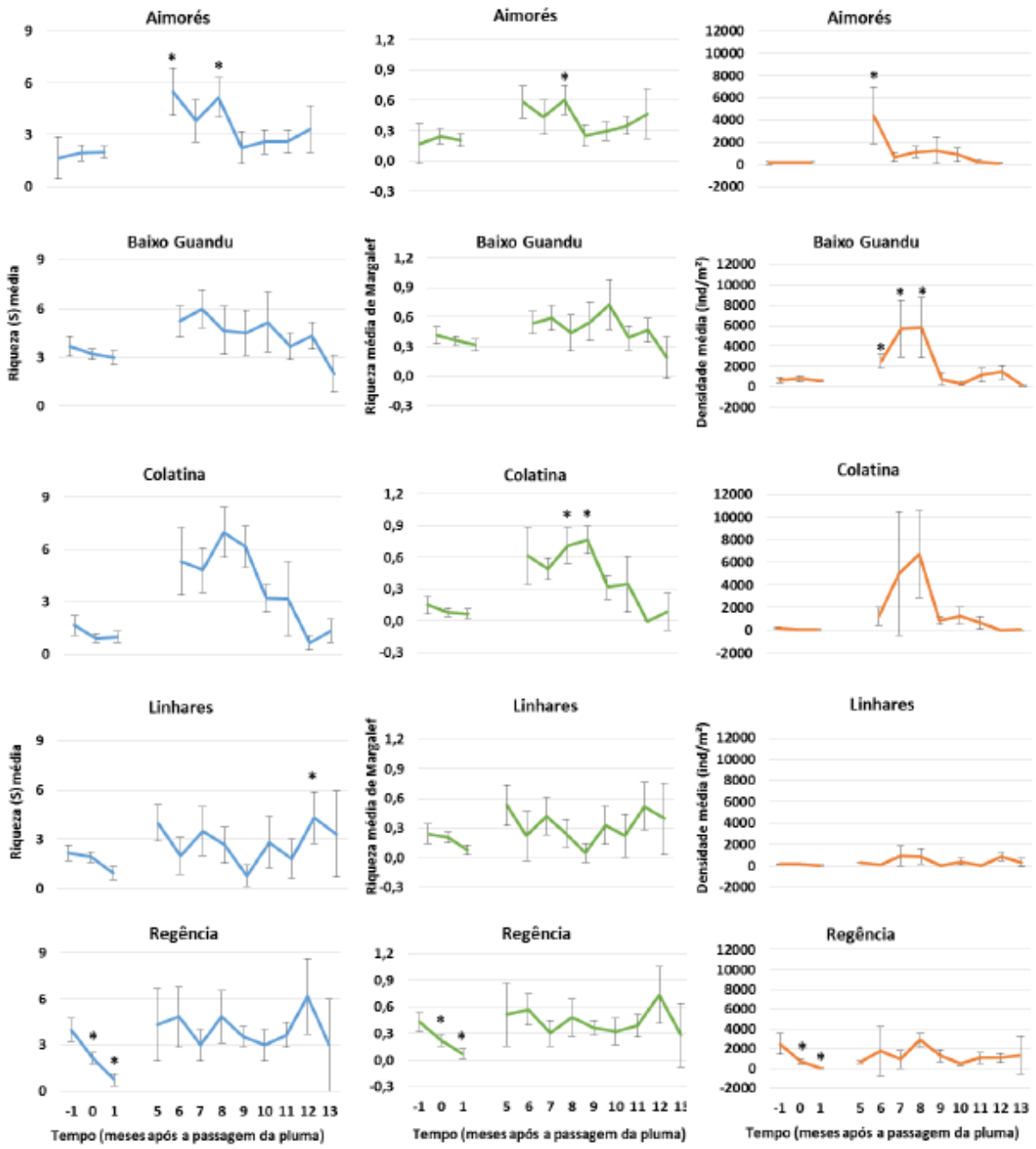
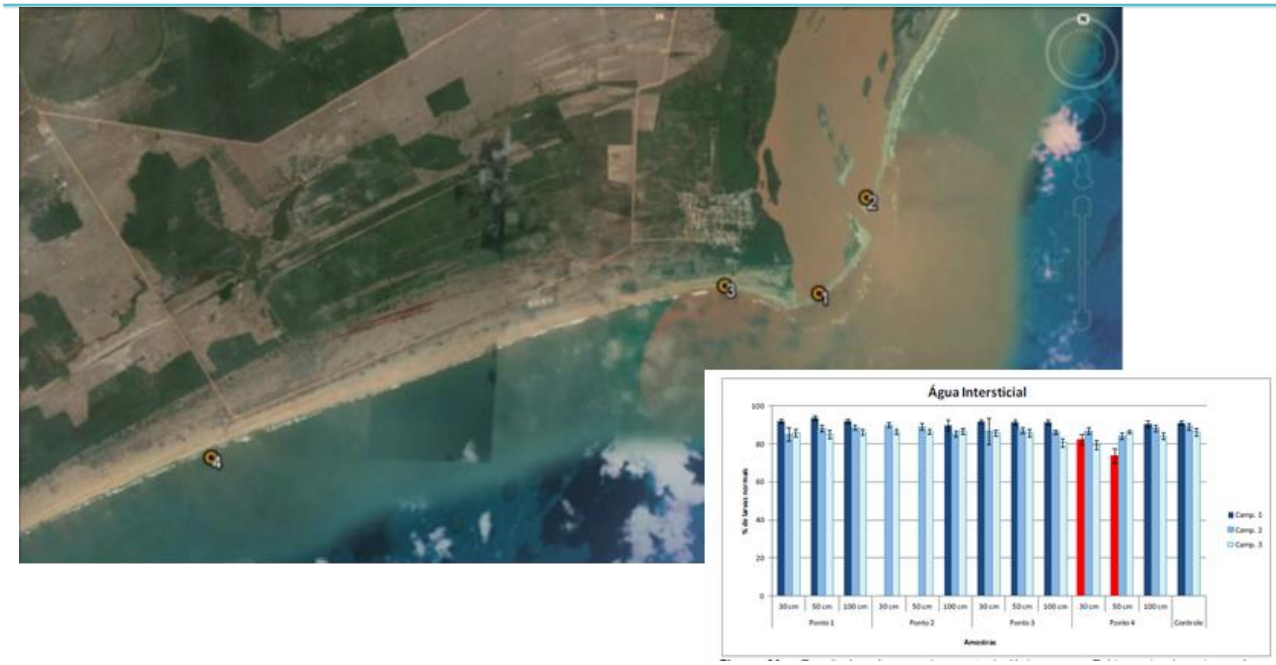
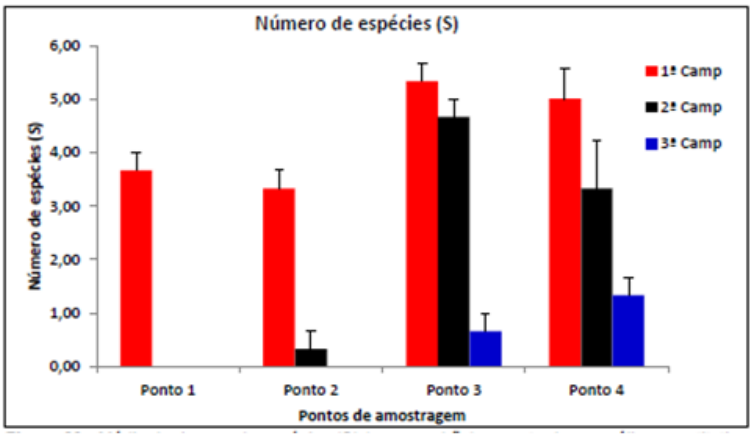


Figura 10- Resultados (médias e desvio padrão) de riqueza (azul), riqueza de Margalef (verde) e densidade (laranja) de macrofauna bentônica do rio Doce ao longo do tempo, sendo -1 valores de background, 0 a 13 os meses após a passagem da pluma de turbidez no respectivo ponto. Fonte: APLYSIA, 2017e.





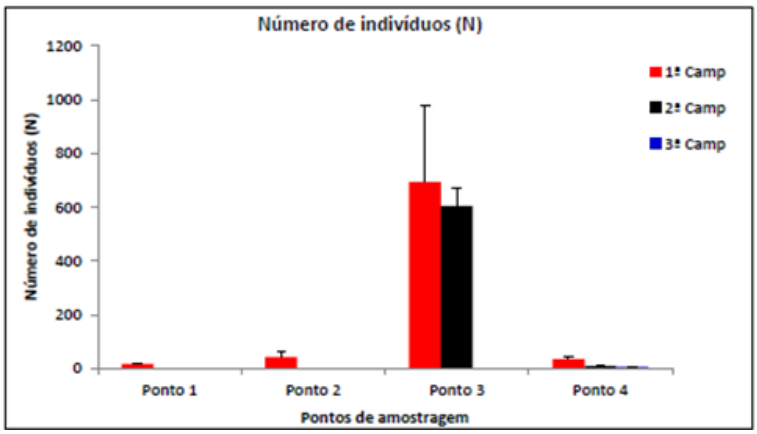


Figura 11 – Malha amostral e resultados ecotoxicológicos e ecológicos (média e desvio padrão) obtidos durante monitoramento dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema praial (Rebio de Comboios). Os resultados ecotoxicológicos referem-se a ensaios crônicos com ouriço do mar em matriz de água instersticial coletada em três profundidades; e os resultados ecológicos referem-se ao número de espécies e indivíduos da fauna bentônica amostrados na areia da praia. Fonte: APLYSIA, 2016.

CAPÍTULO 4

RISCO A SAÚDE HUMANA

Dra. Yvette Wieder Lowney

Independent Technical Opinion

Assessing Need for Fishing Ban in the Rio Doce or Adjacent Coastal Region

Prepared for:

APLYSIA
Vitoria, Espirito Santo
Brazil

Prepared by:

Alloy, LLC
Yvette Wieder Lowney
Boulder, CO
USA

August 30, 2018

Independent Technical Opinion

Assessing Need for Fishing Ban in the Rio Doce or Adjacent Coastal Region

INTRODUCTION

Following the rupture of the Fundao dam near Mariana, Minas Gerais, Brazil, two fishing bans were instituted. One ban was issued under Ministerial Order to "prohibit fishing in the entire basin of the Rio Doce, within the limits of the State of Minas Gerais" (IEF 2016). This action was taken with the primary goal of preservation of fishery resources in the State of Minas Gerais, aiming to ensure the sustainable use of the fishery. Under recommendation from the Federal Public Prosecutor's office, a second ban was imposed by the Director of the National Health Surveillance Agency prohibiting fishing in the region in the State of Espirito Santo, extending over the area from Barra do Riacho to Degredo/Ipiraguinha within the coastal area to 25 meters deep (ANVISA 2016). This second ban was based on information regarding contamination of marine organisms and was imposed based on a precautionary approach to ensure that fish contaminated with metals from sediments from the Rio Doce did not contribute to unsafe exposures.

This document addresses the health-based fishing ban, specifically addressing whether available studies provide adequate data to confirm the continued need for a fishing ban, or to demonstrate that the fishing ban is not necessary to protect the public from exposures to metals that may have been released during the dam rupture or during subsequent travel of the dam materials through the Rio Doce.

DOCUMENTS REVIEWED

A set of 15 documents were initially provided for review and assessment of what conclusions these documents might support regarding the need for a fishing ban within the Rio Doce or surrounding coastal areas. An additional 3 documents were provided in August, 2018. The 18 studies are listed in Table 1 and cited in the Reference section at the end of this document. Table 1 also provides a summary of each study, whether it addresses conditions before or after the dam rupture, whether it focuses on the Rio Doce itself or the coastal areas surrounding Rio Doce, and some of the major points of each study. The table also includes a brief discussion of

limitations of the study and a determination of whether the study is useful for assessing the need for a fishing ban. Of the available studies:

- Two studies are focused on providing information on the concentrations of metals in shellfish and fish from timepoints prior to the dam rupture or prior to when the sediment plume reached the mouth of the Rio Doce. These are useful for providing insights into the conditions prior to the dam rupture, but they do not provide data on the impacts of the rupture or expected current conditions. The first of these (Aplysia 2017a) provides a summary of data from 7 studies conducted between 2008 and 2016 that report on tissue concentrations of arsenic in fish and shellfish collected from locations in the vicinity of the mouth of Rio Doce and in coastal areas north and south of where the Rio Doce meets the Atlantic Ocean. The second (Aplysia 2017b) provides a report on a study of the concentrations of 11 metals in the freshwater clam, *Corbicula fluminea,* collected in the Rio Doce in the days immediately before the plume of turbidity from the rupture of the Fundao dam.
- Five studies focused on characterizing conditions within the Rio Doce. In addition to Aplysia 2017b discussed above, a study from Bioma (2016) provides data on metal concentrations in fish tissue before and after the dam rupture, and a study by UFVJM (2017) presents data from both the Rio Doce and tributaries upstream of the influence from the contaminant plume. Two more recent studies, one by Hydrobiology (2018), and another by Fundacao Renova (2018), present studies of numerous sampling locations within the Rio Doce, and also include data from "control" and "reference" areas that were selected to allow for comparisons against waterbodies outside of the area of impact for the dam rupture.
- Ten of the available documents provide original data regarding concentrations of metals in fish or shellfish collected specifically from coastal areas after the dam rupture. These include five reports from the Universidade Federal do Rio Grande (FURG 2016a – 2016d, 2017) and studies by Econservation (2016) that investigate metals in fish and shellfish from waters sampled from many locations along the coastal region near Rio Doce. Golder Associates (2016) provides a technical memorandum summarizing data on fish, water, and sediments within Rio Doce and from 20 coastal locations. Additionally, a data summary from Hidrobiology (2016) was provided. The figures from Hidrobiology summarize data on total arsenic and inorganic arsenic from 17 species of fish and shellfish from nine coastal locations. Finally, a set of slides from a presentation by Adalto Bianchini (2018) also contribute to the information available to characterize spatial and temporal trends in metal concentrations in fish tissue in the coastal areas near the Rio Doce.

- Additional reports reviewed included a “worst case” human health risk assessment from ANVISA (2016) and information on the sample collection and identification methods used by Econservation (2017)

INTERPRETATION OF AVAILABLE STUDIES

As mentioned above, Table 1 provides a listing of these studies along with a brief summary of each. The summary indicates whether the study characterized the river or coastal areas and if samples were taken before or after the dam rupture. Also included is a brief assessment of the merits of each study, including major points and its value for understanding the potential human health risks associated with consumption of seafood from the vicinity of Rio Doce.

An extensive review of the merits and limitations of each study is not in the scope of this current evaluation. Similarly, revisions of the reports to attempt corrections for errors or ambiguities were not undertaken. Rather, the documents were reviewed to determine whether they provided reliable information that could be used to determine the need for a continued fishing ban in the Rio Doce or surrounding coastal areas. The conducted review revealed that a majority of the studies contain significant limitations that prevent relying on them for a determination of the quality or safety of the fishery in the vicinity of the fishing ban.

General categories of areas with major limitations that were identified during the review of studies included:

- **Data Reporting**: In some reports, only summary data were provided, and/or only average concentrations were reported, with no range indicated. In some instances, these included tissue data averaged across sample locations from both within and outside of the plume or fishing ban area. And for some reports, fish tissue concentrations were reported only as the fraction that exceeded regulatory (ANVISA) limits, but actual concentrations were not presented. Some reports only provide data in figures, and there appear to be reporting discrepancies or inconsistencies between figures. Failure to report data in a meaningful manner precludes use of a study for the goals of this effort.

- **Data Quality Assurance/Quality Control:** All technical reports that convey analytical data should include a description of the QA/QC components included in the assessment of samples. This should include a description of analytical methods and quality control measures such as blanks, spikes, replicates, and standard reference materials. Without

these components of a data package it is not possible to assess the precision or accuracy of the data reported.

- **Data Quality Objectives:** All research efforts should specify the objectives of their effort before initiating sample collection. Doing so avoids problems such as generating data with an inadequate detection limit (e.g. inability to detect concentrations below a threshold of interest) and ensures that the study design will provide data to address the scientific hypothesis (e.g., comparison of before and after or contaminated and uncontaminated areas). The objectives can also dictate the statistical analyses or other measures used to interpret findings and support conclusions.

- **Inconsistencies within or between Studies:** The lack of full data reporting in many studies (as discussed in the bullets above) hampered the ability to combine data across studies or even to provide a robust comparison of the studies. Inconsistencies that emerged between studies, or even within a given study, are impossible to resolve without more information. Examples of inconsistencies that emerge from a broad review of all the studies together include factors such as the finding that concentrations of metals before the arrival of the plume were greater than after the plume. For example, the summary of data from before the dam rupture (Aplysia 2016) indicates arsenic concentrations in fish and shellfish that exceed ANVISA limits, but some studies performed after the rupture suggest arsenic concentrations consistently below the ANVISA limit. More specifically, for example, pre-rupture data from Aplysia (2016) indicates that 23% of fish tissue samples exceeded the ANVISA limit of 1 mg/kg (FIGURE 1), while FURG (2016) reports that less than 1% of fish samples collected in April 2016 (3 of 316 fish samples) exceeded the ANVISA criterion. It does not make sense that concentrations after the rupture would be lower than before the rupture. Some of the differences between reported values in different studies may be related to differences in species caught, an issue which further highlights the need to ascertain which species contribute to human exposures. Conversely, while inorganic arsenic concentrations appear very low across species and locations (Hidrobiology 2016) (discussed further below), the total arsenic concentrations in the same study are much higher than values reported by other researchers. Because the different studies report results that are inconsistent, it is not possible to form a conclusion based on the weight of evidence from all studies taken together.

The study conducted by Econservation (2016) appears to provide adequate documentation to indicate reliability. Although our team has found inconsistencies in the data, particularly with regard to location of some samples, in general this report provides a strong description of the

project objectives, the study design, data quality controls measures, and analytical and statistical methods used. It provides useful data summaries, a discussion that places the observed results in the context of the available literature on metals in fish and shellfish, and also includes annexes with detailed analyses of the data. A database of the raw data that emerged from the study was also made available to the review team for independent analysis.

Upon review of this report, it demonstrates effects that would be expected based on a broad base of published literature regarding the concentrations of metals in seafood. For example, the observation that the average concentration of arsenic in shrimp are greater than concentrations in fish muscle tissue (See Figure 2, and Econservation report Figure 3.2-1) is consistent with expected observations (e.g., Taylor et al., 2016; Yost et al., 2004; Schoof et al., 1999; Neff, 1997). In fact, as depicted in an insert in Figure 2, the arsenic concentrations reported by Econservation 2016 are not inconsistent with a summary of arsenic in fish, bivalves and crustacea compiled for samples collected from around the world (Neff 1997). These types of "expected" findings lend further credibility to the study and its reported findings.

As with any study, there are some limitations associated with the report from Econservation (2016). Among those that have not been resolved are questions about short timeframe of collection – whether the results indicate only a brief "snapshot" from the 8-week time period of the study or whether those results indicate stable conditions. Other questions regarding data handling – for example, how results were identified as "extreme" values or "outliers" in the data management, and discrepancies with regard to how locations are identified. A more detailed evaluation of their data would help to resolve these latter issues. The question about continuing trends of metals concentrations in fish and shellfish with time could only be answered by an additional study (plans for which are suggested in the report).

Finally, one of the available documents was from ANVISA (ANVISA Protocol 2016). This document did not report original data, but rather used available data to construct a "worst case" assessment of potential risks associated with human consumption of fish from the coastal areas near the Rio Doce. In their assessment, ANVISA staff calculated possible exposures to contaminants in fish collected from areas near the fishing ban and compared these exposures to "benchmark dose levels (BMDLs)" from the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) to assess whether there was an adequate margin of safety between anticipated exposures and toxicity thresholds. This paradigm for risk assessment is sound, and it is considered one of the conventional methods for understanding whether contaminants in food might present a risk following human consumption. Unfortunately, the assessment was constructed to characterize "worst case" conditions by selecting high end tissue concentrations for use in the exposure assessment. These types of "worst case" assessments are useful only if the assessment demonstrates no risk. If the assessment identifies that safe thresholds of exposure are exceeded, then the only conclusion that can be drawn is that a more refined study

is warranted – a conclusion that is not inconsistent with final sections of the ANVISA assessment. ANVISA (2016) calculates margins of safety that are very low or non-existent (points 71 through 74 of the document). However, it concludes that "it is unlikely that in the real situation the safe levels are exceeded" – a conclusion that is not consistent with the analysis presented. There are other errors (e.g., in transcription of toxicity values, calculations, and reporting) associated with the document that make the results unreliable for use in determining the need for (or support removal of) the fishing ban.

The criteria for evaluation of good studies are not subjective metrics that allow one to arbitrarily select or dismiss particular studies. Rather, these criteria provide meaningful metrics by which scientific integrity can be assessed by an outside reviewer and provide transparency. It is not to say that one can assume that data are bad if a study doesn't meet these criteria, just that one cannot be confident of the conclusion of a study if these criteria aren't met. An example of a very detailed "Quality Assurance Project Plan" (QAPP) for a fish sampling event is attached as Annex I, for reference. Table 2 provides a summary of some key considerations that should be considered for any future fish collection efforts conducted to support the assessment of the fishing ban. Even a single study that includes these important considerations could provide adequate information to support a scientifically-justified decision with regard to whether the fishing ban could be lifted.

GENERAL CONCLUSIONS SUPPORTED BY AVAILABLE STUDIES

Taken together, the available collection of studies does not provide a strong basis for a recommendation regarding the fishing ban in the mouth of the Rio Doce or surrounding coastal areas. The results from the studies are contradictory, and, as indicated in Table 1 and discussed above, there are significant limitations associated with most of the studies. This precludes use of them to construct a broad database that would form a critical analysis of potential health risks associated with consumption of fish from the fishing ban area.

Although not without some limitations the most well-documented of the available studies is that performed by Econservation (2016). As discussed above, this contains the critical elements of a high-quality study and provides information useful for a preliminary assessment of potential risk. The findings of this study should be confirmed for additional timepoints, and with a focused study that is specifically designed to meet the objective of addressing the need for a fishing ban to protect from exposures that may have resulted from the rupture of the Fundao dam.

PATH FORWARD ON RISK EVALUATION

As outlined by ANVISA (2016) and other guidance from various regulatory agencies around the world, assessing potential human health risks from exposure to chemicals in environmental media (including fish) requires information on potential exposures to the chemicals and information on the toxicity of the chemicals of interest. These two pieces of information are combined into a characterization of potential risk.

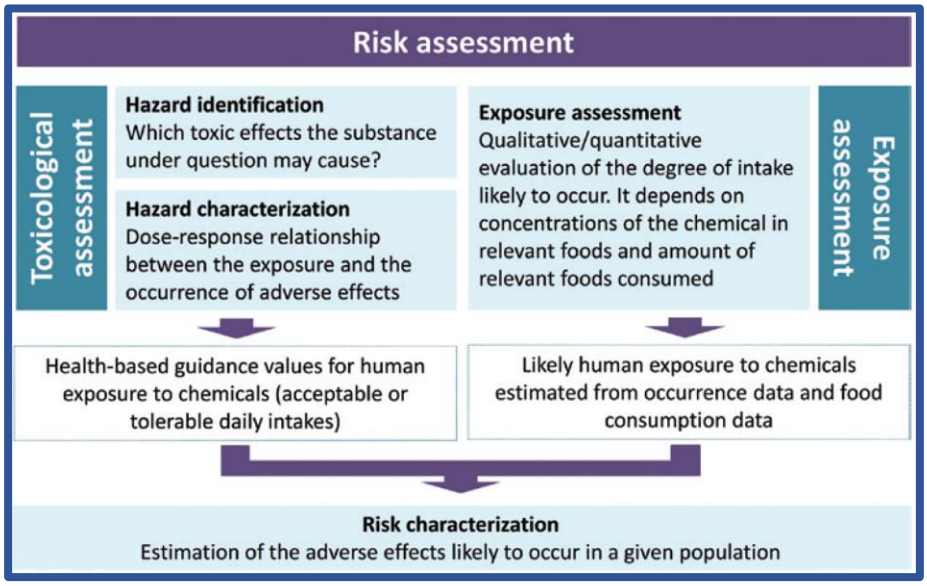


Figure 3. Human Health Risk Assessment Process
(from Arisseto-Bragotto et al., 2017. "Food quality and safety progress in the Brazilian food and beverage industry: chemical hazards.")

In the absence of the full complement of information to conduct a risk assessment it is possible to make some simplifying assumptions about possible human exposures and use that information to estimate safe concentrations of chemicals in fish.

Table 3 provides a calculation of "risk-based screening levels" (RSLs) for metals in fish. These values are based on toxicity information provided by the Integrated Risk Information Service (IRIS) of the U.S. EPA. Other sources of information on toxicity are available, but the IRIS tables provide a compendium of toxicity values that have been reviewed and accepted by a large regulatory agency. Table 4 summarizes the exposure assumptions included in the calculations.

Both the regulatory criteria from ANVISA and the RSLs, calculated as described above, are summarized in Table 5. These values were compared to concentrations of metals in fish and shellfish as reported by Econservation (2016). Annex II provides a set of figures comparing

concentrations in oysters, shrimp, and fish at different sampling locations to both the calculated RSL for all individual metals reported and to the ANVISA regulatory standard where available (for arsenic, cadmium, lead, and mercury). Note, the tissue concentration data in these figures are lifted directly from Anexo III of the Econservation report. The calculated RSL and the ANVISA standard are represented in the figures as blue or red bars, respectively. These figures thus show how measured tissue concentrations from samples collected soon after the dam rupture (between December 2015 and February 2016) compare against these criteria.

As depicted in these figures, for nearly all metals, the concentrations in fish, shrimp, and oysters fall below both the ANVISA regulatory levels and the RSLs calculated for this project. There are individual data points that exceed the criteria, but the median and 75th percentile concentrations fall below the screening criteria. For the risk-based criteria, these values are calculated to be protective for long-term exposures. Therefore, the mean concentration (frequently assessed as an upper-bound estimate of the mean) is generally considered to be the best representative of likely long-term exposure point concentrations. This characterization includes all data as reported by Econservation (2016) with no further refinements based on fish species, fish size, or other considerations that likely affect what is realistically consumed by local residents or what is introduced to the commercial market.

Across all types of biota sampled in the Econservation (2016) effort (oysters, shrimp, and fish), the reported concentrations of arsenic exceed both the RSL of 0.28 ug/g and the ANVISA criterion of 1.0 ug/g. In interpreting these findings, it is important to note that the arsenic concentrations reported represent total arsenic in the sample (As_T). The ANVISA and RSL screening criteria are based on toxicity studies from human exposures to arsenic in drinking water and, therefore, represent criteria applicable to inorganic arsenic (As_i). Concentrations of As_i were not provided in the database used in the comparison provided here. Therefore, the indication that As_T concentrations from the Econservation study exceed criteria does not necessarily indicate that consumption of the fish and shellfish might present health risks. It does suggest that additional sampling and more detailed analytical characterization is warranted. This is discussed further below.

A slightly different analysis was provided by Dr. Luís Felipe Niencheski. He used the data from Econservation (2016) to compare concentrations of As, Fe, Cd, Pb, and Cu in fish as a function of fish length and fish species. This analysis also distinguishes between fish designated by Econservation as collected inside or outside of the plume. His Dr. Niensheski's analysis is copied in Annex III. The analysis suggests several points relevant to assessing potential risks from consumption of fish collected in the area. First, there appears to be little relationship between concentration of metal in fish tissue and fish length. One exception is for the data on arsenic in Bagres (miscelanius). There also does not appear to be a distinction between fish collected from "outside the plume" or "inside the plume." This may reflect movement of fish

across broad areas and migration in and out of the area of the plume, or may reflect other factors controlling accumulation of metals in fish tissue. The observation of little relationship between size and metal concentration is also consistent with other data from the literature, where it is reported that, except for arsenic and mercury, the bioconcentration factors between fish and water or sediment indicate an inverse relationship (i.e., lower bioconcentration at higher concentrations in water or sediment), so fish tissues may not be heavily affected by environmental contamination of metals (McGeer 2003; Cardwell; DeForest 2007). Importantly, high bioaccumulation factors are generally identified for instances with very low concentrations of metals in water (possibly reflecting recovery from nutritional deficiencies). Where there is contamination creating high environmental concentrations uptake into fish tissues is lower, possibly due to saturable uptake mechanisms or other pharmacodynamic considerations (GLEC 2013). This has been reported as particularly true for uptake into edible portions of fish, as most metals are not concentrated in these fish tissues. Corroboration of little relation between environmental and fish tissue concentrations of metals for areas surrounding the Rio Doce would be instructive in assessing potential risks from fish contamination.

TOTAL AND INORGANIC ARSENIC IN FISH

Most of the studies conducted in the Rio Doce and surrounding coastal vicinity report concentrations of target analytes in fish tissue that are below regulatory limits. An exception is the concentration of arsenic in fish, shrimp, and bivalves, for which several studies report measured concentrations that exceed the limits. This observation is not unexpected because the tissue concentration data reflect total arsenic present in the samples, but the screening criteria pertain only to the inorganic form of arsenic present in the fish.

In fish and other marine organisms, a significant level of arsenic can typically be found. The majority of the arsenic present in fish is in organic form and has been found to be nontoxic (EPA 2000). Only a small portion of the total arsenic concentration is made up of inorganic arsenic, the form that can be of concern (Taylor et al., 2016; WHO 2011, EPA 2000; Schoof et al., 1999).

According to Edmonds and Francesconi (1993), the level of inorganic arsenic in marine animals ranges from 0-44% of the total arsenic. These authors also report that inorganic arsenic in commercially important fish species range from only 0.5-1% of total arsenic concentrations with higher percentages of inorganic at lower total arsenic concentrations. These values are consistent with other reports from the peer-reviewed literature (e.g., Neff, 1997; Taylor et al., 2017), although U.S. EPA reports a range of <1-20% of the total arsenic in seafood being made up of inorganic arsenic (US EPA 2000).

Data summaries provided by Hydrobiology (2016) report on total and inorganic arsenic in fish and shellfish collected from nine locations near the mouth of the Rio Doce. Although there is very limited technical reporting associated with these data, they do provide site- or region-specific data that appear to corroborate the expectation that only a small fraction of total arsenic in samples from this region is present as inorganic arsenic. Should additional details of this report become available, the results should be reassessed to confirm the reported findings.

Because such a small fraction of arsenic is expected to be present as inorganic forms in the edible tissues of seafood, it is reasonable to assume, for screening purposes, that arsenic in fish and shellfish from the area does not exceed regulatory or health-based limits. Future sampling in the area should confirm this using well-documented methods for characterizing total and inorganic arsenic, such as by USEPA Method 1632A.

SUMMARY AND RECOMMENDATIONS

This review of studies was conducted to assess the need for a fishing ban to protect public health following the rupture of the Fundao dam near Mariana, Minas Gerais, Brazil. This review focused on studies that are potentially relevant to understanding the continuing need for the fishing ban in the coastal areas near the mouth of the Rio Doce because the fishing ban in place in these areas targets the protection of human health following consumption of fish. The fishing ban in the higher reaches of the Rio Doce are primarily focused on protection and sustainability of fish populations in the river. A set of 15 documents were provided for review and assessment of what conclusions these documents might support regarding the need for a fishing ban within the Rio Doce or surrounding coastal areas. A critical evaluation of these studies was conducted, and reported findings were interpreted in the context of potential public health risks.

Taken together, the available collection of studies does not provide a strong basis for a recommendation regarding the fishing ban in the lower Rio Doce or surrounding coastal areas. The results from the studies are contradictory, for example with some studies (Aplysia 2017a and Econservation 2016 reporting higher arsenic concentrations than reported in other studies), and there are significant limitations associated with most of the studies. This precludes use of them in a weight-of-evidence critical analysis of potential health risks associated with consumption of fish from the fishing ban area. The most credible of the available information is that performed by Econservation (2016). This study contains the critical elements of a high-quality study and provides some information that is useful for a preliminary assessment of potential risk.

The formal risk assessment process entails performing a detailed assessment of contaminant exposures for the target population and assessing risk by combining that exposure information with toxicity information for contaminants of concern. The limited information available for conditions in the fishing ban area does not support a formal risk assessment. However, some assumptions can be made about likely levels of fish consumption, that information was used here to calculate risk-based screening levels (RSLs) for metals in fish. In order to provide a preliminary screening, data from the report by Econservation (2016) were compared to both these RSLs and the fish tissue criteria from ANVISA.

This screening of data against RSLs and regulatory criteria suggests that the observed concentrations of metals in fish do not exceed risk or regulatory levels of concern. A clear exception pertains to the reported concentration of arsenic in fish and shrimp. However, the arsenic concentrations reported pertain to total arsenic, whereas only the inorganic forms of arsenic in fish tissue are believed to be toxic, and the concentration of inorganic arsenic is the

proper metric to compare against the screening criteria. Data from Hydrobiology (2015/2016) indicate that tissues from fish in the area of the fishing ban contain concentrations of inorganic arsenic that are far below the concentration of total arsenic in the same samples. The details for this study are not currently available, but the findings are consistent with the broader literature regarding the forms of arsenic present in fish, specifically that concentrations of inorganic arsenic are a small fraction of total arsenic present in fish tissues.

There is currently not a broad set of reliable studies upon which to base an assessment of fish contamination, or upon which to assess the need (or lack thereof) of a fishing ban in response to contamination that may have occurred following the rupture of the Fundao dam. The quality of most of the available studies simply precludes their use in this type of assessment. However, one study from the area (as reported by Econservation 2016) provides data that can be used for a preliminary health-based screening.

A more detailed evaluation of risk from human consumption of fish in the area (and associated need for a fishing ban) will require additional data, including information on the fish species that are consumed, the size range of fish consumed by local populations, and the size range of fish sold to commercial markets. It is important that future studies to support risk-based decision making should also characterize both total arsenic and inorganic arsenic in tissues of fish and shellfish. Study design should also include characterization of a “reference area” so that concentrations for the area of concern can be compared to unimpacted areas. This is important because metals are naturally occurring in the environment, and tissues from biota will naturally contain some level of these metals. Therefore, a meaningful risk assessment will allow for screening against “background” levels.

REFERENCES

ANVISA 2016. Assunto: Pescados da regiao afetada pelo acidente da Barragem do Fundao – Samarco. 01 June 2016.

ANVISA 2016. National Health Surveillance Agency (ANVISA) Resolution No 989. 15 April 2016.

Aplysia. Anexo- Levantamento de dados de arsenio em decidos de peixes e moluscos- Dados brutos. Relatorio Technico No 245/2017 Revisao 00.

Aplysia 2017a. Levantamento de dados de arsenio em decidos de peixes e moluscos. Relatorio Technico No 245/2017 Revisao 00.

Aplysia 2017b. Analise de bioacumulacao de metais em tecido de molusco. Relatorio Technico No 274/2017. Revisao 02.

Arisseto-Bragotto, AP, Feltes, MMC, and Block, JM. 2017. Food quality and safety progress in the Brazilian food and beverage industry: chemical hazards. *Food Quality and Safety*, 2017, 1(2), 117–129.

Bianchini, A., et al. Universidade Federal do Rio Grande (FURG) 2016. Etapa 1: Analise de contaminantes (metais). RT-C 105/2016.

Bianchini, A., et al. Universidade Federal do Rio Grande (FURG) 2016. Etapa 5: Analise de comparative sobre os resultados entre as expedicoes Soloncy Moura I e II e as amostras coletadas antes do evento. RT-C 105/2016. 2016.

Bianchini, A. Universidade Federal do Rio Grande (FURG) 2016. Avaliação do impacto da lama/pluma Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos (ES e BA) com ênfase nas Unidades de Conservação. ICMBio. 28 April 2016.

Bianchini, A. Universidade Federal do Rio Grande (FURG) 2017. Monitoramento dos efeitos ecotoxicologicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do Rio Doce sobre o ambiente marinho – contaminacao do pescado. 27 October 2017.

Bianchini, A. Universidade Federal do Rio Grande (FURG) 2016. Resumo das analises realizadas – expedicao Soloncy Moura. ICMBio. 15 March 2016.

Bianchini, A. 2018. Reunaio Ordinarioa da CT-Bio/CIF; Ecotoxicologia – contaminacao do pescado. Presentation slides, dated 07 de junho de 2018.

Bioma 2016. Monitoramento de Bioacumulacao (Ictiofauna, Carcinofauna e Malacofauna) por Metais, na Regiao Marinha Adjacente . Foz do Rio Doce e sob Possivel Influencia da Lama de Rejeitos Oriunda do Rompimento da Barragem de Fundao. February 2016.

DeForest, KD, Bris, KV, Adams WJ 2007. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: the inverse relationship between bioaccumulation factors, torphic transfer factors and exposure concentration. Aquatic Toxicology Vol 84:236-246.

Econservation 2016. Monitoramento de Bioacumulacao (Ictiofauna, Carcinofauna e Malacofauna) por Metais, na Regiao Marinha Adjacente a Foz do Rio Doce e sob Possivel Influencia da Lama de Rejeitos Oriunda do Rompimento da Barragem de Fundao. April 2016.

Econservation 2017. Remoção, Identificação, Contabilidade e Destinação de Peixes do Rio Doce. April 2017

Edmonds, J.S., Francesconi, K.A. 1993. Arsenic in seafoods: Human health aspects and regulations. *Marine Pollution Bulletin.* Vol. 26 No. 12 665-674. 1993.

Environmental Protection Agency (EPA) 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Vol. 1: Fish Sampling and Analysis, Third Edition. November 2000

Fundacao Renova, 2018. Quantificacao de metais e arsenio nos organismos coletados durante o progama de monitoramento da ictiofauna do Rio Doce no estatos de Minas Gerais e Espirito Santo – Relatorio 2.

Greenberg, G.I., Lunch, H.N., Lewis, A.S. 2014 A Literature Review of Inorganic Arsenic in Seafood and Its Implication in Dietary Intake Analyses. Gradient. November 2014.

Great Lakes Environmental Center (GLEC) 2013. Development of bioaccumulation factors (BAFs) for use in human health ambient water quality criteria development. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology, Health and Ecological Criteria Division. EPA Contract No. EP-C-09-001.

Hidrobiology 2015/16. As total and inorganic. December 2015 – February 2016.

Hydrobiology 2018. Upper catchment supplementary ecological indicators. Fundao Dam Failure. ABN 26 096 574 659.

Instututo Estadual do Florestas (IEF) 2016. Ministerial Order No. 78 of IEF 31 October. Rules on fan on fishing in the basin Rio Doce. Publication in Executive Journal Minas Gerais, 01 January 2011.

McGeer, JC, Brix, KV, Skeaff JM, Deforest DK, Brigham, SI, Adams WJ, and Green, A. 2003. Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentrations for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment. Environ. Toxicology and Chemistry. Vol 22, No 5: 1017-1037.

Neff, J.M. 1997 Ecotoxicology of arsenic in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry.* Vol. 16, No. 5, 917-927.

Schoof, RA, Yost LJ, Eickhoff J 1999. A market basket survey of inorganic arsenic in food. Food Chem. Toxicol. 37(8):839-846.

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) 2017. Relatorio da contaminacao dos peixes capturados na regiao do medio Rio Doce na Microrregiao de Governador Valadares, MG. May.

World Health Organization (WHO) 2011. Safety evaluation of certain contaminants in food: Arsenic. Prepared by the 72nd meeting of the joint FAO/WHO Expert Committee o Food Additives (JECFA)> WHO Food Additives Series 63. FAO JECFA Monographs 8.

Yost, LJ, Tao SH, Egan SK, Barraj LM, Smith KM, Tsuji JS, Lowney YW, Schoof RA, and Rachman NJ. 2004. Estimation of dietary intake of inorganic arsenic in U.S. Children. Human and Ecological Risk Assessment 10:473-489

Table 1. Summary of Studies Reviewed

Document number	Author	Title	Document Date	Before Rupture	After Rupture	Data for River	Data for Coastal	Summary	Primary Points	Major Limitations	Usefulness for Assessing Ban
17	FURG	dcom_relatorio_contrato_105_2016	16-Apr-18		19-Apr-16		X	Total metals: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb in water, fish, shrimp, and zooplankton. Many locations, including far north and south	many sampling locations distributed along coastal areas. Appears to include background locations north and south. Concludes that for fish, "99% of samples….were in accordance with legislation	Data reporting: Data not reported by location. Only average values reported. Averages impacted with non-impacted areas. Total arsenic <1 in all species (seems low). Reporting for water and zooplankton much more detailed than for fish	Limited. Data only presented in summaries.
18	FURG	relatorio_contrato_105_2016_ETAPA_5	nov/2015 até abr/2016	20-Nov	Jan 2016 and April 2016		X	Objective is to compare results before and after dam rupture. Many samples of water and fish (5 species, 113 samples).	Goal to compare data before and after dam rupture. Water and Fish. For fish, fesults indicate "significan increase in metals in fish after event, excpt Cr in muscle and Pb in liver.	reporting units (ug/kg) don't seem right, but reader is unable to confirm. No arenic data. Concentrations reported in different figures don't agree.	Poor confidence due to apparent reporting errors, results only in figures, and discrepancy between results in different figures
19	FURG	DCOM_relatorio_revisado_atualizado_29_04_2016_AB	16-Jan-18		19-Apr-16		X	Total metals: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb in water, fish, shrimp, and zooplankton. Many locations, including far north and south	many sampling locations distributed along coastal areas. Appears to include background locations north and south. Concludes that for fish, "99% of samples….were in accordance with legislation	Data reporting: Data not reported by location. Only average values reported. Averages impacted with non-impacted areas. Total arsenic <1 in all species (seems low). Reporting for water and zooplankton much more detailed than for fish	Limited. Data only presented in summaries.
20	FURG /ICM Bio	Resumo das análises realizadas - expedição Soloncy Moura	16-Mar-18		X		X	As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb in water, zooplankton, fish and shrimp. Compares fish tissue data against ANVISA limits	Reports percent of samples above ANVISA limit. High percentage of fish exceed ANVISA limits: As (85-90%), Cd (50-100%), and Pb (25-100%).	Measured values not reported. Sample dates not reported. Analytical methods not reported. Fish tissue results reported only as fraction exceeding ANVISA limits	Limited: measured concentrations not reported, and analytical methods not reported.
21	FURG	Relatório_de_Atividades_FURG_27_10_2017	jan/2017 e set/2017		Jan 2016 and Sept 2017		X	Fourth research cruise to collect abiotic and biological samples in the marine environment north and south of Rio Doce.	22 sample locations from 8 stations. (same locations as prior work). Provides concentration data over time. Report concentrations lower than ANVISA limits for As, Pb, Cd. *Suggestive* of low risks from fish consumption, but data inconsistencies results in poor confidence.	Data only presented in figures. Appear to be inconsistencies between figures. "suggests" low risk from fish consumption. Remarkable decrease in As in fish (from 50/90 mg/kg in shrimp/fish in January 2016 to all fish ND and shrimp <5 mg/kg.	Poor confidence because of limited data presentation and apparent discrepancies between the same data in different figures.
22	UFVJM	relatorio peixes rio doce_UFVJM	17-May-18		X	X		Provides data on metal concentrations in fish from Rio Doce and lago and tributaries near Governador Valadares. Presents table of data and comparison to ANVISA standards for As, Cd, Hg, Pb.	Includes locations within Rio Doce and in Rio Corrente tributary upstream of Rio Doce, and Lago. Suggests few exceedances of ANVISA criteria. Average concentration at each location is < criterion. However, authors conclude "high degree of contamination" and "great risk to fishermen."	Conclusions don't appear consistent with reported results: There are some exceedances of criteria in all locations, more in Rio Doce. Not able to assess data quality. Hg and As only metals that looks higher in Rio Doce. Conclusions do not appear to match data presented.	Limited: lack of data quality information, and dissconect between the results reported and the conclusions drawn by the study authors.
23	ECONSERVATION	ECV RT 065-16 - RT Bioacumulação Final	16-Apr-18		X		X	Monitoring of metals in fish, shrimp and oysters after dam rupture. 6 locations in Coastal waters and mouth of Rio Doce. Provides comparison against ANVISA limits and temporal trends.	temporal trends, compares locations north to south. Good reporting, QC, context of findings, and suggesions for follow on. Database provided. Suggests few exceedances of ANVISA criteria.	Strongest technical reporting of all reports reviewed. Limitations include short time period of evaluation, and lack of data on inorganic arsenic. Should consider adding section with comparison against pre-plume data from Renova/Aplysia	Best available for data after dam rupture. Provides strong database of short period of sampling. Lacks inorganic arsenic
24	GOLDER ASSOCIATES	MT-081_159-515-2282_00-B	16-Mar-18		X	X	X	Technical Memo summarizing data colected on fish, water, and sediments. Includes discussion of sampling in Rio Doce and 20 coastal locations	goal apprears to be to demonstrate that dam rupture did not result in increased water concentrations. Relevance not clear. Concludes that fish in Rio Doce < limits from December. In coastal areas, As, Se, and Zn exceed limits but authors conclude "dam rupture didn't affect concentrations of arsenic in water"	Many non detects in concentration range at or above regulatory limit. Summary intepretation of larger report. Compares sediment concentration against CONAMA limits for disposal of dredge material, which seems like an inappropriate comparison. Conclusions not substantiated.	poor confidence
25	APLYSIA	Relatório Técnico.274.2017.rev00	17-Apr-18	8-Nov		X		Provides an evaluation of the concentrations of metals in clams from Rio Doce prior to arrival of plum	Goal to provide baseline in clams. Provides composite of 100 samples. Analytical methods confirmed against NIST SRM.	Good data from before plume. No replicates, but data quality assurances present.	Yes. For baseline conditions

	26	APLYSIA	Relatório.Aplysia.245.2017.rev00-1	16-Oct-18	2011-2015			X	Provides a summary of studies on the concentration of arsenic in fish and shellfish prior to dam rupture. [As] in shellfish 0.66-2.6 mg/kg. [As] in fish <0.1 - 9.8 mg/kg.	Provides map of arsenic in ocean fish and shellfish from before plume. Shows that arsenic in fish and shellfish often exceeded ANVISA limit before plume.	Based on variety of studies by other reserachers. Full quality of each study difficult to assess, but reports are in general agreement. Only arsenic.	Yes. Very useful for characterizing baseline conditions. This study could be used to assess "background" for use in risk assessment
	27	APLYSIA	Anexo Dados brutos Aplysia 245	17-Apr-18	2011-2015	PRESENTS RAW DATA THAT IS SUMMARISED IN DOCUMENT 26 (ABOVE)						
	28	ANVISA	ANVISA_protocolo 009123-2016	16-Jun-18		X		X	Provides human health risk assessment for ocean fish collected after dam rupture. Relies on data from ICMBio (worst case average) and Samarco (ave and max). Based on fish ingestion for Brazilian population.	Acknowledges that "worst case conditions" of assessment. Outlines fish consumption scenario: useful for context and discussion. Mentions need for data on inorganic arsenic. Found that arsenic and lead intake was greater than toxicity threshold, and that cadmium intake was close to threshold.	Worst case scenario not useful. Data summaries from ICM Bio and Samarco. Problems with transcription, calculations, reporting. Conclusions are not consistent with calculations.	Sets out acceptable risk assessment paradigm, but worst case conditions evaluated do not provide useful insights. Too many errors to be confident in analysis.
	29	ECONSERVATION	RT ECV 060-17 (Plano de Resgate e Soltu) Rev 01	17-Apr-18					Provides information on sampling and fish identification for other Econservation effort.			
	30	BIOMA	Anexo 5 - bioacumulacao rio doce	16-Feb-18	X	X	X		Provides data on metals in fish from 5 coastal locations, including two locations before the dam rupture. Report data for muscle, gills and liver tissues, and provides comparison to ANVISA limits.	Appears to provide data on metals concentrations both before and after arrival of plume. Data *suggest* increase in fish tissues after dam rupture for As, Pb, Cu,Cr, Al, Fe, Mn. As, Cr > limits. Cd and Cr elevated before and after release.	Number of samples with undetectable metals in fish tissues is perplexing. High detetion limits. Makes results limited of use. Tables don't report units, making interpretation difficult.	Limited due to high number of undetectable concentrations/inappropriate detection limits
	31	HIDROBIOLOGY	As total and inorganic graphs by species--	dez/2015 a fev/2016		Dec 2015 - Feb 2016		X	Provides data on arsenic in fish from 9 locations after the dam rupture. Includes total and inorganic arsenic for fish, molluscs, and shrimp.	Demonstrates relationship between total arsenic and inorganic arsenic. Total arsenic averages range 10-60 mg/kg. Inorganic arsenic nearly all <0.2 mg/kg.	Limited information on methods, no formal reporting, only tables. Total arsenic concentrations range from 20 mg/kg to >100 mg/kg. This is much higher than other reports, which raises concerns.	Yes. Useful to demonstrate difference between total and inorganic arsenic. Although application is limited because of lack of formal reporting, and because total arsenic concentrations appear out of sync with other reports.
NA		Fundacao Renova	Quantification of metals and arsenic in organisms collected during the program of monitoring of icthiofauna of Rio Doce in the states of Minas Gerais and Espirito Santo - Report 2	1-Aug-18		X	X	X	Provides data on metals in fish for 268 fish samples collected from 17 locations along Rio Doce, and 13 locations in upstream reference locations or tributaries of Rio Doce.	Includes sampling locations in upstream or tributaries for reference. Data indicate that all reported concentrations of metals in fish filet tisues are below ANViSA limits. No clear trend of higher concentrations in Rio Doce vs. reverence locations, but some metals show some higher reported values in Rio Doce (e.g., Al, Mn, Fe). Only 4 detects for arsenic. Concentrations of all metals < limits.	Study may not have been specifically designed to provide data for assessing human exposures or potential human risks. Detection limits may not be low enough for characterization of risk (e.g., detection limit of lead is 0.5 mg/kg). No size or weight data reported to allow characterization of edible-size fish.	Limited because of data gaps on size and detection limits. Very useful to provide comparison of data from Rio Doce vs. areas that were not affected by dam rupture.
NA		Adalto Bianchini	23 Reuniao Ordinaria da CT-BIO/CIF: Ecotoxicologica -- contaminacao do pescado.	7-Jun-18		X		X	Presentation slides of data of fish and shrimp tissue concentrations of metals for coastal sample locations from mouth of Rio Doce, within or outside of fishing ban area. Data presented to demonstrate temporal and spatial variability.	States that fish tissue levels were high shortly after dam rupture, but have generally declined over time, and all are now within ANVISA limits. Conclude that shrimp in the banned area have concentrations of metals similar or lower than shrimp outside the ban area, and the for fish, concentrations that are similar or higher (Pb, Hg, Mn) in the fishing ban area.	Provided only as presentation slides. No information about study design, analytical methods, QA/QC, number of samples collected and reported for each data point. No raw data presented in tables or database. Data on arenic are not consistent with background as reported by Aplysia (Aplysia reports 39% of fish with arsenic concentrations >0.5. this shows no elevations after the initial increase post rupture, and now values of <0.01. Would be useful to know if fish sizes were recorded. FInally, there appear to be data anomolies in the figures -- "total" data are an average of data from <20 and >20m, but for 13 of 16 graphs, the "total" value is outside of the range.	Conclusions with regard to temporal and spatial variability of metals concentrations in fish and shrimp are interesting. Especially the observation of increasing concentrations of lead and cadmium over time. But no information is provided for methodologies used. Together with possible reporting anomolies, this limits usefulness for risk assessment.
NA		Hydrobiology	Upper Catchment Supplementary Ecological Indicators	1-Aug-18		X	X		Results from sampling of biota and sediments in the upper stretches of the Rio Doce, control sites (upstream) and reference locations (different dainage), conducted in October 2017 and April 2018. Project goal was to fill data gaps and provide data to assess impacts to Rio Doce. Among the goals is to assess contaminants in fish to understan potential human health risks.	Major conclusions are that the scouring effect of the dam rupture disrupted streambed habitat, particularly in higher reaches where there was higher velocity, that diatoms my be a useful indicator for some impacts, but not sedimentation caused by dam rupture, that macroinvertebrate diversity has decreased, lack of habitate is present for fish, evaluated new technologies (eDNA and satellite imagery) to assess fish communities and recover, and that fish tissue concentrations of metals are below guideline values and, where elevated (i.e., for zinc), are not different in Rio Doce compared to control and reference locations.	Data for all three sampling areas (Rio Doce, reference, and control) are available only for three species of fish, so species-specific comparisons are difficult. The fish are generally quite small (nearly all are less than 20cm , and unlikely to reflect the type of fish consumed (this limitation may not be resolved until adquate time has passed to allow fish populations to recover). Although conclusions are reported regarding the concentrations of metals in fish (e.g., that tissue metals < guideline values, elevations present in control and reference sites), the fish tissue data are not presented. They also may reflect whole body samples.	Limited but interesting. Study design allows for comparison of data from Rio Doce to reference and control locations. Conclusions that fish tissue concentrations are similar in all these types of locations is important to understanding potential impacts of dam rupture. It would be useful to see these data, assess by size or species, and understand the basis for concusions.

Table 2. Critical Study Design Considerations for Future Efforts to Assess Fishing Ban

Study Design Consideration	Rationale
Analytical Reporting	
Analytical QA/QC	Allows for assessment of precision and accuracy of resulting data
Blanks	Establishes laboratory contamination
Replicates	Establishes reproducibility/variability
Spikes	Establishes precision of analytical results or potential for
Standard Reference Materials	Establishes quality -- indicates possible analytical biases.
Detection Limits	Need to be established consistent with data quality objectives. For example, be set below risk screening values
Quality control charts	in the quantitative analysis laboratory to measure the attributes and performance of an analytical process
Study Design	
State Project Objectives	Ensures data quality objectives
Fish Size	Reflect sizes relevant for human consumption
Fish Species	Reflect species relevant for human consumption
Reference Locations (e.g., upstream, reference streams, control areas, inside/outside ban area)	Include to demonstrate whether concentrations are elevated in study area compared to the general geographic region
Sample Locations along length of river and coastal areas	Locations don't need to be numerous, but need to capture design goals.
Detection Limits	see above
Specify statistical methods	will inform study design and sample number
Groups of fishes with different ecological characteristics	Provide information to assess whether ban should be applied differently to different species.

Table 3. Calculation of Risk Screening Levels (RSLs) for fish

Chemical	Mutagen?	Volatile?	Ingestion CSF (mg/kg-day)$^{-1}$	CSF Ref	RfD (mg/kg-day)	RfD Ref	Ingestion RSL CancerRisk (mg/kg)	Ingestion RSL NonCancer (mg/kg)	Screening Level (mg/kg)
Aluminum	No	No	-		1	P	-	309	3.09E+02 nc
Antimony (metallic)	No	No	-		0	I	-	0	1.24E-01 nc
Arsenic, Inorganic	No	No	2	I	0	I	0	0	2.77E-02 ca
Barium	No	No	-		0	I	-	62	6.18E+01 nc
Beryllium and compounds	No	No	-		0	I	-	1	6.18E-01 nc
Cadmium (Diet)	No	No	-		0	I	-	0	3.09E-01 nc
Chromium	No	No	1	C	2	I	-	463	3.97E+02 nc
Cobalt	No	No	-		0	P	-	0	9.27E-02 nc
Copper	No	No	-		0	H	-	12	1.24E+01 nc
Iron	No	No	-		1	P	-	216	2.16E+02 nc
Manganese (Diet)	No	No	-		0	I	-	43	4.33E+01 nc
Mercury (elemental)	No	Yes	-		-		-	-	
Molybdenum	No	No	-		0	I	-	2	1.54E+00 nc
Nickel Soluble Salts	No	No	-		0	I	-	6	6.18E+00 nc
Selenium	No	No	-		0	I	-	2	1.54E+00 nc
Silver	No	No	-		0	I	-	2	1.54E+00 nc
Tin	No	No	-		1	H	-	185	1.85E+02 nc
Vanadium and Compounds	No	No	-		0	S	-	2	1.56E+00 nc
Zinc and Compounds	No	No	-		0	I	-	93	9.27E+01 nc

Key:
CSF - Carcinogenic Slope Factor
RfD - Reference Dose
ca - cancer
nc - noncancer
C - Cal EPA
H - HEAST
I - IRIS
X - APPENDIX PPRTV SCREEN
P - PPRTV

Table 4. Exposure Assumtions and Toxicity Targets for Calculation of RSLs

Variable	Input Value
AT (averaging time)	365
$BW_{res\text{-}a}$ (body weight) kg	80
ED_{res} (exposure duration) yr	26
$EF_{res\text{-}a}$ (exposure frequency) days/yr	350
THQ (target hazard quotient) unitless	0.2
$IRFI_{res\text{-}a}$ (fish consumption rate - adult) g/day	54
LT (lifetime) yr	70
TR (target cancer risk) unitless	0.00001

Table 5 Summary of Guidelines for Screening Fish Tissue Concentrations of Metals

	Tissue Guideline (mg/kg)							
	REGULATORY VALUES			RISK-BASED SCREENING VALUES				
Metal	ANVISA			RSL based on EPA IRIS		California EPA		Health Canada
	fish	shrimp	bivalves	value	basis	MADL	LeadSpread	
Aluminum				309	nc			
Antimony				0.12	nc			
Arsenic	1	1	1	0.028	ca			
Barium				62	nc			
Beryllium				0.62	nc			
Boron				62	nc			
Cadmium	0.05	0.5	2	0.31	nc			
Chromium				397	c and nc			
Cobalt				0.093	nc			
Copper				12	nc			
Iron				216	nc			
Lead*	0.3	0.5	1.5		nc	0.01	0.12	
Manganese				43	nc			
Mercury*	0.5	0.5	0.5		nc			0.2
Molybdenum				1.5	nc			
Nickel				6.2	nc			
Selenium				1.54	nc			
Silver				1.5	nc			
Tin				185	nc			
Uranium				0.93	nc			
Vanadium				1.6	nc			
Zinc				93	nc			

Values for USA EPA RSLs were calculated based on inputs described in Table XX
There is no RSL for lead. The values reported for California EPA reflect the MADL of 0.5ug/d from the Office of Environmental Health Hazard Assessment, and the intake level associated with an increase of blood lead level of 1 ug/dL,
ANVISA limits for mercury in fish are 0.5 for non-predatory fish, and 1.0 for predatory fish. Only the lower value is used here.
The chromium RSL is based on an assumed ratio of 1:6 Cr+6 to Cr+3
RSL basis: ca = cancer nc = noncancer

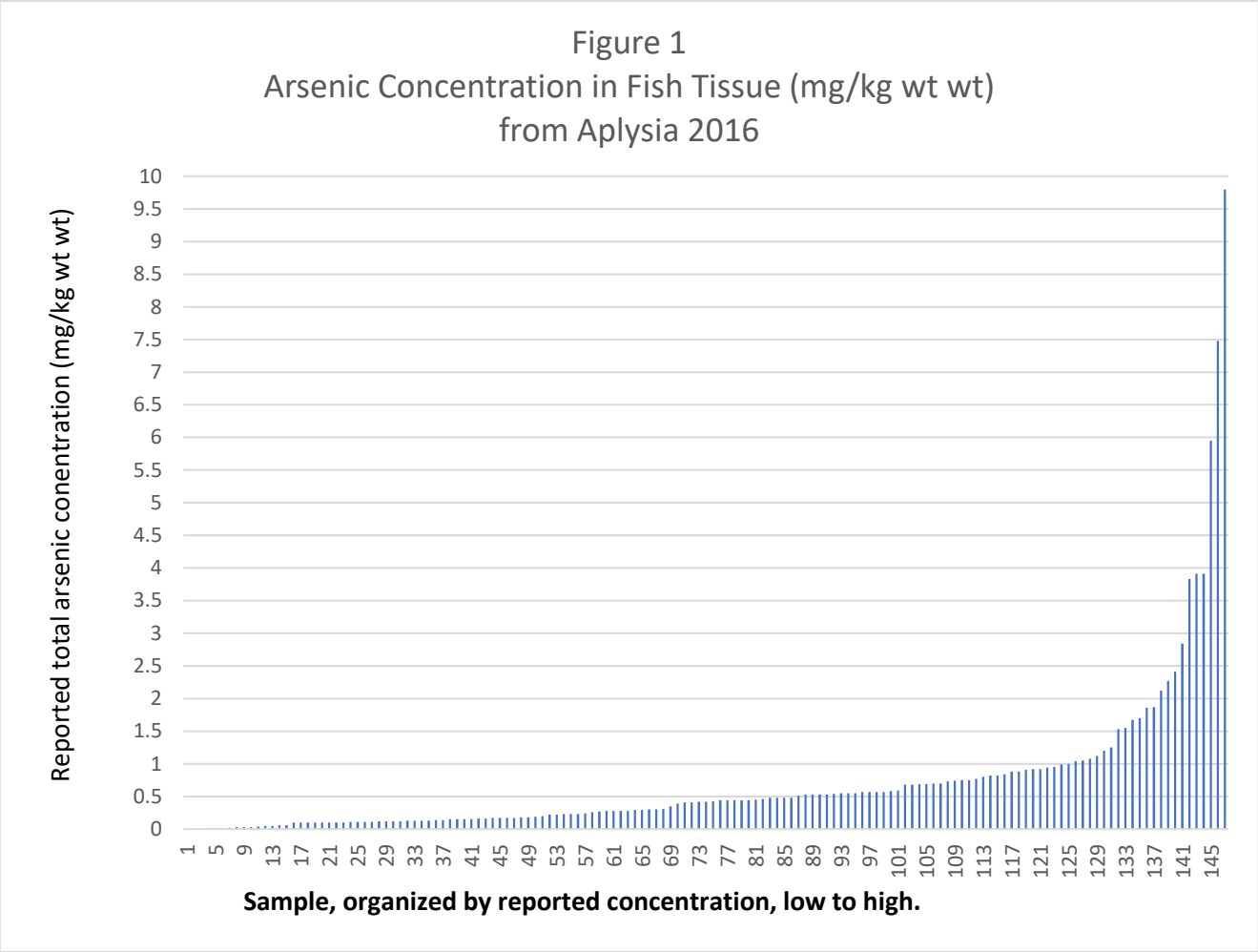
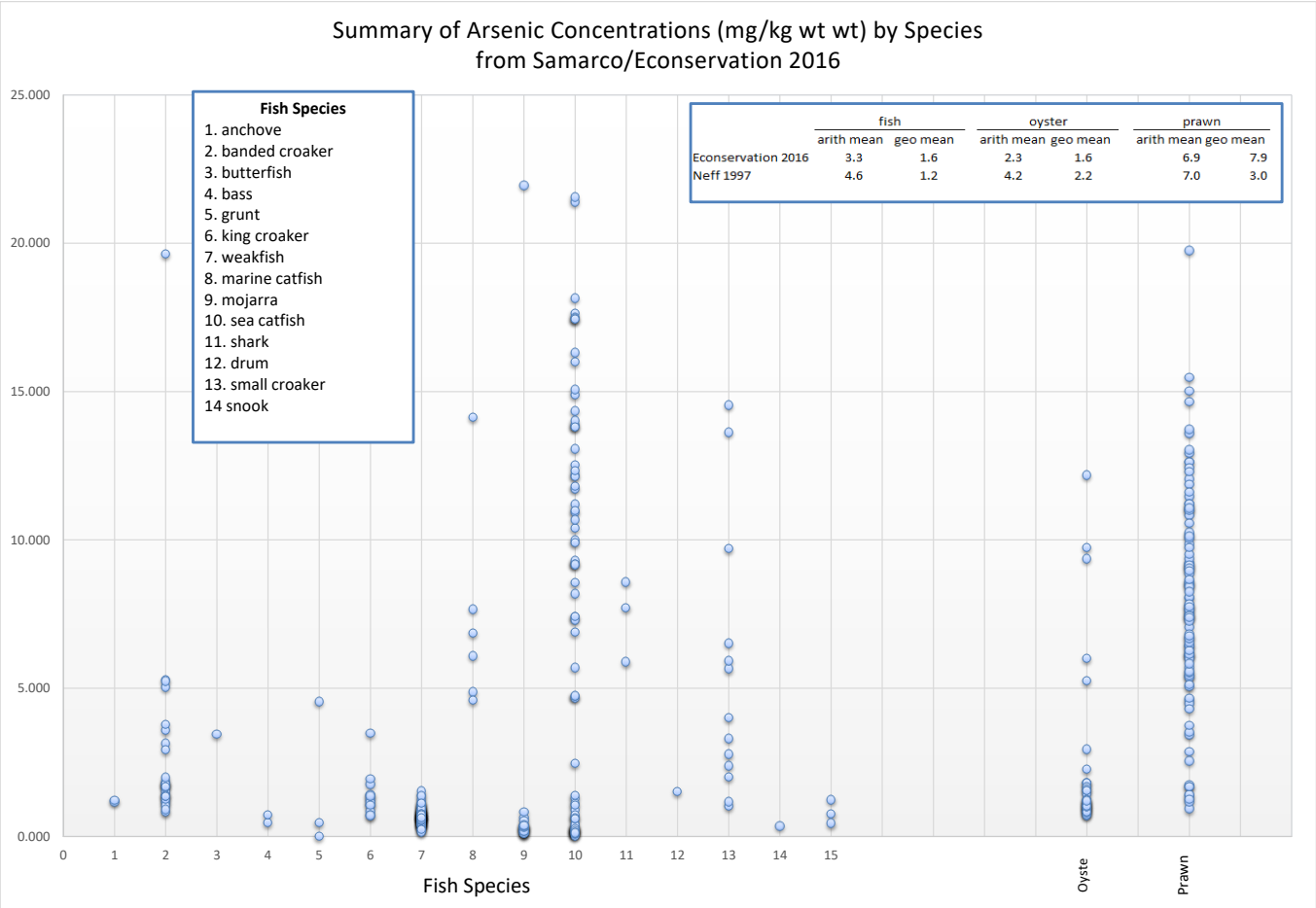


Figure 1
Arsenic Concentration in Fish Tissue (mg/kg wt wt)
from Aplysia 2016
Reported total arsenic conentration (mg/kg wt wt)
10
9.5
9
8.5
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
1 5 9 13 17 21 25 29 33 37 41 45 49 53 57 61 65 69 73 77 81 85 89 93 97 101 105 109 113 117 121 125 129 133 137 141 145
Sample, organized by reported concentration, low to high.


Summary of Arsenic Concentrations (mg/kg wt wt) by Species
from Samarco/Econservation 2016
Fish Species
1. anchove
2. banded croaker
3. butterfish
4. bass
5. grunt
6. king croaker
7. weakfish
8. marine catfish
9. mojarra
10. sea catfish
11. shark
12. drum
13. small croaker
14 snook
fish
oyster
prawn
arith mean geo mean arith mean geo mean arith mean geo mean
Econservation 2016 3.3 1.6 2.3 1.6 6.9 7.9
Neff 1997 4.6 1.2 4.2 2.2 7.0 3.0
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0.000
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Oyste
Prawn
Fish Species

Alloy LLC
All the right elements

Annex I

Final Quality Assurance Project Plan

State of Idaho, Department of Environmental Quality

Final Quality Assurance Project Plan

Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling

State of Idaho
Department of Environmental Quality

State Office/Waste Management and Remediation Division

Version 1

May 10, 2016

TRIM Record Number: 2016BFK1249

1 Title and Approval Page

Quality Assurance Project Plan

Title: Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling

Region/Division: State Office/Waste Management and Remediation Division

Version Number: 1

Date: May 10, 2016

Approval Signatures

Note: This QAPP becomes effective on the date of the last approval signature.

DEQ Program/Regional Manager

Signature: _____ 5/11/16
Name: Rob Hanson, Mine Waste Program Manager, State Office/Mine Waste — Date

DEQ Project Quality Assurance Officer

Signature: _____ 5-10-16
Name: Hawk Stone, Surface Water Specialist, State Office/Technical Services — Date

*Note: At the time of QAPP signature, the project QAO is required to update the DEQ QAO project document tracker, found at TRIM Record #2012AEB8.

DEQ Project Manager

Signature: _____ 5/10/2016
Name: Dana Swift, Mine Waste Project Coordinator, State Office/Mine Waste — Date

EPA Region 10 Remedial Project Manager

Signature: _____ 5/16/16
Name: Bill Adams — Date

EPA Region 10 Quality Assurance Manager

Signature: _____ 5/11/2016
Name: Donald M. Brown — Date

DEQ Field Project Manager

Signature: Kaysa Van de Riet 5/12/16
Name: Kaysa Van de Riet, Water Quality Analyst Date

Idaho Department of Fish and Game

Signature: 5/12/16
Name: Andy Dux, Coordinator Date

Idaho Department of Fish and Game

Signature: 5/12/2016
Name: Carson Watkins, Field Project Manager Date

Coeur d'Alene Tribe

Signature: 5·12·16
Name: Rebecca Stevens, Restoration Coordinator Date

Coeur d'Alene Tribe

Signature: 5-12-16
Name: Jon Firehammer, Field Project Manager Date

Idaho Fish Consumption Advisory Project

Signature: 5/11/16
Name: Jim Varney, Chairperson of IFCAP Date

2 Table of Contents

1 Title and Approval Page 3
Quality Assurance Project Plan 3
Approval Signatures 3
2 Table of Contents 5
3 Distribution List 8
4 Project/Task Organization 9
5 Problem Definition/Background 12
5.1 Problem Statement 12
5.2 Intended Usage of Data 13
6 Project/Task Description 13
6.1 General Overview of Project 13
6.2 Project Timetable 13
7 Quality Objectives and Criteria 14
7.1 Data Accuracy, Precision, and Measurement Sensitivity 20
7.2 Data Representativeness 21
7.3 Data Comparability 21
7.4 Data Completeness 22
8 Special Training/Certification 22
9 Documentation and Records 23
10 Sampling Process Design 23
10.1 Rationale for Selection of Sampling Stations 23
10.2 Sample Design Logistics 24
11 Sampling Methods 24
11.1 Large water electrofishing 24
11.2 Stream electrofishing 24
11.3 Large water gill netting 27
11.4 Midwater trawl netting 27
11.5 All Methods 27
12 Sample Handling and Custody 29
12.1 Project Sample ID 29
12.2 Sample Handling 31
12.3 Scribe Data Entry 32
12.4 Sample Transport 33
13 Analytical Methods 34
14 Quality Control 36

14.1 Field QC Checks 36
14.2 Laboratory Quality Control Checks 36
14.2.1 Laboratory Quality Control 36
14.3 Data Analysis Quality Control Checks 37
15 Instrument/Equipment Testing, Inspection, and Maintenance 37
16 Instrument/Equipment Calibration and Frequency 37
17 Inspection/Acceptance of Supplies and Consumables 38
18 Nondirect Measurements and Data Acquisition 38
19 Data Management 38
20 Assessment and Response Actions 38
21 Reports to Management 39
22 Data Review, Verification, and Validation 39
23 Review, Verification, and Validation Methods 40
24 Reconciliation with User Requirements 40
25 References 42

List of Tables

Table 1. Project QAPP and analytical data reports distribution list. 8
Table 2. Key project personnel and associated responsibilities. 10
Table 3. Project tasks with roles and responsibilities of participating entities. 12
Table 4. Sampling timeframes. 14
Table 5. Quality Assurance Steps 15
Table 6. Summary of CDA basin fish sampling design logistics. 25
Table 7. Analytes and laboratories. 29
Table 8. Analytical method, container types, preservation method, and sampling holding times. 35

List of Figures

Figure 1. Project organizational chart. 9
Figure 2. Map of sampling areas. 26
Figure 3. Diagram of gill net methodology. 27

List of Equations

Equation 1. Relative percent difference (RPD). 20
Equation 2. Relative standard deviation (RSD). 21
Equation 3. Conversion from wet weight to dry weight. 34
Equation 4. Conversion from wet weight to dry weight. 34

Appendices

Appendix A. Project Checklists

Appendix B. Fish Tissue Sampling Field Form and Cooler Contents Form

Appendix C. Laboratory Sample Preparation and Processing Procedures

3 Distribution List

At a minimum, the following personnel and analytical laboratory contacts will receive either an electronic or hard copy of the final signed quality assurance project plan (QAPP) (Table 1).

Table 1. Project QAPP and analytical data reports distribution list.

Name	Project Affiliation	Organization and Address/Location	Contact Number	Receives Analytical Data Reports?
Don Zaroban	DEQ Quality Manager	DEQ—Director's Office	(208) 373-0405	No
Rob Hanson	Program/Regional Manager	DEQ—State Office/Mine Waste	(208) 373-0290	No
Hawk Stone	Project Quality Assurance Officer	DEQ— State Office/Technical Services	(208) 373-0588	Yes
Dana Swift	Project Manager	DEQ—State Office/Mine Waste	(208) 373-0296	Yes
Bill Adams	Remedial Project Manager	EPA Region 10	(206) 553-2806	Yes
Jennifer Crawford	Regional Sample Control Coordinator	EPA Region 10 to Manchester Environmental Laboratory	(206) 553-6261	Yes
Kajsa Van de Riet	DEQ Field Project Manager	DEQ—CDA Regional Office Water Quality	(208) 769-1422	No
Andy Dux	IDFG Coordinator	Idaho Department of Fish and Game	(208) 769-1414	No
Carson Watkins	IDFG Field Project Manager	Idaho Department of Fish and Game	(208) 769-1414	No
Rebecca Stevens	CDA Tribe Coordinator	Coeur d'Alene Tribe	(208) 667-5772	Yes
Jon Firehammer	CDA Tribe Field Project Manager	Coeur d'Alene Tribe	(208) 686-7037	No
Jim Vannoy	Idaho Fish Consumption Advisory Project (IFCAP)	Idaho Department of Health and Welfare	(208) 334-4964	Yes
Andy Helkey	Institutional Controls Manager	Panhandle Health Department	(208) 783-0707	No

Note: Everyone on this list will receive an electronic copy of the final QAPP. As identified in the last column, select project personnel will receive electronic copies of the final data and reports from the EPA Region 10 Laboratory (Manchester Environmental Laboratory [MEL]) for further distribution amongst the project personnel as needed.

4 Project/Task Organization

This QAPP is a collaborative effort amongst multiple organizations with the goal of providing the Idaho Fish Consumption Advisory Project (IFCAP) and the Coeur d'Alene (CDA) Tribe with sufficient and quality data to follow the Fish Advisory Considerations Flow-Chart and Risk Assessment Procedure as presented within the IFCAP Protocol (IDHW 2013). Key project personnel and their responsibilities are defined in Table 2. An organizational chart is provided in Figure 1 and project tasks and responsibilities are provided in Table 3.

The details included within this QAPP were developed through communication and planning amongst the participating organizations. CDA Tribe, IDFG, and DEQ will be performing sample collection under this QAPP and laboratory analysis will be performed at the EPA Region 10 (R10) Laboratory (Manchester Environmental Laboratory [MEL]). DEQ is serving the role of organizing communication and compilation of information amongst all organizations to prepare and develop this QAPP; therefore, creation of this QAPP is being conducted under the DEQ *Quality Management Plan* (QMP) (DEQ 2012a) using DEQ's standard project QAPP template.

The overall goal of this QAPP is to develop common protocols for all field crews to follow. Budgets and schedules for this project are based on coordinating sample collection with other currently planned and ongoing projects in order to streamline sampling efforts.

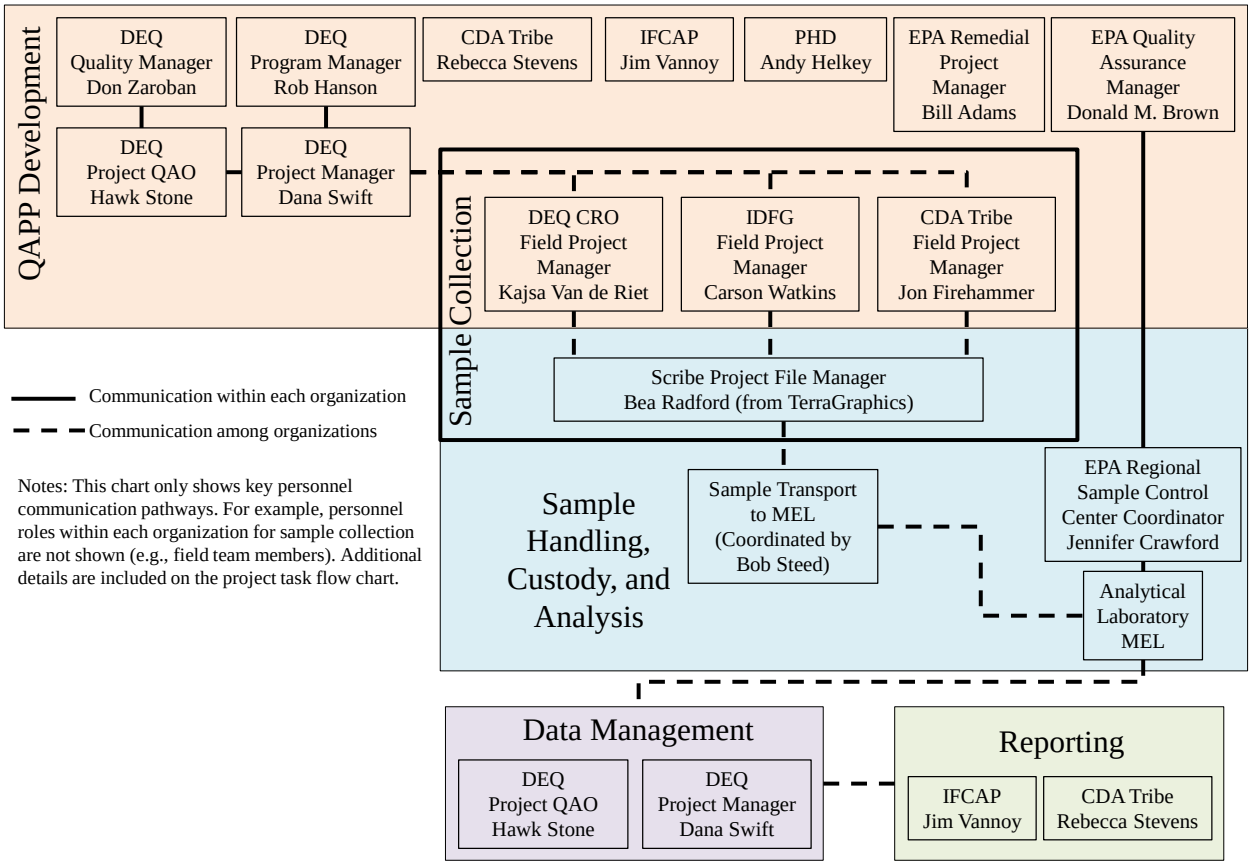


Figure 1. Project organizational chart.

Table 2. Key project personnel and associated responsibilities.

Name	Project Title/Responsibility
Rob Hanson	**DEQ Program/Regional Manager**: Note: The following description is *not all inclusive*; see section 1.2.7 of the DEQ QMP for a more detailed description. This person is the regional manager or State Office program manager for the project. Duties and responsibilities include: • Assists in the review of the QAPP and signs the final QAPP as an approver. • Confirms the project QAPP meets the needs of the program/region. • Ensures the QAPP is approved prior to the start of project work. • Ensures the program/regional procedures and policies referenced in the QAPP are current and approved for use. • Performs all duties and responsibilities as assigned in the project QAPP. • Selects and assigns a project quality assurance officer (QAO), who meets the criteria for independence defined in the DEQ QMP (see QAO duties below), and obtains approval for this selection from the DEQ quality manager.
Hawk Stone	**Project Quality Assurance Officer**: Note: The following description is *not all inclusive*; see section 1.2.5 of the DEQ QMP and the project QAPP for a more detailed description. Each project has an assigned QAO, whose duties and responsibilities include: • Assists in the review of the QAPP, verifies the QAPP meets the requirements of the DEQ QMP, and signs the QAPP as an approver. • *All assigned QAOs are required to contact the DEQ quality manager to discuss the project prior to signing any project QAPP for approval. When the project QAO signs the QAPP for approval, the QAO is required to update the DEQ QAO project document tracker found at TRIM record #2012AEB8.* • Documents all audit and data validation activities in the DEQ TRIM system, per the DEQ QMP and the approved QAPP. • In matters of project quality, this individual has a direct line of communication to the DEQ quality manager. • Must meet the following independence criteria: The QAO shall not be the project manager, program manager, or be otherwise assigned to the project data generation efforts. Neither the project manager nor the QAO may directly report to the other within the DEQ organizational structure, and both of these individuals may not be directly supervised by the same person. • Performs all other duties and responsibilities as assigned in the project QAPP. The duties and responsibilities of the project QAO also apply to any field sampling plan (FSP) generated under the project QAPP, unless an FSP-specific QAO is assigned and approved.
Dana Swift	**Project Manager**: Note: The following description is not all inclusive; see section 1.2.6 of the DEQ QMP and the project QAPP for a more detailed description. Each project has an assigned project manager, whose duties and responsibilities include: • Serves as the primary author of the project QAPP, and signs the final QAPP as an approver. • Coordinates with partner entities for preparation of the project QAPP. • Performs overall project planning, coordinating reporting functions and project report/summary development, and project file maintenance in TRIM. • Enters the approved and current project QAPP in the TRIM system, including a copy of the signed approval page. • Documents all audit and data review/verification activities in the DEQ TRIM system, per the DEQ QMP and approved QAPP. • Performs all other duties and responsibilities as assigned in the project QAPP.

Kajsa Van de Riet, DEQ
Carson Watkins, IDFG
Jon Firehammer, CDA Tribe
 	
Backup and Coordinators:
Bob Steed, DEQ Backup
Andy Dux, IDFG Coordinator
Rebecca Stevens, CDA Tribe Coordinator
	Field Project Managers:
	• Responsible for all aspects of field work for the areas assigned to them:
	  o DEQ: South Fork Coeur d'Alene River (Upper Basin)
	  o IDFG: Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)
	  o IDFG: Coeur d'Alene Lake (non-Tribal Waters)
	  o CDA Tribe: Coeur d'Alene Lake (Tribal Waters)
	  o IDFG: Spokane River
	• Performs field planning, sample planning and coordination, and laboratory coordination through the DEQ Project Manager and the Scribe Project File Manager.
	• Ensures all project work is conducted in accordance with the approved QAPP.
	• Ensures that personnel assigned to this project are appropriately trained and qualified.
	• Pack and transport samples from the field sites to the walk-in freezer(s) for temporary frozen storage. Following completion of all sampling, all fish samples will be transported to MEL by Bob Steed (DEQ) in a state-owned vehicle.

Jennifer Crawford	**USEPA Regional Sample Control Coordinator**: The USEPA Regional Sample Control Coordinator (RSCC) has responsibility for coordination with the DEQ Project Manager, Scribe Project File Manager, and the Region 10 (R10) USEPA Manchester laboratory (MEL) and QA review, including the following: • Review the QAPP for EPA Regional Quality Assurance Manager (RQAM) and associated revisions as necessary. • Work with the Field Project Manager and the Scribe Project File Manager on analytical laboratory requests, scheduling, and tracking and shipment of samples for EPA laboratory analysis. • Provides the R10 sample tracking numbers that are unique to the project and a unique R10 project code. • Schedule MEL and CLP analysis requests. • Work with the Project Managers and the laboratories to resolve issues related to sample analysis and laboratory data reporting. • Verifies Scribe deliverables are in compliance with the R10 Data Management Plan (DMP), Project Specific DMP (as applicable), and MEL requirements.
Bea Radford, TerraGraphics	**Scribe Project File Manager:** The Scribe Project File Manager has responsibility for entering station, sample information, and field data into USEPA's Scribe software in accordance with the R10 DMP, project specific DMP, and QAPP requirements. Responsibilities include the following: • Prepare sample labels and chain-of-custody (COC) from data entered into Scribe. • Coordinate Scribe logistics with USEPA R10 RSCC Coordinator. • Confirm the delivery of samples. • Custodian of official Scribe Project File. • Import final MEL data back into Scribe
Gerald Dodo, EPA R10 Laboratory	Serves as the main contact between the laboratory and project personnel. Coordinates with lab team leaders on sample analysis, data review and reporting, Oversees laboratory responsibility to conduct analyses in accordance with their QA Manual, the NELAC Institute (TNI) Accreditation Requirements, and the criteria in this QAPP. Authorizes acceptance of samples into MEL and the release of final reviewed data.

Table 3. Project tasks with roles and responsibilities of participating entities.

Project Tasks	Responsible Party
QAPP Development	*Lead:* DEQ (Dana Swift) *Signatories:* CDA Tribe, EPA, IDFG, DEQ, IFCAP *Support:* PHD
Field Work Kickoff Meeting/Conference Call(s)	*Leads:* DEQ (Dana Swift) and Field Project Managers Participants will include members of the field crews.
Sample Collection: • Sample collection • Sample transport to storage freezer • Field data recording and review • Submit copies of field data to Dana Swift	Area responsibilities defined in Tables 4 and 6. *Lead:* IDFG (Carson Watkins) *Lead:* CDA Tribe (Jon Firehammer) *Lead:* DEQ (Kajsa Van de Riet)
Scribe/EPA R10 Lab (MEL) coordination through EPA RSCC	*Lead:* Terra Graphics (Bea Radford)
Sample Transport to EPA R10	*Lead:* DEQ (Bob Steed)
Sample Analysis at EPA R10 Laboratory QA/QC (Equiv. to Stage 4 data validation- S4VM, EPA 2009)	*Lead:* EPA (Gerald Dodo)
Review of total arsenic analytical data to determine need for inorganic arsenic analysis	*Leads:* EPA (Jennifer Crawford), DEQ (Dana Swift), and IFCAP (Jim Vannoy) in coordination with CDA Tribe (Rebecca Stevens)
Data Management • Receive field data • Receive validated analytical data packages from EPA/MEL • Data verification and validation (use forms in Appendix A) • Submit data to IFCAP and CDA Tribe (with copies to EPA, IDFG, PHD)	*Lead:* DEQ (Dana Swift) *Support*: DEQ (Hawk Stone)
Final Report • Data analysis and decision-making following the Fish Advisory Considerations Flow-Chart and Risk Assessment Procedure presented within the IFCAP Protocol (IDHW 2013)	*Lead:* IFCAP (Jim Vannoy) in coordination with CDA Tribe (Rebecca Stevens) *Support:* IFCAP participants

5 Problem Definition/Background

This section describes what will be accomplished and why the project will be done, through discussion of the specific problem to be solved, project background, decisions to be made, and the outcomes to be achieved.

5.1 Problem Statement

The selected remedy identified in the Bunker Hill Mining and Metallurgical Superfund Site, Operable Unit 3 (OU3) Record of Decision (EPA 2002a) includes educational resources and health advisories to manage the potential for metals exposure through consumption of fish. The selected indicator metals for fish consumption are cadmium, lead, mercury. Although not identified in the OU3 ROD as an indicator metal, arsenic will also be analyzed for the fish consumption evaluation in two steps: 1) analysis of all samples for total arsenic and 2) analysis of select samples for inorganic arsenic. The decision process to select samples to be analyzed for inorganic arsenic is described in Table 5. While not the focus of this QAPP, zinc will also be analyzed to establish the fish body burden. Zinc will not be included as part of the human health

fish consumption evaluation, rather zinc data may be used to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality.

Past investigations in the mid-1990s led Idaho Department of Health and Welfare (IDHW) and the Coeur d'Alene Tribe to issue a health advisory (EPA 2002b, EPA 2003, ATSDR 2003) and recommend fish consumption guidelines for Coeur d'Alene Lake, most recently published in the Idaho Fish Consumption Guide (IDHW 2008). There is also a statewide advisory for bass consumption based on mercury concentrations (IDHW 2008).There are no specific fish consumption advisories for the Coeur d'Alene River, chain lakes, South Fork Coeur d'Alene River, or Spokane River (within Idaho) and fish tissues in these areas have not been fully sampled and evaluated. Because fish tissue metals concentration data for Coeur d'Alene Lake are more than 13-years old and because species like northern pike are not included in the Coeur d'Alene Lake advisory, there is a need to collect more comprehensive and current data in the Coeur d'Alene River, chain lakes, South Fork Coeur d'Alene River, and Spokane River.

5.2 Intended Usage of Data

Health advisories for fish consumption in Idaho are issued by the IDHW through the IFCAP (IDHW 2013). Since this basin is under shared management and ownership of the water and the fish that live in the water, the Coeur d'Alene Tribe will coordinate with IFCAP to develop advisories if needed. The goal of the IFCAP and Tribe is to protect the public from adverse health risks associated with consuming contaminated fish from Idaho and Tribal waters.

For the Bunker Hill Superfund Site, the intended usage of the cadmium, lead, mercury, and arsenic data is to fulfill the OU3 ROD requirements stated in Section 5.1 of this QAPP; whereas, the intended usage of the zinc data is to provide a one-time, baseline data set that can be used to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality.

6 Project/Task Description

This section describes (in general terms) how, when, and where the project will be implemented through a summary of how the work will be performed, what data are to be obtained, where the data gathering activities will occur, and the related projected schedule.

6.1 General Overview of Project

This project follows the fish advisory guidelines from the USEPA (EPA 2000a) with additional decision-making rules to maximize the limited resources of Idaho's health and environmental agencies. The IFCAP Protocol describes how the project is implemented including selection of stations, species, and sampling techniques (IDHW 2013).

6.2 Project Timetable

This section describes the projected schedule for the major project activities, such as field sampling, data review, and report generation. The following is a list of project tasks with estimated completion dates:

- **Sample collection** will occur between April and August 2016 with approximate timeframes for each area listed in the Table 4. Cost savings measures were used to coordinate collection of samples under this QAPP during planned field activities (for other programs) to be conducted by the participating field staff. Idaho Department of Fish and Game (IDFG) had an opportunity to begin collection of samples during the QAPP review process and prior to signature of this QAPP. Communication between DEQ and EPA identified that sample collection could begin; therefore, samples collected prior to QAPP signature will be included as part of the data set generated under this QAPP.

- **Sample delivery** of the collected fish from frozen field storage to EPA R10 MEL will take place in mid-June and mid-August to allow adequate time for processing and analysis within technical holding times. The R10 lab requests that all samples arrive within 2 months of collection. The mid-August delivery is projected for the week of August 15-19.

- **Sample analysis** will occur following receipt of samples at MEL and is estimated to be completed by January 2017.

- **Data management** including Scribe.net will occur following receipt of field data and analytical data packages and is estimated to be completed by February 2017.

- **Final reporting** will be performed by IFCAP in coordination with CDA Tribe and is estimated to occur from February 2017 to February 2018.

Table 4. Sampling timeframes.

Area	Sampling Agency	Approximate Sampling Timeframe
South Fork Coeur d'Alene River (Upper Basin)	DEQ (CDA Regional Office)	June-Aug 2016
Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	IDFG	April, May or June 2016
Coeur d'Alene Lake (Northern and Central Lake)	IDFG	Late May or June 2016 (all except Kokanee) August 2016 (Kokanee)
Coeur d'Alene Lake (Southern Lake)	CDA Tribe	June 2016
Spokane River	IDFG	June or early July 2016

7 Quality Objectives and Criteria

This section of the project QAPP defines the project data quality objectives (DQOs) to support the qualitative or quantitative design of the data collection effort. The DQOs listed in Table 5 follow the DQO process stated in USEPA QA/G-4 (EPA 2000b, EPA 2006c).

Table 5. Quality Assurance Steps

Step 1: State the Problem	**Background and Problem Statement** (see Section 5 of the QAPP for additional details and references) The selected remedy identified in the Bunker Hill Superfund Site OU3 ROD includes educational resources and health advisories to manage the potential for metals exposure through consumption of fish. In the past, a health advisory was completed for Coeur d'Alene Lake and fish consumption guidelines are published in the Idaho Fish Consumption Guide. However, there are no specific fish consumption advisories for the Coeur d'Alene River, chain lakes, South Fork Coeur d'Alene River, or Spokane River and fish tissues in these areas have not been fully sampled and evaluated. Also, there is a need to collect more comprehensive and current data for Coeur d'Alene Lake because fish tissue metals concentration data are more than 13-years old and species like northern pike are not addressed by the existing advisory. Health advisories for fish consumption in Idaho are issued by the IDHW through the IFCAP. Since the CDA Basin has a shared management and ownership of the water and the fish that live in the water, the Tribe will coordinate with IFCAP to develop advisories if needed. The goal of IFCAP and the Tribe is to protect the public from adverse health risks associated with consuming contaminated fish from Idaho and Tribal waters. **Planning Team Members** Members of the planning team are shown in Figure 1 of the QAPP. **Resources and Relevant Deadlines** Sampling will be performed by the field crews identified in Figure 1 of the QAPP. Sampling is planned for the timeframes shown in Table 4 of the QAPP.
Step 2: Identify the Decision	**Study Question:** Determine the need for fish consumption health advisories for the Coeur d'Alene Basin areas and target species/groups presented in Table 6 of the QAPP.
Step 3: Identify Inputs to the Decision	**Required Information** (determined using the IFCAP protocol [IDHW 2013]) • Fish species selection- Target species/groups are identified in Table 6 of the QAPP. • Fish size requirement- Eligible fish must be of legal harvest size limits (as outlined by IDFG regulations for specific species). • Sampling timeframe- For metals analysis in fish tissue, sample collection can be performed at any time of year (not limited to when lipids are highest). • Sample locations- Representative locations are identified in Table 6 of the QAPP. • Sample number requirement- IFCAP determined that 10 fish per target species, per sampling location, is needed to reach approximately 90% confidence that an advisory will be correctly issued based upon the mean tissue analyte results. If 10 fish within the legal size limits cannot be harvested for a species, IFCAP will perform their calculations using the number of fish harvested and note the number is less than 10 in the report. • Fish sampling techniques and field protocols- As stated in Section 11 of the QAPP. • Tissue preparation- Singular fish will be analyzed; no compositing will be performed. Fish fillets (no skin, no belly flap) will be analyzed for all species except kokanee. Kokanee are known to be canned and eaten whole; therefore, they will be gutted, de-headed, de-tailed (also removing fins), and the remaining body carcasses analyzed. Specific details and procedures for lab sample preparation and processing are included in Appendix C. • Target analytes and laboratory requirements- As identified in the OU3 ROD, analytes will include cadmium, lead, and mercury. Although not identified in the OU3 ROD as an indicator metal, arsenic will be analyzed in two steps: 1) analysis of all samples for total arsenic and 2) analysis of a subset of 30 samples for inorganic arsenic. Selection of 30 samples for inorganic arsenic will include any samples with total arsenic detected above a screening value of 0.26 ppm. If less than 30 samples exceed the screening

	value, then the 30 samples with the highest total arsenic concentrations will be analyzed for inorganic arsenic to provide a dataset to support the health protective nature of this screening method. If more than 30 samples exceed the screening value, IDHW recommends that, when possible, all individual samples that exceed the screening value of 0.26 ppm total arsenic be analyzed for inorganic arsenic. Further, IDHW recommends that if the mean total arsenic level for a study group (e.g., Brook trout sampled from the South Fork Coeur d'Alene River) exceeds the screening value of 0.26 ppm, then all samples in that group must be analyzed for inorganic arsenic content to ensure that any consumption advisories based upon that data are adequately informed and defensible. Based on the projected laboratory capacity at MEL, the lab has requested a maximum of 30 samples be analyzed for inorganic arsenic. If there is a need to exceed this lab capacity, then IFCAP, the CDA Tribe, DEQ, and EPA will meet to determine a path forward. Analysis of zinc will be performed to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality and will not be used as part of the human health fish consumption evaluation. Analytical methods and requirements are shown in Table 8 of the QAPP.
Step 4 Define the Boundaries of the Study	**Population of Interest:** Target species/groups of fish identified in Table 6 of this QAPP. **Spatial Boundaries:** Areas within the Coeur d'Alene Basin/Bunker Hill Superfund Site that are presented in Table 6 of this QAPP. **Temporal Boundaries:** Sampling timeframes identified in Table 4 of the QAPP. **Potential Practical Constraints that may Interfere with Study** • Lack of fish of the target species and legal harvest size • Scheduling and logistics • Equipment malfunction or loss • Adverse weather • Difficult physical access
Step 5 Develop a Decision Rule	**Decision Statement:** IFCAP would consider issuing an advisory based on the geometric mean fish tissue concentration for the following metals concentrations in fish tissue: • Cadmium[1] – 4.0 ppm • Mercury[1] – 0.4 ppm • Lead – if lead is detected above the method reporting limit (MRL) of 0.063 ppm, then the data will be evaluated using the Integrated Exposure Uptake Biokinetic [IEUBK] model) • Inorganic Arsenic[1] – 1.2 ppm (for chronic exposure) and 0.026 ppm (for cancer screening) 1: Based upon EPA recommended screening values for target analytes-recreational fishers (EPA 2000a). Zinc data will not be included as part of the human health fish consumption evaluation. No decision rule has been developed for zinc.
Step 6 Specify Tolerable Limits on Decision Error	Sources of error in the data set could result from: • Natural variability associated with each fish species, including but not limited to, size, age, habitat, feeding locations, etc…; however, the sampling number requirement defined in the IFCAP protocol is designed to consider this variability. • Variability in laboratory sample preparation and measurement error, which will be assessed using laboratory QA methods. • Sample representativeness limitations due to small analytical/digestion mass (0.2-0.25 g dry weight) subsampled from the processed sample, which will be assessed using laboratory and matrix spike duplicates. During data management, interpretation, and reporting, any data identified as an outlier will be evaluated for possible sources of error prior to use.

Step 7 Optimize the Design for Obtaining Data	• When possible, sampling has been planned concurrent with other fish sampling (outside of the Bunker Hill program) to maximize efficient use of cross-organization resources and budgets. • Data collection under this QAPP is a one-time event for identified areas and species. • Sampling areas (identified in Table 6 of the QAPP) are selected to be geographically representative of large water bodies, similar to locations sampled for the past CDA Lake health advisory, and include high use fishery areas with species that are exposed to contaminants. • Target fish species or species groups (identified in Table 6 of the QAPP) were selected to represent fish species present in each water body, fish harvested for consumption, fish life histories, and known data gaps. Fish species of similar life history were grouped together. Target species are abundant enough to provide a fishery and provide adequate samples for chemical analysis. These species are consumed in the area by recreational or subsistence anglers. Species selected are those exposed to contaminants and likely to pose health risks for human consumers. • Since analysis of inorganic arsenic is labor intensive and expensive, a two-step process has been identified (see Step 3).

DQOs are also used to assess the adequacy of the data (new or existing/secondary) in relation to their intended use. Data quality indicators (DQIs) are used to describe, in part, the specific measurement elements to be used when evaluating data in support of the project DQOs. Project staff can find additional information and guidance concerning the DQO process and DQI selection and definition in the following reference materials:

- EPA *Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process* (EPA 2006c)
- EPA *Guidance for Quality Assurance Project Plans* (EPA 2002c)
- EPA *Requirements for Quality Assurance Project Plans* (EPA 2001).
- EPA *Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation* (EPA 2002d)

The objective of quality assurance and quality control (QA/QC) is to ensure that the sample results are representative of the target population. Field QA/QC will consist of all organizations following standard protocols for sample preparation as presented in this QAPP and developed in accordance with the IFCAP protocol. IFCAP determined that 10 fish per target species, per sampling location is needed to reach approximately 90% confidence that an advisory will be correctly issued (IDHW 2013). Collection of fish to represent field duplicates will not be conducted. Upon collection, the fish samples will be wrapped separately in foil and frozen for shipping to the laboratory. The laboratory will prepare and analyze the fish samples. Duplicate samples will be analyzed in the laboratory to determine laboratory precision.

The concept of *analytical data support* is generally described as having five levels, where Level I is considered minimal QA/QC control/documentation, and Level V is considered the highest available QA/QC control/documentation (see the DEQ QMP 2012a for more details and descriptions for Levels I to V).

The five levels of analytical support (Levels I and II, field analytical methods, and Levels III through V, laboratory analytical methods) are described below in general terms.

Level I: This refers to field screening or analyses using portable instruments, and results are commonly not compound-specific or quantitative. Generally, Level I data are related to activities such as locating sample collection points for laboratory analysis and are associated with instruments such as photoionization detectors (PIDs).

- **Generally associated verification/validation stage:** Level I may be associated, depending on data user requirements, with "Stage 1" verification and validation checks as described in Appendix A, Section 1.1, of EPA's *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

Level II: This refers to field analyses using more sophisticated portable analytical instruments or mobile laboratories onsite. Data generated can range from qualitative to quantitative (e.g., actual contaminant identification is made, but concentrations may or may not be quantified to a high degree of accuracy). Note that this data may or may not be acceptable for compliance purposes. Restrictions or limitations on the use of such data, if applicable, are stated below. Many types of field equipment—such as a mercury vapor analyzers and/or an X-ray fluorescence (XRF) units—generate data that may (or may not) qualify as Level II data.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level II may be associated, depending on data user requirements, with "Stage 1" or "Stage 2A" verification and validation checks as described in Appendix A, Sections 1.1 and 1.2, respectively, of EPA's *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

Level III: This level refers to standard EPA-approved methods that may be equivalent to Level IV methods (see below), with the exception that the level of documentation supplied with analytical results is frequently less robust.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level III may be associated, depending on data user requirements, with "Stage 2A" or "Stage 2B" verification and validation checks as described in Appendix A, Sections 1.2 and 1.3, respectively, of EPA's *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

Level IV: This refers to EPA Contract Lab Program (CLP) Routine Analytical Services (RAS) analyses, or EPA approved methods (Level III), with the exception that additional rigorous QA/QC protocols are employed and full documentation is provided by the laboratory to the project. For this project, the full data project is not provided by MEL; however, the package is stored at MEL and can be accessed through the Federal Records Center in accordance with laboratory standard operating procedures (SOPs). Documentation allows validation of results against specific contractual requirements and allows for detailed data use, restriction, and/or limitations to be identified prior to use of data. Requirements or limitations for a Level IV analysis and full validation of the analytical data, if necessary, are specified below. EPA R10 lab data packages are considered to be equivalent to a Level IV.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level IV may be associated, depending on data user requirements, with "Stage 4" verification and validation checks as described in Appendix A, Section 1.5, of EPA's *Guidance for labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009). The EPA R10 lab data review and internal verification/validation is considered to be equivalent to a Stage 4 (S4VM) and is indicated as such in the final electronic data deliverable (EDD).

Level V: This refers to nonstandard methods that are considered to be more rigorous than Level IV methods. This analytical data level is very seldom used and must be accompanied by significant evidence substantiating the validity of the nonstandard methods employed. Level V is generally used when extremely accurate/precise measurements and quality documentation, far beyond standard EPA methods, are deemed necessary for site-specific contaminant identifications and quantitation.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level V may be associated, at a minimum, with the "Stage 4" verification and validation checks as described in Appendix A, Section 1.5, of EPA's *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

Field screening data, which will include location, date, time, and measuring the length of sampled fish, are at data quality Level I (field parameter/screening level data). These data will be recorded by each organization on the field form provided in Appendix B.

Laboratory analytical data (i.e., data from samples submitted to a laboratory for analysis) are at data quality Level IV with samples analyzed at MEL. Data verification and validation of the analytical results will also be conducted by EPA and will be included in the transmitted analytical data package.

7.1 Data Accuracy, Precision, and Measurement Sensitivity

Accuracy is a measure of the agreement between a "true" or reference value and the associated measured value. For matrices other than water, accuracy is usually determined from the analysis of a standard or certified reference materials (SRM or CRM), as digestion of the sample matrix is often a critical step in overall analyte recovery. These reference materials are samples of a matrix (e.g., tissue) similar to that being analyzed and of a known or, through round-robin analysis, an agreed upon true concentration. Information and details supporting the spike recovery accuracy of the SRM will be provided by EPA and MEL. The SRM acceptance criteria for total metals and arsenic speciation is ±30% and for mercury is ±25%.

While a SRM provides a check on loss of analyte through laboratory sample preparation, it cannot measure loss or gain in analyte that may occur elsewhere in the sample handling chain. For this reason, overall method accuracy cannot be measured in this study. The laboratory will employ SRM digests to assess recovery of analytes in the laboratory. Equipment rinsate blanks will be used by the laboratory to check on the possible contamination of samples (analyte gain) during processing, freeze drying, and homogenization.

Precision is a measure of agreement between two or more measurements of the same property under prescribed conditions. Sampling campaigns may include duplicate samples (lab duplicates, or matrix spike duplicates—see Section 14) or may rely on LCS duplicate sample results. The relative percent difference (RPD) of duplicate samples will be used to assess laboratory data precision. For laboratory duplicates, LCS Duplicates, and matrix spike duplicates, Equation 1 will be used to calculate RPD:

$$RPD = \frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 + C_2)/2} \times 100\%$$

Equation 1. Relative percent difference (RPD).

Where: C_1 = concentration in first sample
C_2 = concentration in the second/duplicate sample
Where both C_1 and C_2 > 5 times the laboratory method detection limit (MDL)
Where one or both C_1 and C_2 are < 5 times the MDL, the results will be considered within control limits where C_1 and C_2 are ± MDL.

The relative standard deviation (RSD) of multiple samples will be used to assess field data precision. For field duplicates, Equation 2 will be used to calculate RSD:

$$RSD = \frac{\sigma}{|\mu|} \times 100\%$$

Equation 2. Relative standard deviation (RSD).

Where: σ = standard deviation of a frequency distribution of fish species from a sampling location.

μ = mean value of the same frequency distribution of fish species from the same sampling location

Where both σ and μ > 5 times the laboratory method detection limit (MDL)

Where one or both σ and μ are < 5 times the MDL, the results will be considered within control limits where σ and μ are ± MDL.

Laboratory precision will be based on LCS, with an RPD goal of ±25% (J flag).

Field precision will be based on the frequency distribution for each fish species/group from each specific sampling location, with an initial RSD goal of 35%. Field RSD greater than 35% will be brought to the attention the project manager and the QAO shall immediately report such findings to the appropriate program manager to determine and document the necessary corrective actions.

Appropriate **measurement sensitivity** is determined by considering results for making decisions that are equal to or exceed the minimum laboratory reporting levels (Method Reporting Limits [MRLs]) found in Table 8. There is no upper limit for the measurement range.

7.2 Data Representativeness

Representativeness is the degree to which the fish tissue sample data accurately and precisely represent water body conditions. The representativeness criterion is best satisfied by confirming that sampling locations are geographically representative, sample collection procedures are appropriate and consistently followed, a sufficient number of samples are collected, and analytical results meet data quality objectives. In addition, the potential limitations associated with sample representativeness due to small digestion mass (0.2-0.25g) should be taken into consideration. Also, the potential for more variability in whole body available mass for Kokanee should be evaluated with more frequent lab duplicates from the processed material (i.e., 2 duplicate per analytical batch [10%], rather than 1 duplicate [5%]). All sampling procedures will follow the standard fish collection procedures. Representativeness is evaluated during data review, verification, validation, and reconciliation efforts by comparing the combination of data accuracy, precision, measurement range, and methods and assessing other potential sources of bias, including sample holding times, reported results of blank samples, and laboratory QA review.

7.3 Data Comparability

Comparability is the confidence with which one data set can be compared to another data set. Using standard sampling and analytical procedures will maximize comparability. To ensure data comparability, sample collection procedures will be consistently followed (e.g., following one of the sample collection procedures identified in this QAPP), the same analytical procedures will be

used, all fish will be processed with the procedures outlined in this QAPP or appendices, and the same laboratory will be used to analyze the samples throughout each project.

7.4 Data Completeness

Completeness is the percentage of valid data relative to the total possible data points. For data to be considered valid, it must meet all of the acceptance criteria, including accuracy and precision, and any other criteria specified by the analytical method used. The overall data quality objective for completeness for the sampling events conducted under this QAPP is 80%. If the sampling event does not meet the quality assurance goal of 80%, the data will be discussed with the program manager and a course of action agreed upon. Any required departure from this goal will be justified and explained in the project records in accordance with the QMP.

Since laboratory analysis requires only a fraction of the tissue collected, the remaining freeze dried tissue will be archived for a maximum of 6 months or until approval for disposal is approved by the EPA RPM in the event repeat analysis is needed. With this safeguard, we expect to get analytical results for all samples collected. Due to the large number of samples and space required to store the whole fish, if necessary the lab may dispose of the remaining carcass after filleting as long as the freeze dried aliquot is sufficient to reanalyze a sample if needed.

8 Special Training/Certification

All specialized or nonroutine training, qualifications, or certifications necessary for project and/or laboratory staff is listed below.

Electrofishing training.

Boat operation and safety training.

Possession of IDFG/NOAA scientific collection permit.

The field project managers are responsible for ensuring that all personnel within their organization assigned to this project are appropriately trained and qualified.

Because this project includes multiple organizations performing field work, several field crews will be employed. To maintain consistency among the crews, the field project managers are responsible to ensure all project work is conducted in accordance with standard fish collection procedures.

All work performed by DEQ personnel will be conducted in accordance with the *Idaho General Safety and Health Standards* (Division of Building Safety 2006). In addition to this safety standard, field participants shall be familiar with boating safety, and ideally will have attended training seminars and field exercises. Electro-fishing is a hazardous activity, and all participants shall be fully briefed on proper procedure. It is recommended that all organizations performing field work under this QAPP follow similar safety standards and develop their own health and safety plan.

9 Documentation and Records

Responsibilities for collection and transmittal of documents and records for each organization are stated in the project tasks table (Table 3). To ensure IFCAP receives all information necessary for preparation of the final report, each organization is asked to submit documentation and records to DEQ for data management.

DEQ project documents will be filed electronically in TRIM in accordance with applicable program filing procedures. The project manager is responsible for ensuring that a copy of the current approved (and signed) project QAPP is available in the DEQ TRIM electronic records management system. A copy of the signed signature page for the project QAPP and FSP (if used) is to be filed in the TRIM system by the project manager. Preferably, the approved document, including the signed signature page, is attached to the TRIM record in PDF format.

Field personnel will document each day's activities. Information should be recorded as follows:

- Project data should be recorded directly, promptly, and legibly.
- Field logbook or field sheet entries should be legible and signed/initialed and dated by the person making the entry.
- Changes or corrections to field logbook notes and/or data should be indicated with a single line through the original entry. Changes should be initialed, dated, and explained.

All documentation necessary to support the objectives of the project and the validity of project data—chain-of-custody forms, laboratory reports, field notes, field logbooks, etc.—shall be supplied to the DEQ project manager and be entered into the project TRIM system files. All DEQ project documentation and records shall be retained in the TRIM system in accordance with the current approved DEQ records retention schedule (TRIM record #2010AIC3).

10 Sampling Process Design

This section describes the project data collection activities, assumptions, sampling station selection, general descriptions of the number of samples to be taken, the number of sampling locations, and any other relevant project-specific information.

10.1 Rationale for Selection of Sampling Stations

Sampling will follow the IFCAP Protocol (IDHW 2013). Fish sampling will be conducted throughout the Bunker Hill Site based on the presence of contaminants in the water bodies, frequency of fishing activities, amount of fish for consumption, public interest, and the needs of the Selected Remedy. The geographic area defined for this QAPP is easily divided into four areas: 1) South Fork Coeur d'Alene River (Upper Basin), 2) Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin), 3) Coeur d'Alene Lake, and 4) Spokane River (see Section 10.2 for sampling location details). All of these areas have known contaminants present and have fisheries needing investigation for protection of human health.

10.2 Sample Design Logistics

Fish sampling will rely on multiple locations that geographically represent large water bodies, similar to locations sampled for the past CDA Lake health advisory (EPA 2002b, EPA 2003, ATSDR 2003), and include high use fishery areas with species that are exposed to contaminants (Table 6). The areas identified in Table 6 are shown in Figure 2.

Target fish species or species groups have been selected based on fish species present in each water body, fish harvested for consumption, fish life histories, and known data gaps. Fish species of similar life history were grouped together. Target species are abundant enough to provide a fishery and provide adequate samples for chemical analysis. These species are consumed in the area by recreational or subsistence anglers. Species selected are those exposed to contaminants and likely to pose health risks for human consumers. Samples will be adult fish representative of those likely to be harvested for consumption. The IFCAP protocol recommends 10 fish per target species or group to reach an approximately 90% confidence that an advisory will be correctly issued. Therefore, 10 fish per target species or group will be collected.

Sampled fish will be identified, measured, and labeled and will be handled as detailed in Section 11. The EPA R10 laboratory will prepare, process, and analyze the fish samples.

11 Sampling Methods

This section describes the procedures used to obtain project samples, lists the equipment necessary to perform the sampling activities, and describes the actions to be taken if problems arise in the field. The field project manager will select sampling methods appropriate for waters being sampled.

11.1 Large water electrofishing

A boat-mounted electrofisher will be used to collect fish near the shoreline. This is the preferred method of capture, as it involves minimal handling of fish. It is not effective in deep water, or for larger fish. Fish will be kept in a live well until they can be killed and then wrapped in foil (dull side towards fish) and frozen. Fish will be killed using percussion over the head. All sample containers will be protected in an ice chest that will be kept closed. In the event these methods do not provide the desired quantities or species or are impractical, hook and line fishing may be used.

11.2 Stream electrofishing

A backpack electrofisher will be used to collect fish in wadeable streams. This is the preferred method for fish collection from wadeable streams in the upper basin. Standard backpack electrofishing techniques shall be employed, without block nets. Fish will be kept alive in a bucket(s) until they can be killed, then wrapped in foil (dull side towards fish) and frozen. Fish will be killed using percussion over the head. All sampling equipment will be cleaned prior to collection. In the event these methods do not provide the desired quantities or species or are impractical, hook and line fishing may be used.

Table 6. Summary of CDA basin fish sampling design logistics.

Area	Sampling Locations [1]	Target Species/Groups	Estimated Range of Fish Size (mm / inches)	Number of Samples	Sampling Agency
South Fork Coeur d'Alene River (Upper Basin)	South Fork Coeur d'Alene River (2 zones) [2]	Brook trout	150-300 / 5.9-11.8	2 species x 10 samples x 2 zones = 40	DEQ (CDA Regional Office)
		Mountain whitefish	150-350 / 5.9-13.8		
Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	Coeur d'Alene River and several lakes (3 zones) [3]	Panfish[5]	150-250 / 5.9-9.8	4 species x 10 samples x 3 zones = 120	IDFG
		Northern pike	400-1000 / 15.7-39.4		
		Bass (LMB/SMB)	250-500 / 9.8-19.7		
		Bullhead	100-200 / 3.9-7.9		
Coeur d'Alene Lake	Northern lake Central lake (2 zones) [4]	Kokanee	200-300 / 7.9-11.8	4 species x 10 samples x 2 zones = 80	IDFG
		Panfish Northern pike Bass (LMB/SMB)	See above		
Coeur d'Alene Lake	Southern lake (1 zone) [4]	Kokanee Panfish Northern pike Bass (LMB/SMB)	See above	4 species x 10 samples x 1 zone = 40	CDA Tribe
Spokane River	Spokane River below Post Falls (1 zone)	Bass (LMB/SMB)	See above	2 species x 10 samples x 1 zone = 20	IDFG
		Rainbow trout	250-500 / 9.8-19.7		

Notes:
1: Sampling location zone descriptions allow field crews the flexibility to collect samples where fish are found during the timeframe of field work. Specific details for actual sampled zones will be recorded on the field forms (Appendix B). A separate field form will be prepared for each separate site within each zone.
2: If a sufficient number of samples cannot be harvested from two zones with the Upper Basin (upper and lower South Fork of the CDA River), then samples may be combined to represent only one zone. Opportunistic sampling may include collection of rainbow trout.
3: For sampling the Lower Basin, the following priority will be used to select the 3 zones: 1) Sample one zone along the CDA River near Killarney Lake. If enough species cannot be collected from the river, then the remaining number of samples will be collected from Killarney Lake. 2) For the other two zones, collect samples from the following Chain Lakes: Swan Lake, Thompson Lake, or Killarney Lake. However, if the majority of samples for #1 are collected from Killarney Lake, sampling will not be repeated for #2 at Killarney Lake.
4: Sampling zones in CDA Lake will be similar to locations sampled for the past CDA Lake health advisory (EPA 2002b, EPA 2003, ATSDR 2003). IDFG and the Tribe will coordinate locations within the central and southern areas to avoid sampling the same areas.
5: Panfish is any small, freshwater nongame food fish, as a perch or sunfish, usually eaten pan-fried. For this study we mean black crappie, perch, and bluegill.

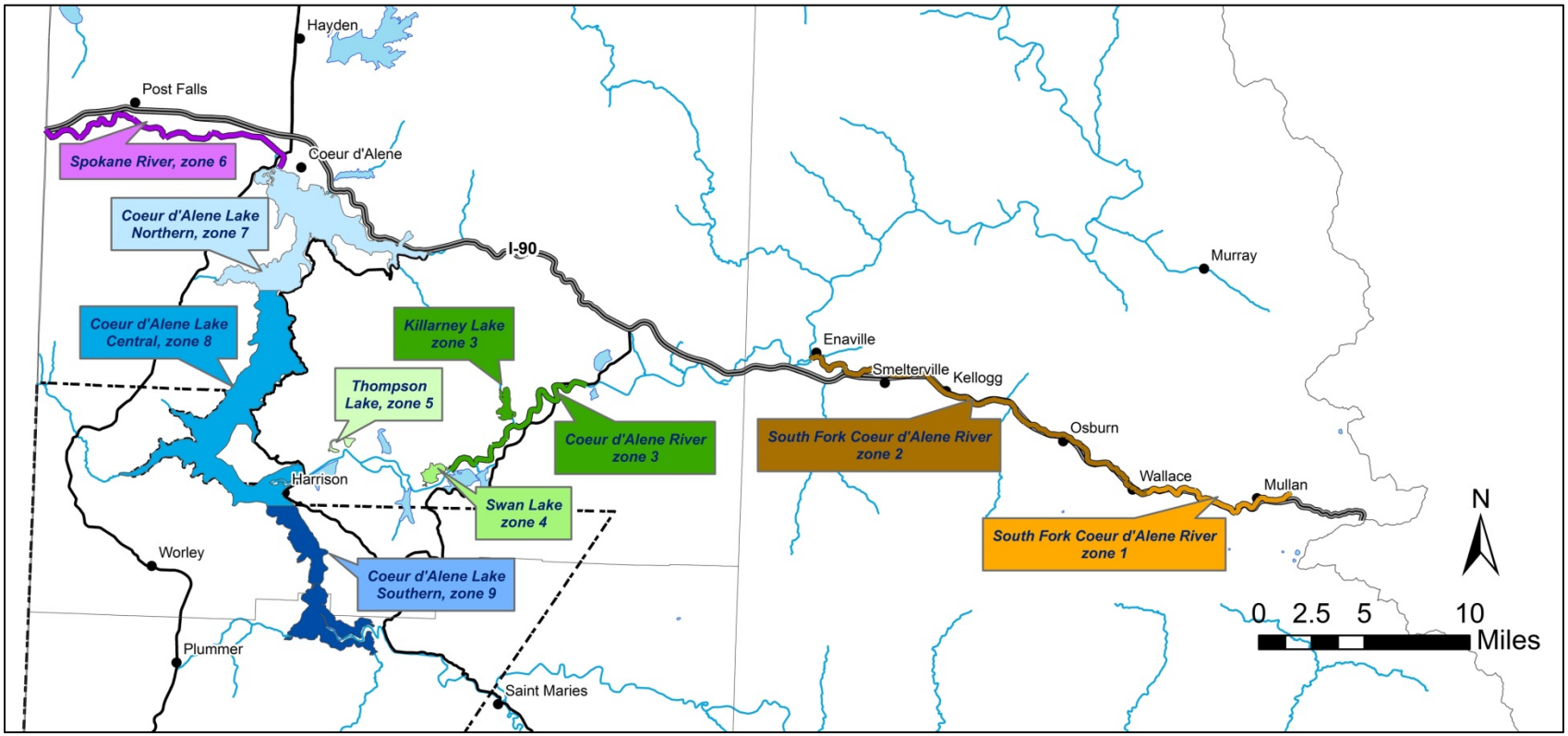


Figure 2. Map of sampling areas.

11.3 Large water gill netting

Gill nets are generally used in deeper waters (Figure 3). Gill nets are set on the bottom or suspended at a known depth. Fish too large to swim through the mesh get caught by the gills when they try to back out. The nets are set and checked periodically throughout the day or set overnight and checked the next morning. In the event these methods do not provide the desired quantities or species or are impractical, hook and line fishing may be used.

11.4 Midwater trawl netting

Kokanee will be sampled with a fixed-frame midwater trawl net. Net dimensions are 2.2 m wide by 3.0 m tall by 10.5 m long. The net will be towed behind a 8.8 m long boat and deployed using hydraulic winches. The net will be towed at depths ranging from 10-40 m in pelagic habitats and at a speed of 1.55 m/s. Upon retrieval, fish will be emptied from the cod end of the net and processed according to protocols. Sampling will be conducted at night during the dark phase of the moon in July or August.

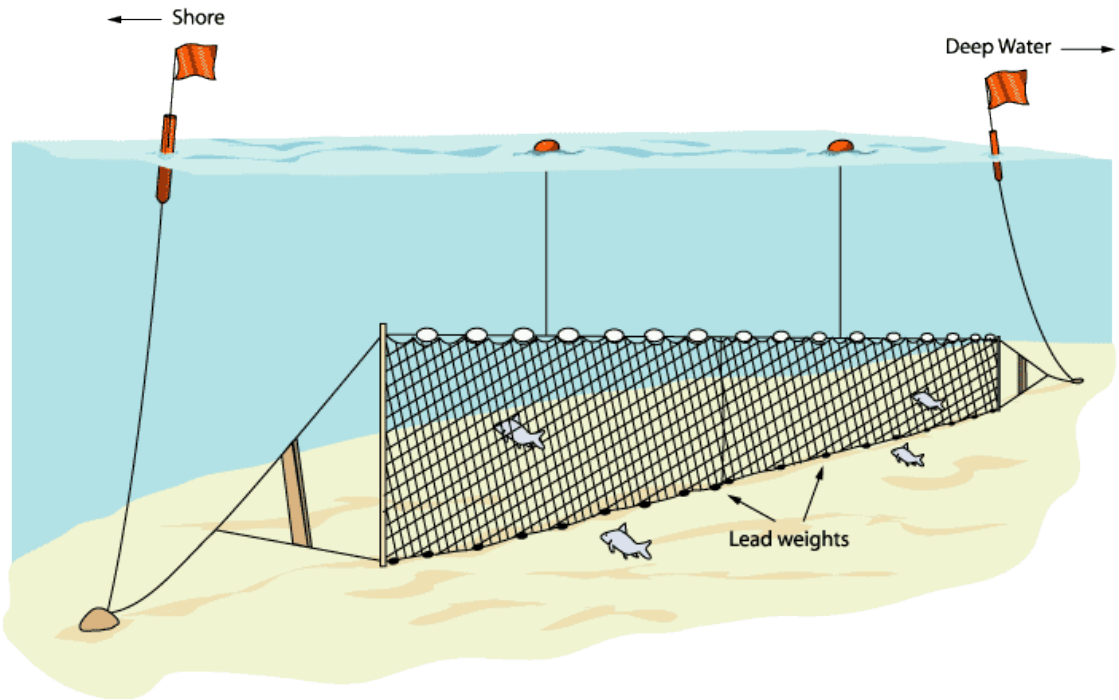


Figure 3. Diagram of gill net methodology.

(From http://www.miseagrant.umich.edu/nets/images/gillnetlg.gif)

11.5 All Methods

Upon collection using any method, eligible fish that are still alive will be killed using percussion over the head and will be identified to species. For this study, 'eligible' means fish of target species and of legal harvest size (as outlined by IDFG regulations for specific species; expected

estimated fish size ranges within the legal harvest size are listed in Table 6). The total body length is defined as the length from the anterior-most part of the fish to the tip of the longest caudal fin ray. If fish are abundant, any fish that accidentally touch the deck of a boat or on bank will be discarded. However, if fish are scarce, such fish will be rinsed in ambient water and kept, and a note will be made of the incident. Fish may be temporarily kept in an aluminum live well while on a boat.

Additional eligibility guidelines:

- Dead specimens other than those killed in the process of collection will be discarded.
- Specimens with lacerations other than those received in the process of collection will be discarded.
- Specimens with sores or lesions other than those received in the process of collection will be discarded.
- Specimens with electrofishing induced trauma remain eligible.

It is desirable to know the approximate depth of the water from which the fish are collected, an estimate of the depth of the water where the fish were collected, not of the lake in general. A reading at the beginning and end of an electrofishing run, or similarly, at both ends of a gill net set, must be taken and the average of the depths reported in the field notes.

Sample labels should be prepared ahead of time to the extent possible. Meters, probes, cameras, rangefinders, and other sensitive gear should be packed to avoid shock, exposure, and other damage. Crews should be especially mindful to prevent contamination of containers, packaging, and sampling equipment used for trace metals work.

Further field precautions:

- Fish will be kept away from metal surfaces and motor exhaust fumes
- Clean coolers will be used (wiped or rinsed with bleach solution, then three rinses with tap water).
- "Wet" ice will be used in preference to "blue" ice. Loose, wet ice will be contained (bagged) such that meltwater cannot escape and contact the sample containers.
- Sampling equipment obviously contaminated by oil or gasoline will not be used.
- Measuring devices will be cleaned before each sampling day, and rinsed with ambient water between each species/sampling event.

Field materials will include:

Electro-fishing boat/Backpack Electrofisher	Digital camera
Gill and/or trap nets	Cases for equipment
Cell or Satellite telephone	Safety equipment- Nitrile Gloves
GPS receiver	Field books
Bucket or container for rinse water (non-metallic)	Field forms (on waterproof paper)
Bleach (dilute 1:10 for rinsing)	Ice chest labels (on waterproof paper)
Disposable towels	Ice chests
Nitrile gloves	Butcher paper
Scrub brush (plastic)	Packing tape
Plastic bags	Blue ice packets
Pencils	Permanent markers

Personal protective equipment (PPE) necessary to perform the field work for this project shall be consistent with the requirements of the *Idaho General Safety and Health Standards* (Division of Building Safety 2006) and all project-specific health and safety plans associated with the project.

In addition to these PPE requirements, the following specific PPE is required for field work associated with this project:

- Nitrile gloves when measuring and preparing fish samples

QA/QC procedures as specified for sample collection will be followed by sampling personnel. The QA/QC procedures will be fulfilled by adhering to all requirements detailed in this QAPP. Such adherence will be demonstrated through appropriate documentation of sampling procedures within the field logbook or field sheets as described herein.

Fieldwork quality will be controlled by following the above sampling methods during each sampling event. Detailed field notes will be taken for QC and proper sample identification.

Analytes, laboratories, and shipping addresses are included in Table 7. Analytical methods, sample containers, preservation methods, and holding times are identified in Section 13 and Table 8.

Table 7. Analytes and laboratories.

Analytes	Analyzing Laboratory	Shipping/Hand Delivery Address
Cadmium, Lead, Mercury, Total Arsenic, Inorganic Arsenic (based on detections of total arsenic), and Zinc	EPA R10 Laboratory (MEL)	EPA Region 10 Laboratory Attn: Sample Receiving 7411 Beach Drive East Port Orchard, WA 98366 (360) 871-8760 – Karen Norton

12 Sample Handling and Custody

12.1 Project Sample ID

The field project sample ID will consist of an **Organization + Site Number Code + Taxon Code + Specimen Number**. All sample IDs must be unique and consistent through the project.

For this project, the following O**rganization** codes will be used:

IDFG = Idaho Department of Fish and Game	CDA = Coeur d'Alene Tribe
DEQ = Department of Environmental Quality	

For this project, the following **Site Number Codes** (as shown in the last column) will be used:

Area	Zone	Zone #	Sampling Org.	**Site Number Codes**
South Fork Coeur d'Alene (Upper Basin)	South Fork Coeur d'Alene River, upper	1	DEQ	**100s**
	South Fork Coeur d'Alene River, lower	2	DEQ	**200s**
Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	Coeur d'Alene River	3	IDFG	**300s**
	Chain Lake 1	4	IDFG	**400s**
	Chain Lake 2	5	IDFG	**500s**
Spokane River	Spokane River	6	IDFG	**600s**
Coeur d'Alene Lake	Northern Lake	7	IDFG	**700s**
	Central Lake	8	IDFG	**800s**
	Southern Lake	9	CDA (Tribe)	**900s**

For the field collection and laboratory analysis portions of this project, the following **Taxa Codes** will be used:

Taxon Code	**Species Code**
PAN = panfish	BCR = black crappie
	BLU = bluegill
	YEP = yellow perch
BAS = bass	LMB = largemouth bass
	SMB = smallmouth bass
BBL = brown bullhead	BBL = brown bullhead
NOP = northern pike	NOP = northern pike
KOK = kokanee	KOK = kokanee
RBT = rainbow trout*	RBT = rainbow trout*
EBT = eastern brook trout*	EBT = eastern brook trout*
MWF = mountain whitefish*	MWF = mountain whitefish*

*RBT, EBT, and MWF taxa may be merged in the Upper Basin area if insufficient EBT and MWF cannot be collected.
Note: Only the taxa codes are used in the Sample IDs. The species codes are only recorded on the field forms (Appendix B).

The taxa codes are used in the project sample IDs; however, the species codes are only recorded on the field forms because for the IFCAP use of the data, largemouth bass (LMB) and smallmouth bass (SMB) will be treated as a single group called bass (BAS). Similarly, the following species will be combined into a single group called panfish (PAN): black crappie (BCR), bluegill (BLU), and yellow perch (YEP). At each station, 10 individuals are needed from the groups: bass or panfish; it is not necessary to collect 10 individuals of each component species.

Specimen numbers take the form of a two digit sequential number (01, 02, 03 etc.) for each fish of one species from a zone.

Example sample ID: DEQ-201-BAS-08, where:

- Organization: DEQ
- Site #: 201 (represents one site located within Zone 2; field notes document the location along the lower South Fork Coeur d'Alene River associated with this site number code)
- Taxon: BAS = bass (the field form will indicate if this specimen number is a largemouth or smallmouth bass)
- Specimen #: 08 (Specimen number eight out of 10 collected from this location)

12.2 Sample Handling

Sampled fish will be identified, measured, and labeled and will be wrapped separately in foil (dull side towards fish) and frozen for shipping to the laboratory. The laboratory will prepare and analyze the fish samples. Coolers large enough to contain the expected sizes of fish will be used for transport. Fish that are too large for the available coolers will be discarded, or stored in another appropriate vessel. Fish shall not be truncated in any way during sample collection.

Each foil-wrapped fish will be placed in a waterproof plastic bag with a waterproof label (to be created by each field team) containing the following information:

- Project Sample ID
- Date of collection
- Time of collection

All fish will be packaged inside coolers according to the instructions below. To keep samples organized by sample locations, separate coolers will be used for each zone (see Cooler Contents Form, Appendix B). The number of coolers required for each zone will be different depending on the number of species, size of fish, etc.

The fish will be temporarily stored in walk-in freezer(s) until all sampling is complete. DEQ, IDFG, and the Tribe will coordinate transportation of fish from the field sites to the walk-in freezer(s). Walk-in freezer space and access will be provided by the Tribe and IDFG. Following completion of all sampling, all fish samples will be transported to MEL by TerraGraphics in mid-June and by Bob Steed (DEQ) in mid-August.

Instructions for cooler storage inside a walk-in freezer prior to pick up and transport to MEL:

1. The coolers should have their drain plugs sealed shut and should have two layers of plastic garbage bags as liners.
2. Pack as much ice (a mix of block and cube ice is best). All ice should be placed into the two plastic garbage bags also.
3. Establish a unique cooler ID for each cooler (i.e. DEQ-1, IDFG-5, CDA-3).
4. Fill out "Cooler Contents Form" (see Appendix B) and make two copies.
5. Place one copy of the "Cooler Contents Form" into a gallon sized zip lock type bag and set inside cooler, under lid, and outside two layers of plastic garbage bags.
6. Tape second copy to cooler lid with clear packing tape.
7. Scan third "Cooler Contents Form" and email to dana.swift@deq.idaho.gov along with a copy of all field forms.

8. Keep third "Cooler Contents Form" for your records.
9. Keep cooler lid propped open until contents are frozen solid.

12.3 Scribe Data Entry

TerraGraphics will enter information into Scribe in order to assign each sample a R10 sample ID number which will be the primary Scribe sample number. The project sample ID (as identified in Section 12.1 of this QAPP) will be recorded in the Scribe remarks category.

Terra Graphics will also provide the chain-of-custody forms corresponding with the contents of each cooler. The field forms will contain information to generate the sample IDs for each sample. Any generic information from this QAPP entered into Scribe prior to sample collection will be updated with specific information listed on the field forms (for example, Chain Lake 1 will be updated to the lake listed on the field form [e.g., Swan Lake]).

Entering information into Scribe requires a Location and Sub Location field for each sample:

- Location: This field will correspond with the area (see Section 12.1) and include the area and zone description and the Site # Code.
- Sub Location: This field will be left blank.
- Lat/Long Location: Scribe only includes an option to enter one set of lat/long coordinates per sample. Since the field forms will have a start point and end point, the start point will be entered in the lat/long location and the end point will be added to the remarks (or a similar field).

Additional Scribe information that will be consistent for all samples, but will not be recorded on each field form includes:

- Analysis: Total Metals: As, Cd, Pb, Zn, Hg (Arsenic speciation analysis to be assigned later based on total Arsenic results).
- Analysis abbreviation: Metals AsCdPbZnHg
- Preservation: None
- Sample Type: Field Sample
- Container: Foil and Bag
- Storage: Frozen
- Project Code: SFP-103A

After TerraGraphics completes entry of the field form information into Scribe, they will provide the field crews with sample labels (in duplicate) to be matched with each packaged fish. The fish will already be labelled with the Project Sample ID (as identified in Section 12.1 of this QAPP) immediately after collection; however, prior to transport to MEL, a label will be added to identify the R10 Sample ID number. These labels will include the following information:

- Project Sample ID
- R10 Sample ID number
- Date of collection
- Time of collection

- Scribe matrix (fish components to be analyzed; i.e., fillet or whole body)

Prior to sample transport, the Scribe sample labels (in duplicate for each fish) will be matched with each packaged fish as follows:

- Each fish will already be packaged as identified in Section 12.2 (foil-wrapped and in a waterproof plastic bag with a waterproof label).
- TerraGraphics will provide duplicate Scribe sample labels for each fish.
- One of the Scribe sample labels will be placed on the outside of a new 2nd waterproof bag.
- The packaged fish and the duplicate Scribe sample label will be placed into this 2nd waterproof bag. The sample label can remain loose inside the 2nd bag.

12.4 Sample Transport

Upon completion of Scribe data entry, the Scribe chain-of-custody pdf will be provided to the field crews so that they can match them to the corresponding cooler and check for accuracy against the contents of the cooler. Chain-of-custody forms will be used to document sample custody and transfer and will accompany the samples throughout the transport process.

Instructions for cooler pick up and transport to MEL:

1. Sign-off relinquishment of custody (and if hand delivered have delivery person sign-on receipt of custody) on the Scribe COC form.
2. Make 2 copies of signed COC form.
3. Add one copy of COC form to gallon sized zip lock type bag and tape to inside cooler, under lid with clear packing tape.
4. Scan second copy of COC form and email to dana.swift@deq.idaho.gov.
5. Keep second copy of COC form for you records.
6. See Section 12.2 for cooler packing instructions regarding use of garbage bags as liners and packing of ice.
7. The lid must be fastened down with clear packing tape around the cooler completely and should be sealed around the lid gap to eliminate water/odor leakage.
8. Add two signed and dated custody seals (to be provided by EPA) to each cooler, one on a side (R or L) and one on the front or back. Custody seals are adhered perpendicular to the seam. A clear piece of tape may be used parallel to the cooler seam in order to prevent inadvertent breaking of the custody seal but still allow for evidence of tampering during shipment as intended.

13 Analytical Methods

Table 8 lists the parameters, analytical methods identified by MEL, criteria identified by IFCAP, handling requirements, and holding times applicable to all samples obtained under this project. Samples must be analyzed within the holding times.

DEQ will coordinate with EPA RSCC and MEL to arrange a sample drop off dates and times. It is requested by the R10 lab that all samples arrive within 2 months of collection in order to ensure that processing and analysis are completed within analytical holding times. In addition, the TerraGraphic's Scribe Project File Manager will notify EPA RSCC and MEL of sample transport by publishing to Scribe.net and by emailing the required files for each shipment (including the COC XML and XLS export and the .bac) to the RSCC on the day of delivery or earlier. Notification to the laboratory will ensure the holding time is not exceeded.

The laboratory will prepare and analyze the fish samples. Laboratory sample preparation and processing procedures to be followed by MEL are included as Appendix C to this QAPP. Appendix C will be included in draft form for signature of this QAPP and the procedures will be finalized during processing of the fish.

In addition, the percent moisture content of each composite fish tissue sample will be determined by the laboratory so that any reported wet weight mercury concentrations may be converted to a dry weight basis by the project (see equations below). All other metals concentrations, and potentially including mercury, will be reported as dry weight since they will be analyzed from freeze dried material. The percent moisture will be provided in the laboratory electronic data deliverable (EDD) to correct to wet weight as necessary by the project.

If the lab reports in % solids, the equation to convert lab results to wet weight concentrations is as follows:

$$Tissue_{wet\ conc.} = Tissue_{dry\ conc.} \times \frac{\%\ Solids}{100}$$

Equation 3. Conversion from wet weight to dry weight.

Where: $Tissue_{wet\ conc.}$= wet weight concentration (mg/kg) of fish (Desired Results)
$Tissue_{dry\ conc.}$ = dry weight concentration (mg/kg) of fish (Laboratory Results)
$\%Solids$ = percent solids (Laboratory Results, for example 20%)

If the lab reports in % moisture, the equation to convert lab results to wet weight concentrations is as follows:

$$Tissue_{wet\ conc.} = Tissue_{dry\ conc.} \times \frac{(100 - \%\ Moisture)}{100}$$

Equation 4. Conversion from wet weight to dry weight.

Where: $Tissue_{wet\ conc.}$= wet weight concentration (mg/kg) of fish (Desired Results)
$Tissue_{dry\ conc.}$ = dry weight concentration (mg/kg) of fish (Laboratory Results)
$\%Moisture$ = percent moisture (Laboratory Results, for example 80%)

Table 8. Analytical method, container types, preservation method, and sampling holding times.

Parameter	IFCAP Criteria (mg/kg; wet weight)	Analytical Method for MEL[g]	MRLs (mg/kg)	Project Precision Criteria	Project Accuracy Criteria	Holding Time	Handling Requirements
Cadmium	4.0[a]	EPA 3052 microwave digestion + EPA 6010B or 6020A (ICPMS)	0.13 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	Fish will be wrapped separately in foil and frozen prior to shipment. Laboratory will prepare the fish samples per procedures identified in Appendix C. All samples will be prepared as fillet (no skin, no belly flap) except kokanee. Kokanee will be whole fish (gutted, tail, fins, and head removed).
Lead	0.063[b]		0.063 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	
Mercury	0.4[a]	Wet weight via EPA 245.6 OR 2 ng = ~0.04 mg/kg (varies depending on mass used) via EPA 7473	0.01 wet weight OR approx. 0.05 dry weight	±25%	75-125%	6 months (frozen)	
Total Arsenic	0.26[c]	EPA 3052 microwave digestion + EPA 6010B (ICP-AES) OR 6020A (ICP/MS)	0.25 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	
Inorganic Arsenic (arsenic speciation)	0.026[a,c,d] 1.2[a,c,d]	Anionic Species[f] (tissue) Method - EPA 3110 (draft) & 6870 (draft) Total As <13 mg/kg (dry weight)	70 ng/g dry weight (maximum MRL)	±25%	70-130%	One year (frozen/ freeze dried)	
		Anionic Species[f] (tissue) Method - EPA 3110 (draft) & 6870 (draft) Total As >13 mg/kg (dry weight)	140 ng/g dry weight (maximum MRL)	±25%	70-130%		
Zinc	Not Applicable[e]	EPA 3052 microwave digestion + EPA 6010B (ICP-AES) OR 6020A (ICP/MS)	3.8 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	

IFCAP = Idaho Fish Consumption Advisory Project; MEL = Manchester Environmental Laboratory; MRL = method reporting limit; ICPMS = inductively coupled plasma mass spectrometry; 1 mg/kg = 1 ppm

Notes:

a = Based upon EPA recommended screening values for target analytes-recreational fishers (EPA 2000a).
b = Criteria used by IFCAP to determine the need to evaluate the data using the Integrated Exposure Uptake Biokinetic (IEUBK) model).
c = Arsenic will be analyzed in two steps: 1) analysis of all samples for total arsenic and 2) analysis of a subset of 30 samples for inorganic arsenic. Selection of 30 samples for inorganic arsenic will include any samples with total arsenic detected above a screening value of 0.26 ppm. If less than 30 samples exceed the screening value, then the 30 samples with the highest total arsenic concentrations will be analyzed for inorganic arsenic to provide a dataset to support the health protective nature of this screening method. If more than 30 samples exceed the screening value, IDHW recommends that, when possible, all individual samples that exceed the screening value of 0.26 ppm total arsenic be analyzed for inorganic arsenic. Further, IDHW recommends that if the mean total arsenic level for a study group (e.g., Brook trout sampled from the South Fork Coeur d'Alene River) exceeds the screening value of 0.26 ppm, then all samples in that group must be analyzed for inorganic arsenic content to ensure that any consumption advisories based upon that data are adequately informed and defensible. Based on the projected laboratory capacity at MEL, the lab has requested a maximum of 30 samples be analyzed for inorganic arsenic. If there is a need to exceed this lab capacity, then IFCAP, the CDA Tribe, DEQ, and EPA will meet to determine a path forward.
d = For inorganic arsenic, 1.2 ppm for chronic exposure. For cancer screening of inorganic arsenic, 0.026 ppm.
e = Zinc will not be included as part of the human health fish consumption evaluation, rather zinc will be analyzed to establish the fish body burden and the zinc data may be used to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality.
f = The anion species are as follows: Dimethylarsinic acid (DMA), Monomethylarsonic acid (MMA), Inorganic Arsenic, "Arsenobetaine (AsB) + Cations", and Unknown Arsenic Species.
g = Samples will be analyzed by ICP-MS unless the levels detected are in range for ICP-AES analysis (above the MRL).

14 Quality Control

Quality control is a means of measuring or estimating the potential variability involved with sample collection, analysis, or measurement activities in the field and in the laboratory. This section will discuss the various QC activities associated with this project.

14.1 Field QC Checks

Field QA/QC will consist of all organizations following standard protocols for sample collection as presented in this QAPP and developed in accordance with the IFCAP protocol. IFCAP determined that 10 fish per target species, per sampling location is needed to reach 90% confidence that an advisory will be correctly issued (IDHW 2013).

Typically, field QC samples include duplicates and blanks. However, for the purposes of this QAPP that follows the IFCAP protocol and includes performing all sample preparation and processing procedures at the analytical laboratory, collection of fish to represent field duplicates will not be conducted. In addition, neither field blanks nor equipment blanks will be necessary.

14.2 Laboratory Quality Control Checks

Laboratory QC checks are routinely performed as part of the analysis process. The frequency and type of QC samples are often analysis method-dependent and include reagent blanks, matrix spikes, laboratory duplicates, and laboratory control standards. Analyzing laboratories will report any variance from QC limits impacting the quality of sample results and may report details of internal laboratory QC if requested. Laboratory QA/QC and data reports will be filed in TRIM following applicable filing protocols.

Laboratory QC checks include internal checks for sample analysis activities, duplicate samples, and blanks. The following paragraphs describe common components of laboratory QA/QC programs.

14.2.1 Laboratory Quality Control

A **laboratory method blank** is a sample of known matrix where the specific constituents requested for analysis are known to be absent or are present at concentrations less than the laboratory minimum limit of detection. The laboratory blank is analyzed to evaluate the accuracy of the analysis.

Laboratory control samples (LCSs) are samples that contain a known concentration of analytes and are analyzed to assess the overall method performance. They undergo the same preparatory and determinative procedures as the project samples and are the primary indicator of laboratory performance. LCS recoveries are used to measure accuracy. The RPD for duplicate LCS recoveries is used to measure precision.

A **laboratory duplicate sample** is a sample that is subsampled twice by the laboratory after tissue processing into two separate aliquots for digestion. The two digestates are analyzed and a comparison of the results (RPD) is used to assess laboratory precision.

A **matrix spike** (MS) sample has a known amount of the target analyte added to project matrix before analysis to assess possible matrix interferences on the analysis. Percent recoveries on MS samples should be compared to percent recoveries of LCS samples for assessment of accuracy and potential bias. An MS/**matrix spike duplicate** (MSD) pair can be used to assess accuracy, bias, and precision.

The laboratory will present DEQ with a complete QA report covering the period of analysis.

14.3 Data Analysis Quality Control Checks

The QC check data may be checked/reviewed for quality at any time during the project and must be checked after all of the data are collected. Corrective actions, as needed, will be documented in the event that control limits are exceeded. Data qualifiers will be assigned following appropriate data verification/validation procedures. Any qualifiers added will be defined in the project summary/technical report and will be consistent with EPA QA/G-8 (EPA 2002d).

QC checks for field data will be performed by the Field Project Manager and the DEQ QAO. QC checks for the analytical data will be performed by EPA and MEL.

15 Instrument/Equipment Testing, Inspection, and Maintenance

Laboratory instrument/equipment testing, inspection, and maintenance are performed and documented by the laboratory if/as required by the MEL QA Manual and standard operating procedures. Procedures and schedules for preventive maintenance of sampling equipment are the responsibility of the laboratory. Each instrument or item of laboratory equipment will be maintained periodically to ensure accuracy. These procedures and frequency of performance are designated in the individual instrument manuals.

Project field instrument/equipment testing, inspection, and maintenance will be performed in accordance with the individual instrument/equipment manual.

16 Instrument/Equipment Calibration and Frequency

Laboratory instrument calibration is conducted and documented by the laboratories if/as required by the MEL QA Manual and standard operating procedures.

All field monitoring equipment for the measurement of field parameters will be calibrated and maintained as recommended by the manufacturer, or as found in individual instrument/equipment manuals, to ensure accuracy within specified limits. Calibration details will be recorded in the field logbook or field sheet. Field equipment used to collect samples will be initialized according to manufacturers' procedures or internal guidelines at the start of each

field day (at a minimum) and/or at intervals recommended by the manufacturer or found in individual instrument/equipment manuals. Each instrument or item will be visually inspected by field sampling personnel for damage and operability prior to each sampling event.

17 Inspection/Acceptance of Supplies and Consumables

The supplies and consumable items required for monitoring projects will be consistent with the list identified in Section 11 of this QAPP. All sampling supplies and consumable items will be inspected for acceptance by the field project manager or field crew leader prior to use.

18 Nondirect Measurements and Data Acquisition

Nondirect measurements and data acquisition refer to data obtained *for use by the project* from existing data sources, not directly measured or generated in the scope of this project. This type of data is often referred to as "existing data or secondary data." Examples of this type of data include data obtained from existing sources or databases (either from within or from outside DEQ) and data obtained by others and offered or presented to DEQ for use.

Past investigations are referenced in the Problem Statement (Section 5.1). Existing data or other nondirect data will only be used if approved for use by IFCAP.

19 Data Management

As stated in Section 9 and Table 3, each organization is responsible for collection and transmittal of documents and records to DEQ for management.

Electronic copies of all field notes and laboratory reports will be provided to the DEQ project manager and kept in TRIM. Hard copies of field notes and laboratory data reports will be kept at least until data review and reporting is complete. It is the responsibility of the project manager to ensure all document retention requirements are met.

The *Region 10 Data Management Plan (DMP) for Environmental Monitoring and Associated Geospatial Data* (EPA 2014) will be followed by TerraGraphics for requirements related to Scribe (e.g., management, release of final files, import of analytical lab data, submission of final scribe files with imported date to EPA, etc.) and R10 sample documentation.

20 Assessment and Response Actions

Assessment of the project QAPP will be performed by reviewing field notes and laboratory reports and by conducting laboratory audits where possible and resources allow. This assessment will be completed or directed by the QAO. Any errors or inconsistencies identified in the field notes will be investigated and corrected to ensure the integrity of the data and conformance to the QAPP. Results of internal laboratory QA review, surveillances, or other types of laboratory assessments will also be taken into account. If unexpected analytical results are reported for any

reason, the project manager will contact the laboratory to perform an additional quality review of the data in question. The QAO will perform assessment of the project independently of the project manager.

A note to the file will be included with the field notes and laboratory reports if any follow-up QA activities regarding field notes or laboratory reports are required and conducted.

21 Reports to Management

Project reporting will be completed by IFCAP in coordination with CDA Tribe.

22 Data Review, Verification, and Validation

Data review, verification, and validation responsibilities and methods identified in Sections 22 and 23 are applicable to only field screening data. The EPA R10 laboratory (MEL) Supervisory Chemist will be responsible for coordinating data review, verification, and validation of all laboratory analytical data. Following receipt of all field and analytical data by DEQ, the DEQ QAO and project manager will conduct an overall data assessment (Section 24) to verify compliance with the QAPP.

Data review is conducted (ideally by the Field Project Manager or field crew) to ensure that project data have been recorded correctly. Field forms will be double checked and "signed-off" by an individual other than the recorder prior to departing from the collection station. Transmittal will be tracked through shipping receipts which will be submitted to project manager. There is no processing of the data by field crew.

Data verification is generally conducted (ideally by the DEQ Project Manager) following data review and is performed to evaluate the completeness, correctness, conformance, and compliance of the data against the QAPP-specified method, procedural, or contractual requirements. The purpose of data verification is to evaluate the extent to which the sample collection requirements, analytical processes prescribed in the QAPP, and specified project procedures were followed. Data verification essentially evaluates the actual project performance against the requirements established in the QAPP. The output from this process is considered and evaluated during the reconciliation with user requirements (assessment) phase. A Data Verification checklist is provided in Appendix A.

Data validation shall be conducted by the DEQ project QAO. This process shall follow data review and verification and is an analyte- and sample-specific process that extends the data evaluation beyond method, procedure, or contractual compliance to determine the quality of a specific data set relative to the end use. This effort should focus on the project-specific data needs and note any potentially unacceptable departures from the QAPP. The output from this process is considered and evaluated during the reconciliation with user requirements (assessment) phase. Data validation is generally performed by an independent entity not closely associated with the unit generating the data. A Data Validation checklist is provided in Appendix A. Laboratory data from MEL will undergo a thorough independent review and verification prior to release. This level of review is equivalent to a full Stage 4 validation of CLP data, and is

typically considered final with the exception of further qualification required during project level data assessment.

The level of documentation required for a specific project data review, verification, validation, and reconciliation effort is specified below. This level of documentation is determined by the project manager, in consultation with the program manager, consistent with the "graded approach" used by DEQ in implementing the quality management system (QMS).

Those assigned to perform project data review, verification, and validation *shall use the associated checklist provided in the appendices to perform and document* the effort in the associated project TRIM file system.

23 Review, Verification, and Validation Methods

Data review, verification, and validation efforts are based on the analytical support determined to be necessary in the planning stages of the project. DEQ personnel performing data verification and validation are encouraged to review the following guidance documents:

- EPA QA/G-8 (EPA 2002d) for guidance on methods for this task.
- Appendix A of EPA's *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009)
- *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Inorganic Data Review* (EPA 2004).
- *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review* (EPA 2008).

Any potentially unacceptable departures from the requirements of the project QAPP will be noted during the data review, verification, and validation process. If the project manager or the project QAO determines the data do not meet the needs of the project or the DQOs of the QAPP and/or if the conclusions drawn from the data do not appear to be reasonable, the project manager and the QAO shall immediately report such findings to the appropriate State Office program manager to determine the necessary corrective actions. Documentation of such findings and activities shall be maintained in accordance with the DEQ QMP.

24 Reconciliation with User Requirements

Data quality assessment (DQA) will be performed in accordance with this QAPP and the DEQ QMP (DEQ 2012a). Additional guidance for conducting data assessment can be found in EPA QA/G-9R or EPA QA/G-9S (EPA 2006a, b).

The DQA will be performed (at a minimum) by the DEQ Project Manager and the project QAO to determine if the project data set is of the right type, quality, and quantity to achieve the objectives of the project and can confidently be used to make an informed decision.

Information and findings associated with the project data review, verification, and validation efforts shall be considered during the data assessment process.

When DQOs are not met, the project manager will discuss appropriate corrective actions with project staff, project management, and with the analytical laboratory. Corrective actions may be initiated to suggest improvements to data collection activities, data and sample handling techniques, internal laboratory quality procedures, etc., to solve quality issues.

If the project manager or the QAO decide the project data do not meet the project needs or the QAPP quality objectives and/or if the conclusions drawn from the data do not appear to be reasonable, the project manager and the QAO shall immediately report such findings to the appropriate program manager to determine and document the necessary corrective actions.

If sampling activities require revision, the project QAPP will be revised as necessary. Following revision, and prior to implementation, the revised project QAPP must be re-approved in accordance with the DEQ QMP (DEQ 2012a).

25 References

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2003. *Health Consultation, Evaluation of Metals in Bullhead, Bass, and Kokanee from Coeur d'Alene Lake*. Prepared by Idaho Division of Health. September 19, 2003. Available at http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/pha/PHA.asp?docid=1045&pg=0

DEQ (Idaho Department of Environmental Quality). 2012a. *Quality Management Plan*. Boise, ID: DEQ. TRIM record number 2012AEC1. Available at http://insidedeq.deq-intra/director/documents/quality-mgmt-plan-rev-3-2012.pdf.

DEQ. No date (current version). "Retention Schedule." Boise, ID: DEQ. TRIM record number 2010AIC3.

Division of Building Safety. 2006. *Idaho General Safety and Health Standards*, revision 3. Meridian, ID: Division of Building Safety in cooperation with the Idaho Industrial Commission. Available at http://dbs.idaho.gov/safety_code/index.html.

EPA. 2000a. (U.S. Environmental Protection Agency). *Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories Volumes 1, 2, & 3 Fish Sampling and Analysis* Third Edition. Available at https://www.epa.gov/fish-tech/guidance-assessing-chemical-contaminant-data-use-fish-advisories.

EPA. 2000b. *Guidance for the Data Quality Objectives Process* (EPA QA/G-4). 600-R-96-055. August, 2000.

EPA. 2001. *EPA Requirements for Quality Assurance Project Plans* (EPA QA/R-5). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-01/003. Available at http://www.epa.gov/quality/qs-docs/r5-final.pdf.

EPA 2002a. EPA Superfund Record of Decision: Bunker Hill Mining & Metallurgical Complex, EPA ID: IDD048340921, OU3, Smelterville, Idaho. EPA/ROD/R10-02/032/2002. September 12, 2002. Available at http://www.epa.gov/superfund/sites/rods/fulltext/r1002032.pdf

EPA 2002b. *Coeur d'Alene Lake Fish Investigation Plan, Coeur d'Alene, Idaho.* Prepared for EPA Region 10. Prepared by URS Greiner, Inc. April 2002.

EPA. 2002c. *Guidance for Quality Assurance Project Plans* (EPA QA/G-5). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/R-02/009. Available at http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g5-final.pdf.

EPA. 2002d. *Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation* (EPA QA/G-8). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/R-02/004. Available at http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g8-final.pdf.

EPA. 2003. *Coeur d'Alene Lake Fish Investigation Data Report, Coeur d'Alene, Idaho.* Prepared for EPA Region 10. Prepared by URS Greiner, Inc. May 2003.

EPA. 2004. *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Inorganic Data Review* (OSWER 9240.1-45). Washington DC: EPA, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. EPA 540-R-04-004. Available at http://www.epa.gov/superfund/programs/clp/download/inorgfg10-08-04.pdf.

EPA. 2006a. *Data Quality Assessment: A Reviewer's Guide* (EPA QA/G-9R). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-06/002. Available at www.epa.gov/quality/qs-docs/g9r-final.pdf.

EPA. 2006b. *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners* (QA/G-9S). Washington, DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-06/003. Available at http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g9s-final.pdf.

EPA. 2006c. *Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process* (EPA QA/G-4). Washington, DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-06/001. Available at http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g4-final.pdf.

EPA. 2008. *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review* (OSWER 9240.1-48). Washington DC: EPA, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. EPA 540-R-08-01. Available at http://www.epa.gov/superfund/programs/clp/download/somnfg.pdf.

EPA. 2009. *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (OSWER No. 9200.1-85). Washington, DC: EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 540-R-08-005. Available at http://www.epa.gov/superfund/policy/pdfs/EPA-540-R-08-005.pdf.

EPA. 2014. *Region 10 Data Management Plan (DMP) for Environmental Monitoring and Associated Geospatial Data*. June.

IDHW. (Idaho Department of Health and Welfare). 2008. "A Guide to Safe Fish Consumption for Fish Caught in Idaho Waters." Bureau of Community and Environmental Health. Idaho Division of Public Health, 14 Aug. 2008. Available at http://healthandwelfare.idaho.gov/Portals/0/Health/EnvironmentalHealth/FishGuide.pdf

IDHW. 2013. Idaho Fish Consumption Advisory Project Protocol. Bureau of Community and Environmental Health. Idaho Division of Public Health, 2013. Available at http://www.healthandwelfare.idaho.gov/Portals/0/Health/EnvironmentalHealth/IFCAP%20PROTOCOL%202016.pdf.

This page intentionally left blank for correct double-sided printing.

Appendix A. Project Checklists

The following checklists are included in this appendix:

- Data Verification—TRIM record #2012AEB3 (to be completed by DEQ Project Manager)
- Data Validation—TRIM record #2012AEB4 (to be completed by DEQ Project QAO)

This page intentionally left blank for correct double-sided printing.

DEQ QAPP/FSP Checklist—Data Review

This will be accomplished by using the signed field sheets. This is an interagency project and the field sheets are designed to make the data review process effective and easy for the various field crews.

DEQ QAPP/FSP Checklist—Data Verification

The individual assigned in the project QAPP/FSP to perform project **data verification** *shall complete and file this checklist in the appropriate project TRIM system files.* Project personnel are encouraged to expand this standard list, as project conditions warrant.

Printed Name of Staff Performing Data Verification	Date Completed
Project QAPP/FSP Title	QAPP/FSP TRIM Record #

Check the following review boxes following completion of each listed task.

Check *yes* if the task was completed without any noted discrepancies. Otherwise, check *no* and include a description of the discrepancy in the space provided. Use additional sheets as necessary.

Yes	No	
☐	☐	Examine and review the project QAPP (and FSP, if used) to determine if additional project specific data *verification* requirements apply. Update this checklist to include all such items.
☐	☐	Verify that all data completeness criteria, as stated in the project QAPP (and FSP, if used), have been satisfied. This shall include items such as the number of samples, number of QC samples such as spikes and duplicates, and chain-of-custody record continuity.
☐	☐	Verify that the values of individual data points, and/or comparison calculations such as RPD, meet the criteria specified in the QAPP (and FSP, if used).
☐	☐	Verify that the required analytical methods, as listed in the project QAPP (and FSP, if used) correspond to the analytical methods employed by the laboratory, as recorded in laboratory reports.
☐	☐	Verify that QAPP (and FSP, if used) requirements relative to laboratory analytical support documentation have been satisfied by the reporting laboratory, including the correct application of data qualifiers.

Yes	No	
☐	☐	Verify that all supporting information and documentation for nondirect measurement data (existing data) meet the requirements of the QAPP (and FSP, if used). If not, identify any limitations or restriction on the use of such data.
☐	☐	Verify that data and sample collection practices adhered to procedural requirements, to include a review of project logs and field notes, as applicable.
☐	☐	Verify that sample handling activities conform to QAPP (and FSP, if used) requirements. Examples include sample shipment timelines, sample holding times, preservatives, number of samples obtained, duplicate or split sample frequency, and chain-of-custody documentation.
☐	☐	Verify that data calculation and handling activities conform to QAPP (and FSP, if used) requirements. Examples include correct use of mathematical formulas and numerical methods, correct use of programs and programing, and correct application of database information transfers.
☐	☐	Verify that any remaining or unique project QAPP (and FSP, if used) or procedural requirements have been met, and if not, determine the extent to which these requirements failed to be achieved.
☐	☐	Determine and document any limitations on the use of the project data.
☐	☐	Ensure that all deficiencies and/or conditions adverse to quality determined during the project data *verification* process have been communicated to project management and are listed on this checklist or attached for inclusion in the TRIM record system.
☐	☐	Verify that a copy of this data verification checklist has been provided to the project manager for deficiency resolution and placed in the project TRIM file system. Note that additional data verification actions may be required based on the checklist findings, such as a corrective action plan/reports, etc. The project QAO shall consult the DEQ QMP and proceed accordingly.

Please list any additional comments below. Attach additional sheets as necessary.

DEQ QAPP/FSP Checklist—Data Validation

The individual assigned in the project QAPP/FSP to perform project **data validation** *shall complete and file this checklist in the appropriate project TRIM system files.* Project personnel are encouraged to expand this standard list as project conditions warrant.

Printed Name of Staff Performing Data Validation	Date Completed
Project QAPP/FSP Title	QAPP/FSP TRIM Record #

Check the following review boxes following completion of each listed task.

Check *yes* if the task was completed without any noted discrepancies. Otherwise, check *no* and include a description of the discrepancy in the space provided. Use additional sheets as necessary.

Yes	No	
☐	☐	Verify that the approved current project QAPP, including a copy of the signed approval signature page, is currently filed in the TRIM system. Also, verify the project information has been entered into the QAO project tracker found at TRIM record #2012AEB8. If the QAPP is not filed in TRIM, or the QAO tracker is not current, immediately inform the DEQ QA manager.
☐	☐	If the project utilizes a FSP, verify that the approved project FSP, including a copy of the signed approval signature page, is currently filed in the TRIM system. Also, verify the project information has been entered into the QAO project tracker found at TRIM record #2012AEB8. If the FSP is not filed in TRIM, or the QAO tracker is not current, immediately inform the DEQ QA manager.
☐	☐	Examine and review the project QAPP (and FSP, if used) to determine if additional project-specific data *validation* requirements apply. Update this checklist to include all such items.
☐	☐	Evaluate and examine all (100%) of obtained field QC sample results, such as duplicates and trip blanks, etc., followed by assignment (if necessary) of appropriate data qualifiers to these data based on project criteria.
☐	☐	Review project analytical laboratory reports and data, including the assigned data qualifiers, to evaluate the data quality with respect to the project DQOs. Assign data qualifiers to individual data values as necessary and appropriate.

Yes	No	
☐	☐	Review the outcome of the data verification effort to evaluate the impact on data quality with respect to the DQOs.
☐	☐	Determine, when necessary and where possible, the reasons for any failure to meet methodological, procedural, or contractual requirements and evaluate the impact of such failure on the overall data.
☐	☐	Compare the project DQOs, as defined in the project QAPP (and FSP, if used), to the data obtained by the project to assess the adequacy of the data (new or existing) in relation to their intended use.
☐	☐	Determine the extent to which any nondirect measurement data (existing data), and the accompanying supporting information and documentation, meet the requirements of the data user. Specifically, does the quality of the existing data adequately support the needs of the project and support the intended use of the data for the project?
☐	☐	Determine and document any limitations on the use of the project data.
☐	☐	Determine the adequacy of the data to proceed on to the data assessment and reconciliation with user requirements phase.
☐	☐	Ensure that all deficiencies and/or conditions adverse to quality determined during the project data *validation* process have been communicated to project management and are listed on this checklist or attached for inclusion in the TRIM record system.
☐	☐	Verify that a copy of this data validation checklist has been provided to the project manager for deficiency resolution and placed in the project TRIM file system. Note that additional data validation actions may be required based on the checklist findings, such as a corrective action plan/reports, etc. The project QAO shall consult the DEQ QMP and proceed accordingly.

Please list any additional comments below. Attach additional sheets as necessary.

Appendix B. Fish Tissue Sampling Field Form and Cooler Contents Form

This page intentionally left blank for correct double-sided printing.

CDA Basin Fish Tissue Sampling Field Form

2016

area: □ SFCDA River □ CDA River and Chain Lakes □ CDA Lake □ Spokane River

TRIM*: _____

organization code: □ IDFG □ DEQ □ CDA (Tribe)

site code:

crew members: _____

collection date: _____

collection method: □ boat e-fish □ backpack e-fish □ gill net □ hook and line

collection time: _____

optional measures: water temperature: conductivity: station water depth:

Location Information

zone: _____

waterbody name:

nearest landmark:

observations:

Start and End Coordinates (WGS 83)

	latitude	longitude
start point		
end point		

Fish Information

taxa 1: _____ taxa 2: _____ taxa 3: _____ taxa 4: _____

#	species	TL** (mm)	flag	species	TL** (mm)	flag	species	TL** (mm)	flag	species	TL** (mm)	flag
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Sample ID Guide

example sample ID: **DEQ-201-BAS-08** **(Organization – Site # - Taxa - Specimen #)** For codes, see next page.

Flags and Footnotes

F1	F2
F3	F4
F5	F6

footnotes: *TRIM No. to be filled out by project manager, **Total length (TL) to nearest 10 mm

recorder:_____

form completeness reviewer: recorder:_____

CDA Basin Fish Tissue Sampling Field Form

2016

Sample ID Numbers

Organization - Site # - Taxa - Specimen # **example sample ID: DEQ-201-BAS-08** **(see Section 12 of QAPP)**

Site Codes and Location Information

Area	Zone	Zone #	Sampling Org.	**Site # Codes**
South Fork Coeur d'Alene (Upper Basin)	South Fork CdA R., upper	1	DEQ	**100s**
	South Fork CdA R., lower	2	DEQ	**200s**
Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	CdA River	3	IDFG	**300s**
	Chain Lake 1	4	IDFG	**400s**
	Chain Lake 2	5	IDFG	**500s**
Spokane River	Spokane River	6	IDFG	**600s**
Coeur d'Alene Lake	Northern Lake	7	IDFG	**700s**
	Central Lake	8	IDFG	**800s**
	Southern Lake	9	CDA (Tribe)	**900s**

Fish Taxa and Species Codes

Taxa Code	**Species Code**
PAN = panfish	**BCR = black crappie**
	BLU = bluegill
	YEP = yellow perch
BAS = bass	**LMB = largemouth bass**
	SMB = smallmouth bass
BBL = brown bullhead	**BBL = brown bullhead**
NOP = northern pike	**NOP = northern pike**
KOK = kokanee	**KOK = kokanee**
RBT = rainbow trout	**RBT = rainbow trout**
EBT = eastern brook trout	**EBT = eastern brook trout**
MWF = mountain whitefish	**MWF = mountain whitefish**

*RBT, EBT, and MWF taxa may be merged in the Upper Basin area if insufficient EBT and MWF cannot be collected.
Note: Only the taxa codes are used in Sample IDs. The species codes are only recorded in the table on page 1 of this field form.

Specimen Number

1-10, as assigned in the table on page 1 of this field form.

Additional Notes

Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling Cooler Contents Form		Cooler ID
1	Organization	
2	Site # code(s)	
3	Zone # and name	
4	Date collected	
6	Sample IDs	
7	COC	

EXAMPLE

Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling Cooler Contents Form		Cooler ID DEQ-1
1	Organization	DEQ
2	Site # code(s)	101, 102
3	Zone # and name	#1 SOUTH FORK CDA R.
4	Date collected	6-26-16, 6-27-16
6	Sample IDs	DEQ-101-RBT08
		DEQ-101-RBT09
		"
		"
		"
7	COC	✓

Appendix C. Laboratory Sample Preparation and Processing Procedures

This page intentionally left blank for correct double-sided printing.

CDA Basin 2016 Fish Filleting/Homogenization Procedure

EPA Region 10 Laboratory

May 2016 Draft – to be Finalized after Processing is Complete

Introduction

This procedure was developed in support of the Coeur D'Alene (CDA) Basin Fish Tissue Sampling Project and was written to meet the species specific processing requirements of this study. The target species of the study consist of a variety of fin fish that are routinely harvested in the Basin for human consumption. Variations in tissue processing requirements specifically address the differences through which Kokanee are prepared for consumption versus all other fish. The instructions for tissue resection and processing are based on the information from the National Rivers and Streams Assessment Study (USEPA, 2008) and the Idaho Fish Consumption Advisory Project (IDHW, 2013) Protocol.

1.0 Project Processing Summary

The target species for this study were selected based on their representativeness, abundance, exposure to contaminants and consumption by humans. For the purpose of this fish tissue procedure the target species are placed into two groups: Kokanee which are canned with skin, flesh and bones and all other species which are filleted. <u>All fish are to be processed individually.</u> There is no compositing of different fish samples. The general processing steps for these fish types are as follows:

- <u>Kokanee</u>[1]: the scales, all entrails (including the kidney), head, tail, and all fins are removed and the remaining fish homogenized.

- <u>All other fish</u>: the processing is to retain for each fish a fillet without the skin or belly flap included, and any bones imbedded in the fillet are also removed.

All fish, either fillet or whole body as identified above, will be "wet" homogenized, freeze dried, and "dry" homogenized prior to subsampling for analysis.

2.0 Fish Handling – Pre Processing of all fish

Put on powder-free nitrile gloves before unpacking individual fish specimens for filleting and tissue homogenization. As samples are unpacked and unwrapped, inspect each fish carefully to verify that it has not been damaged during collection or shipment. If damage (e.g., tearing of the skin or puncturing of the gut) is observed, document it in the laboratory logsheet and notify the IDEQ project manager.

1 – email communication from the Coeur d'Alene Tribe, Lake Management Department to the Idaho Department of Environmental Quality (4/27/206)

Weigh each fish to the nearest gram prior to any sample processing. Enter weight information for each individual fish into a laboratory logsheet.

Rinse each fish with deionized or reverse osmosis (reagent) water as a precautionary measure to reduce possible contamination from sample handling in the field. Use either HPDE wash bottles or a water system at an appropriate sink for rinsing fish and for cleaning homogenization equipment and utensils.

Fish with scales must be scaled (and any adhering slime removed) prior to filleting. Wearing powder-free nitrile gloves, scale each fish by laying it flat (on a clean glass cutting board) and scraping from the tail to the head using the blade edge of a clean stainless steel or titanium knife. Control cross-contamination by rinsing the cutting board and knife with deionized water between fish. Filleting can proceed after all the scales have been removed from the skin and a separate, clean cutting board and fillet knife are prepared or available.

3.0 Kokanee Fish Processing

Prepare each individual Kokanee by first removing all the scales (see section 2.0), then remove all entrails including the kidney along the backbone. Rinse the body cavity with deionized lab reagent water to clean away any remaining entrails (particularly kidney tissue). Next remove the head, tail, and all fins. While removing the head make certain to cut behind and remove the entire gill cover. Kokanee fins should be cut away very close to the fish skeletal/muscle tissue as to remove all the fin rays. The fish body is now ready for homogenization.

4.0 Fillet Fish Processing (all fish except Kokanee)

All fillet samples must be prepared using this procedure.

To control contamination, separate sets of utensils and cutting boards should be used for scaling fish and for filleting fish. Prior to preparing each composite sample, thoroughly clean utensils and cutting boards using the following series of procedures:

1. Wash with a lab soap solution (phosphate- and scent-free) and warm tap water, scrubbing off any remaining fish material as necessary

2. Rinse with warm tap water

3. Rinse three times with reagent water

4. For non-metal materials, follow with a nitric acid rinse and additional reagent water.

Place each fish on a glass cutting board in preparation for the filleting process. Note that filleting should be conducted under the supervision of an experienced fisheries biologist, if possible. Fish should be thawed only to the point where it becomes possible to make an incision into the flesh. Remove both fillets (lateral muscle with skin attached) from each fish

specimen using clean, high-quality stainless steel or titanium knives. Do not include the belly flap (ventral muscle and skin) or skin with each fillet. The belly flap and skin should be trimmed away from the fillet with a knife.

Avoid contaminating fillet tissues with material released from inadvertent puncture of internal organs. In the event that an internal organ is punctured, rinse the fillet with DI or reagent water immediately after filleting. Note that the puncture occurred on the lab logsheet. Bones still present in the tissue after filleting should be carefully removed. These will be removed using hemostats or tweezers.

5.0 Wet Homogenization

Fish fillets should be ground and homogenized using an automatic grinder or high-speed blender or homogenizer. Large fillets may be cut into 2.5-cm cubes with high-quality stainless steel or titanium knives prior to homogenization. The entire filleted or whole body (Kokanee) tissue should be ground until it is homogeneous in appearance. For large fish that exceed the mass limitations of the freeze drying unit, the maximum amount of allowable wet homogenate should be sub-sampled for freeze drying and the remaining tissue stored frozen in a labelled, certified clean glass sample container.

Homogenization Note: grinding and homogenization of tissue is easier when it is partially frozen. Chilling the blender briefly with a few chips of dry ice will also help keep the tissue from sticking to it.

Between fish samples, automatic grinder or high-speed blender or homogenizer parts which will come in contact with the samples are washed with warm soapy water (using phosphate- and scent-free soap) and triple-rinsed with DI or reagent water. Alternatively, the mini food processors for the metals section may be washed in the dishwasher in room 101.

For each day on which samples are homogenized (wet), prepare an equipment blank consisting of reagent water processed in the same manner as the samples. Place the equipment blank in a labelled, certified clean glass sample container and store at or below room temperature. Do not freeze equipment blanks.

6.0 Freeze Drying

Freeze drying will be conducted in accordance with the applicable section of the EPA Region 10 Lab Inorganics Draft SOP (In_P3052A). The tissue mass is recorded before and after freeze drying for the purpose of determining the percent moisture tissue content.

If the sample is too large to freeze dry in its entirety, a portion on the homogenized sample may be placed in a beaker using a clean spatula. A sufficient quantity of sample should be transferred that it is likely to be representative of the whole (typically at least 20 g).

Spatulas are cleaned between samples by rinsing with DI or reagent water and wiping with a dust-free wipe.

7.0 Dry Homogenization

Dry homogenization will be conducted in accordance with the applicable section (11.2.3 Particle Size Reduction) of the EPA Region 10 Lab Inorganics Draft SOP (In_P3052A). The freeze dried tissue will be stored in a labelled, certified clean glass or plastic sample container and stored at room temperature until sub-sampling for analysis.

8.0 Subsampling for Analytical Mass

Once the sample has undergone both wet and dry homogenization, it should be a relatively homogeneous powder. Using a clean spatula, stir, scoop and accurately weigh out 0.25 g of the powdered tissue, then transfer to a digestion vessel.

Spatulas are cleaned between samples by rinsing with DI or reagent water and wiping with a dust-free wipe.

9.0 Safety

This procedure requires the use of sharp implements and dry ice. Safety precautions will follow the EPA Region 10 Lab Work Control Plan on the use of sharp tools in tissue preparation along with all applicable in-house operating procedures.

10.0 References

USEPA. 2008. National Rivers and Streams Assessment: Laboratory Methods Manual. EPA-841-B-07-010. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Office of Research and Development, Washington, DC.

IDHW (Idaho Department of Health and Welfare). 2013. Idaho Fish Consumption Advisory Project (IFCAP) Protocol. Bureau of Community and Environmental Health. Idaho Division of Public Health, 2013.

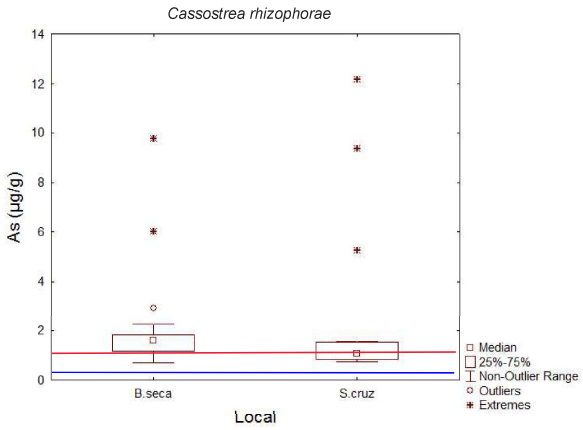
SOP In_P3052A, Draft Standard Operating Procedure for Freeze Drying and Microwaving, US EPA Region 10 Laboratory.

Alloy LLC
All the right elements

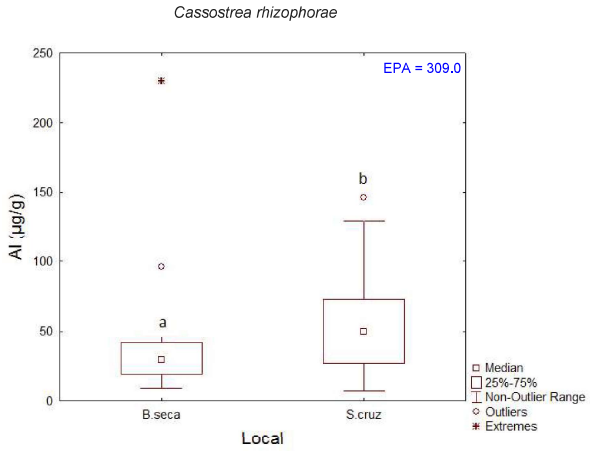
Annex II

Screening of Data Against Regulatory and Risk-Based Screening Criteria

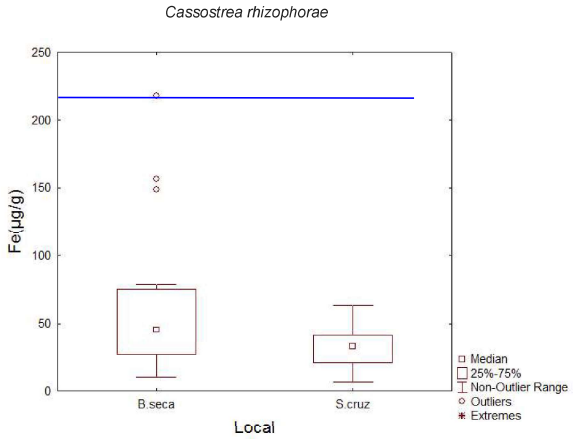
OSTRAS:



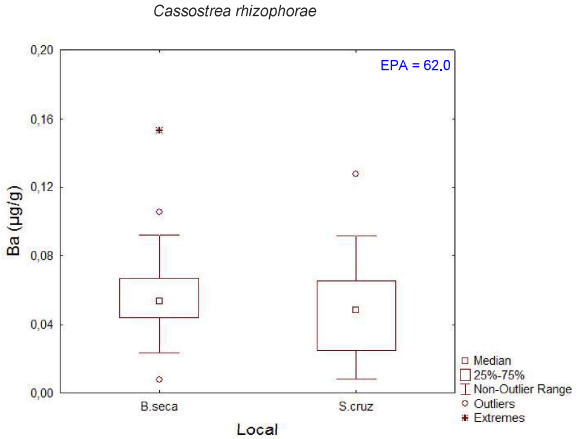
P > 0,05



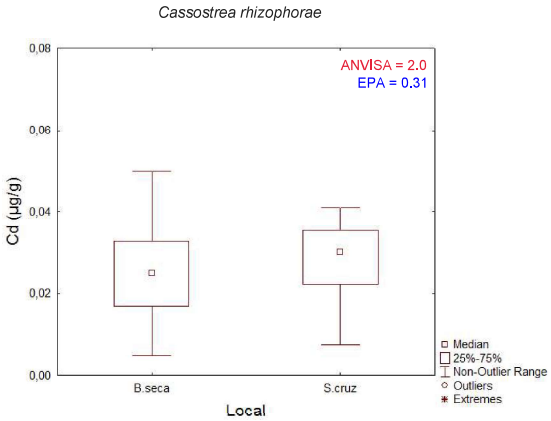
P < 0,05



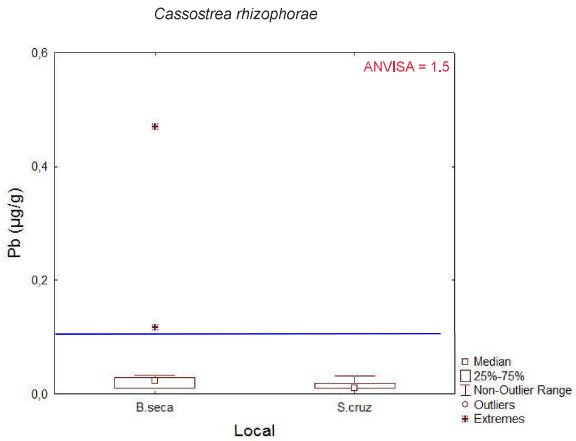
P > 0,05



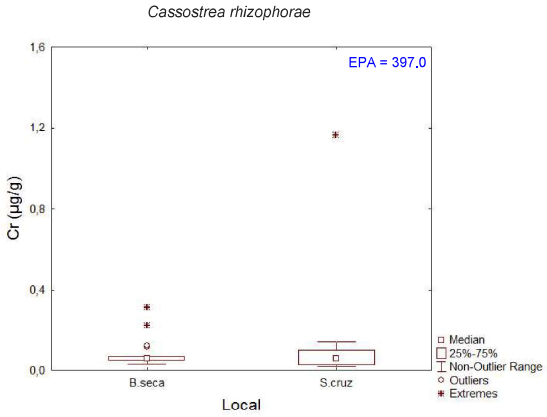
P > 0,05



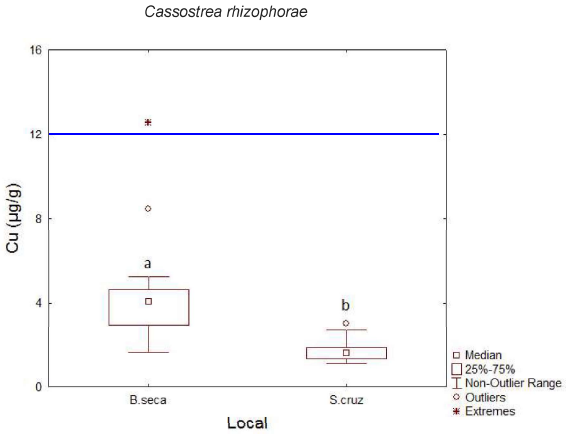
P > 0,05



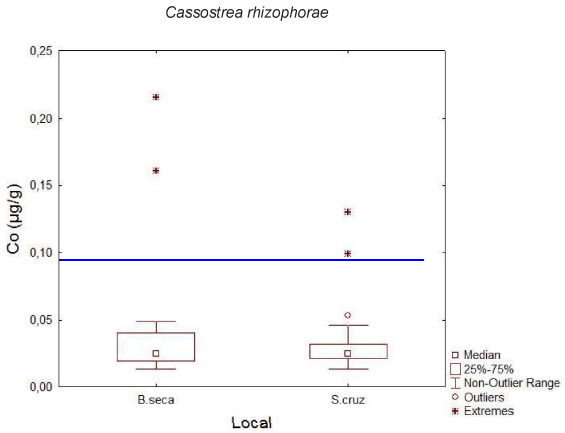
P > 0,05



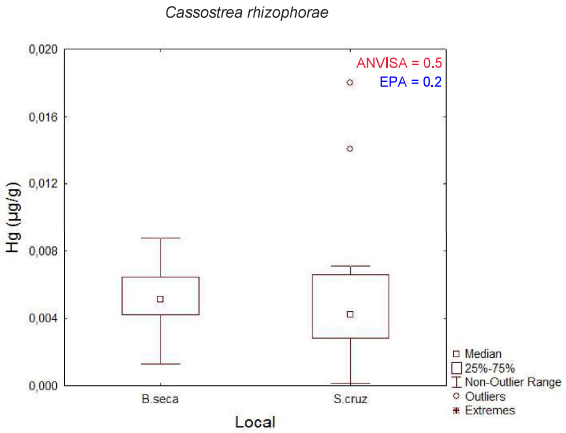
P > 0,05



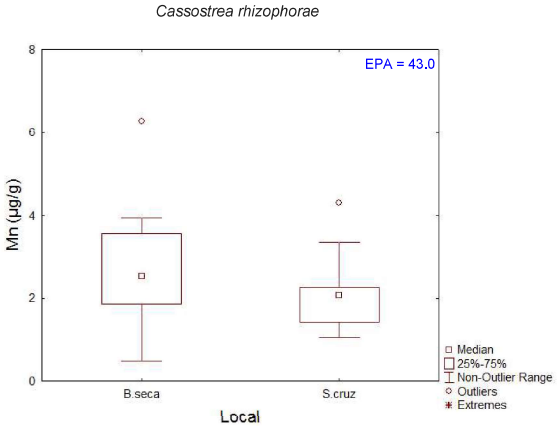
P < 0,0001



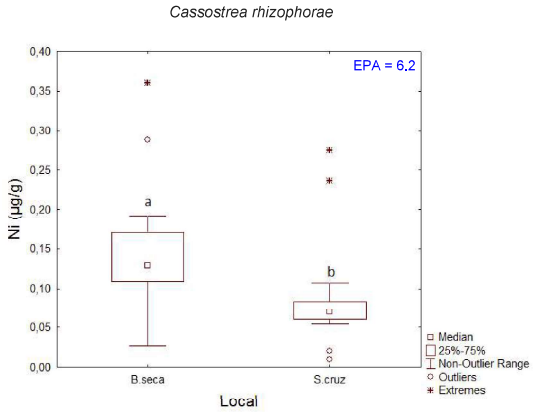
P > 0,05



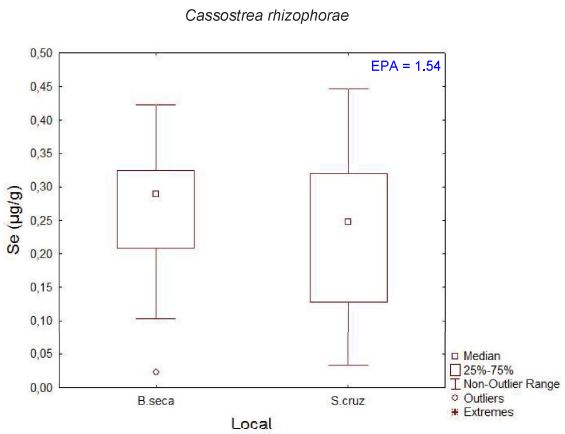
P > 0,05



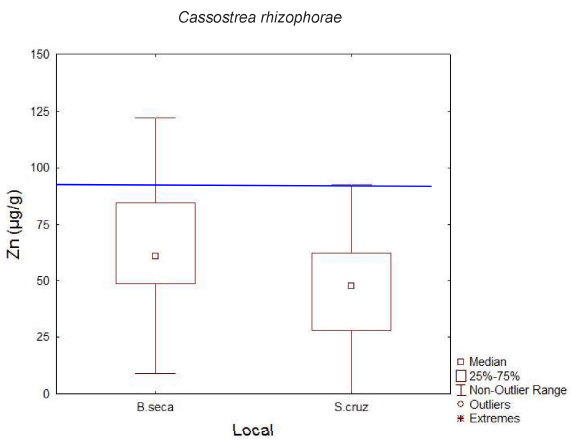
P > 0,05



P < 0,01

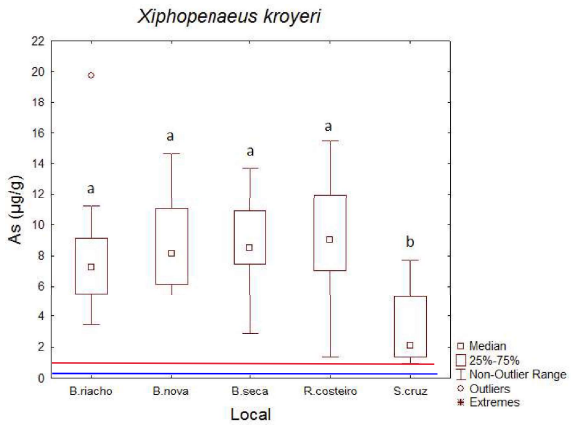


P > 0,05

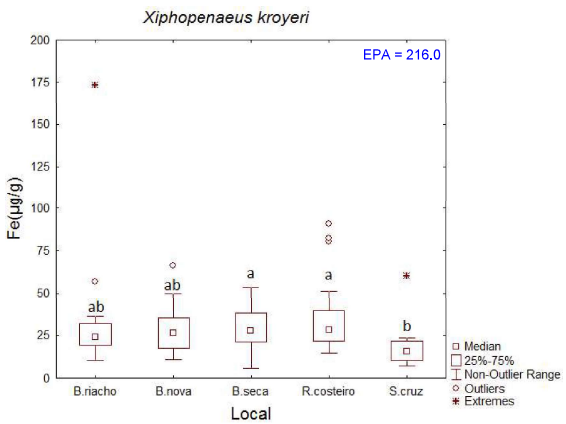


P > 0,05

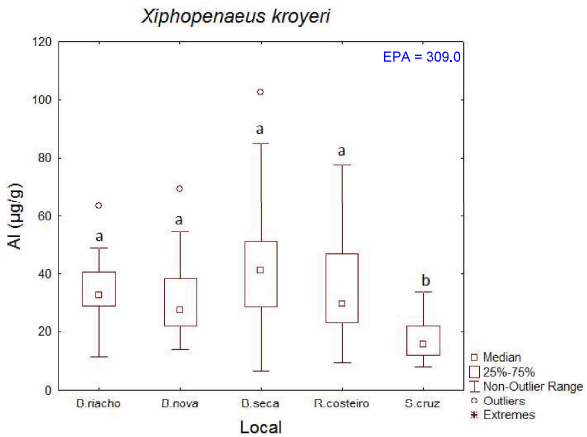
CAMARÕES:



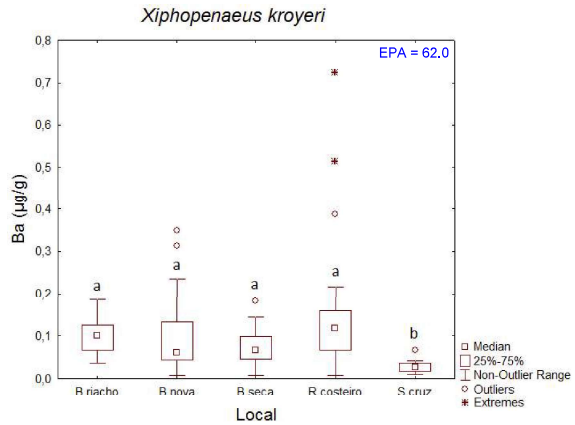
p <0,0001



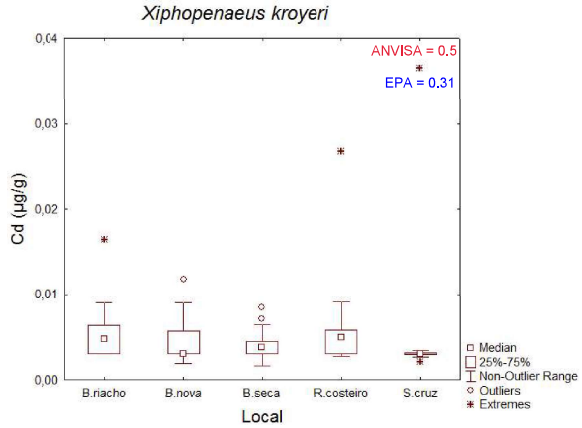
p <0,05



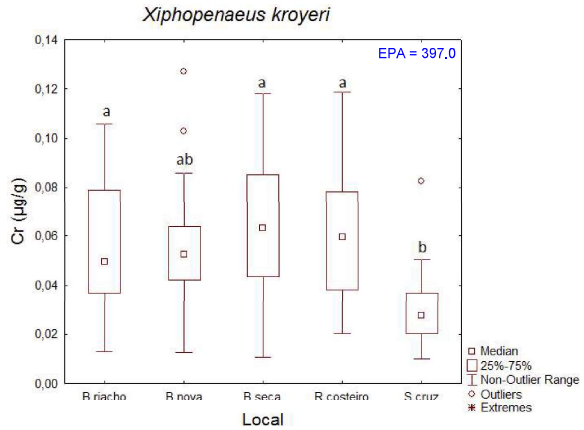
p <0,001



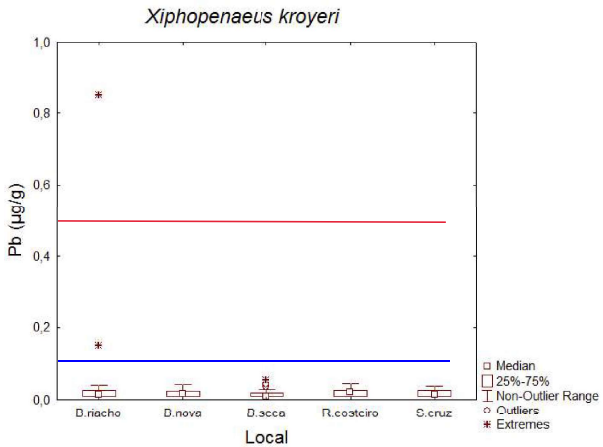
p <0,0001



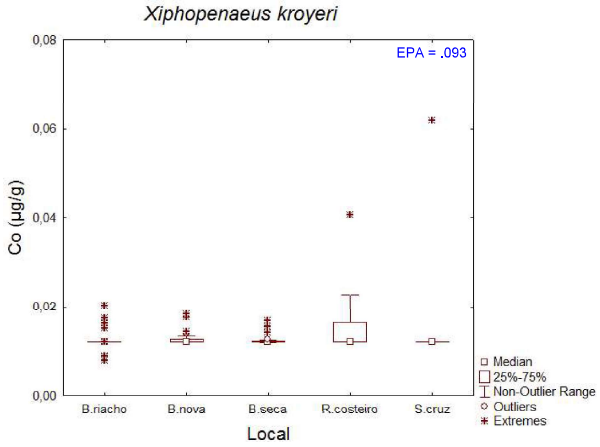
p > 0,05



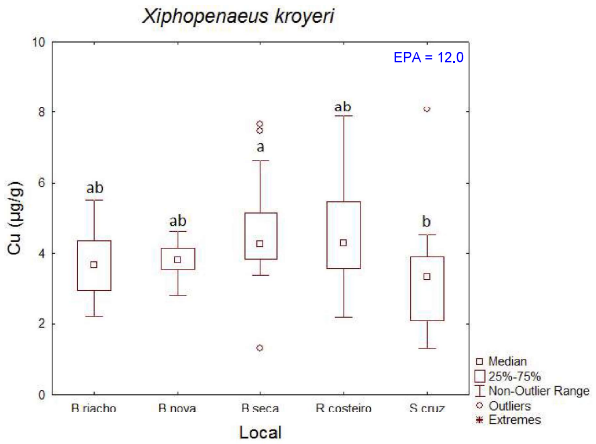
p < 0,05



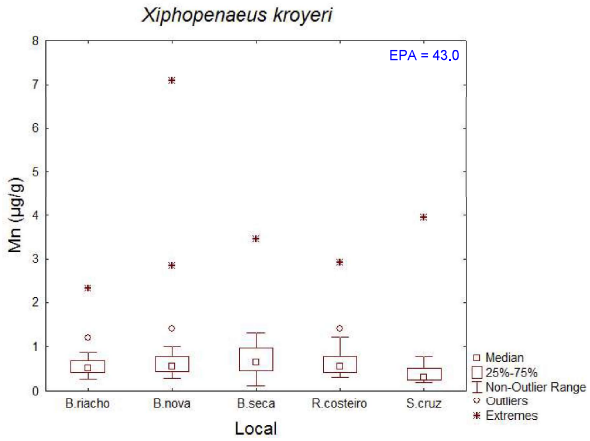
p > 0,05



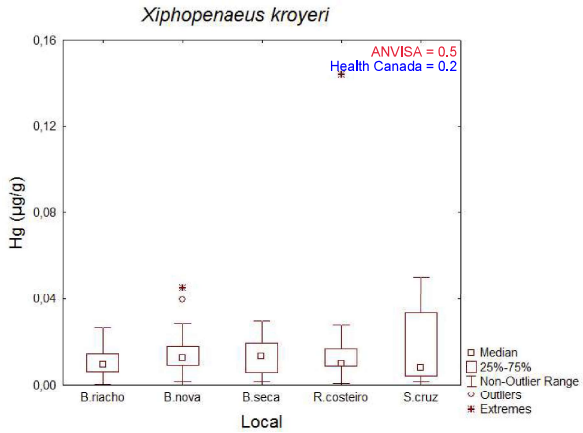
p > 0,05



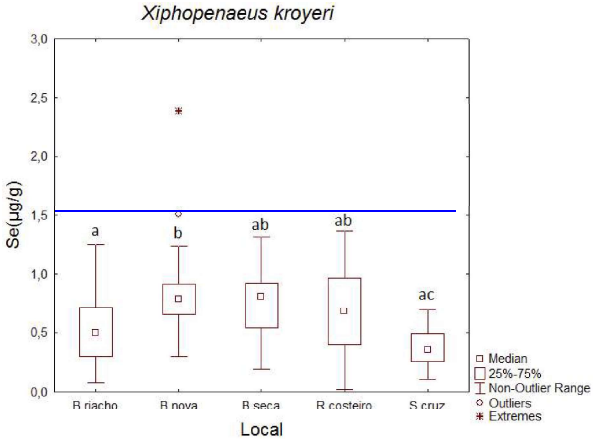
p < 0,05



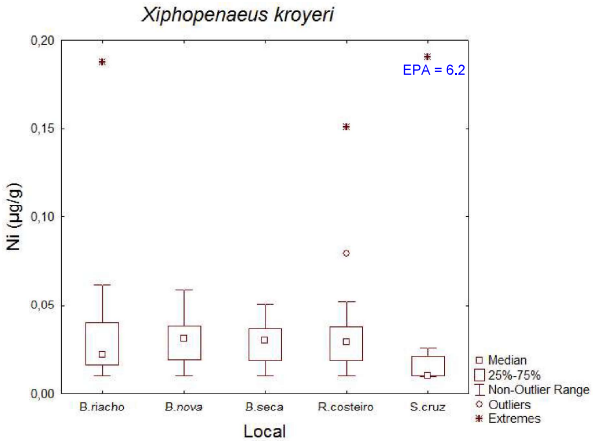
p > 0,05



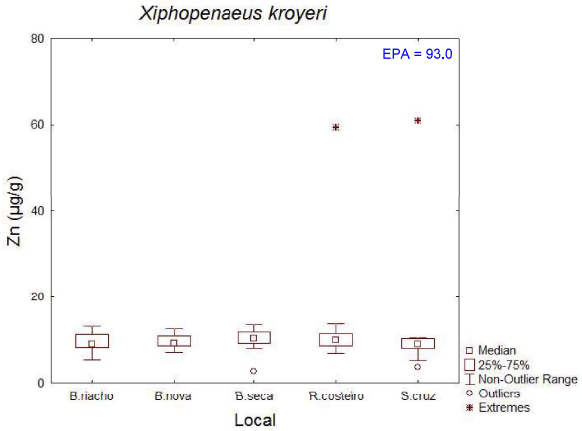
p > 0,05



p < 0,001

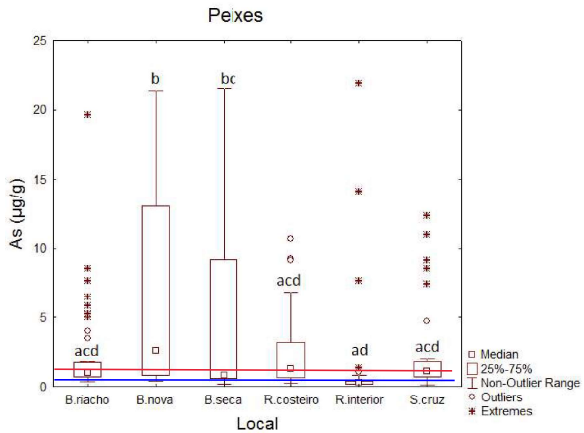


p > 0,05

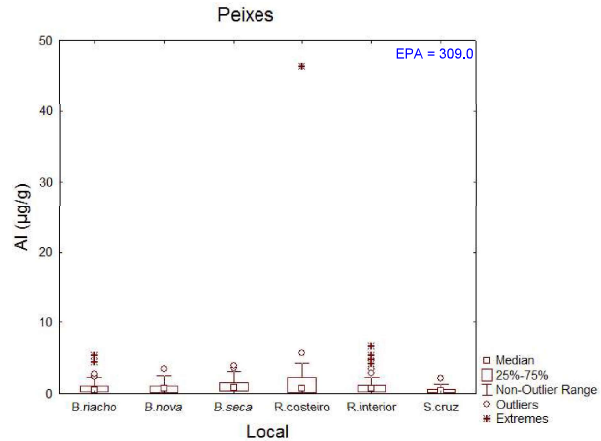


p > 0,05

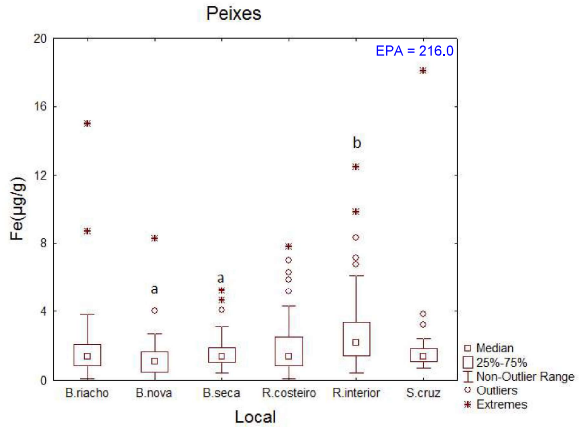
PEIXES:



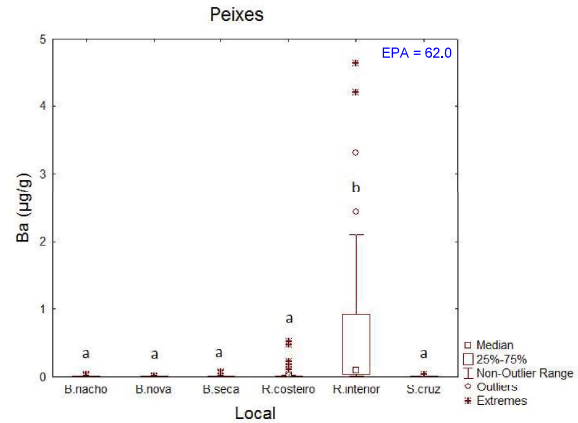
P < 0,0001



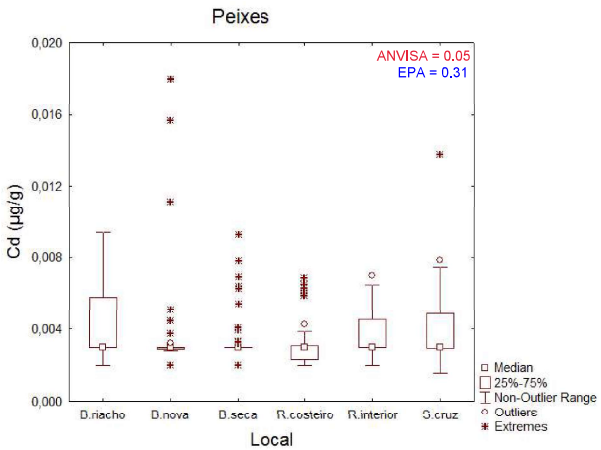
P > 0,05



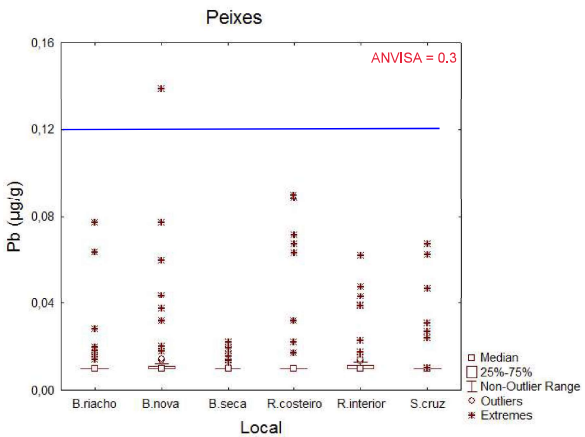
P < 0,0001



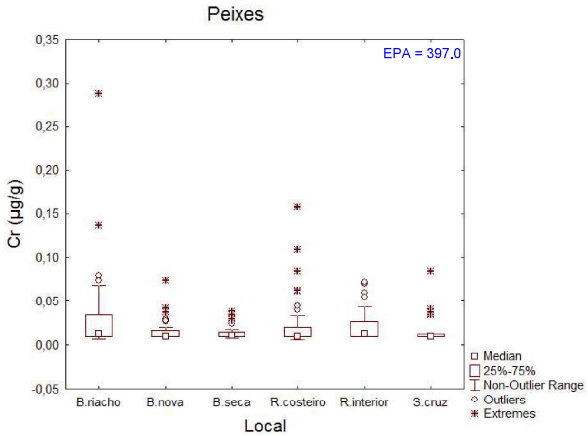
P < 0,0001



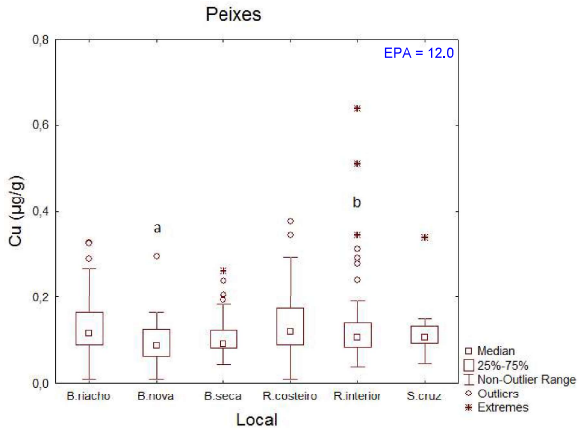
P > 0,05



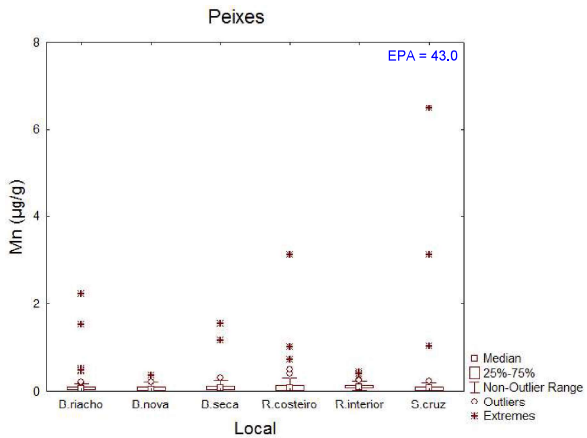
P > 0,05



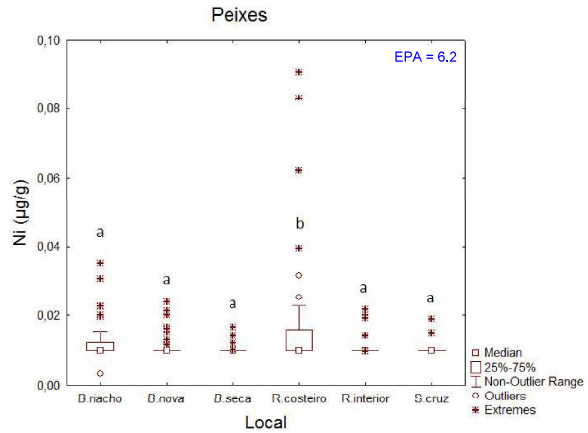
P > 0,05



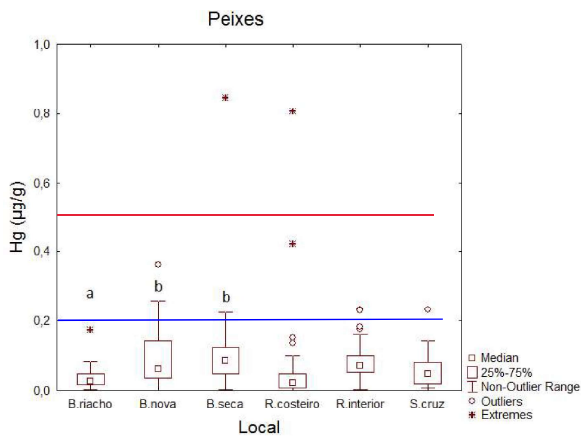
P < 0,05



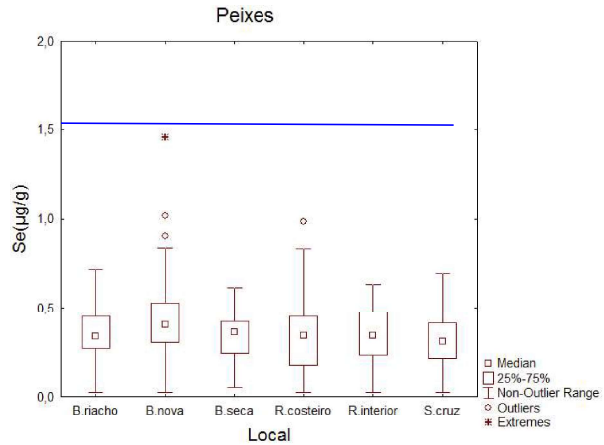
P < 0,05



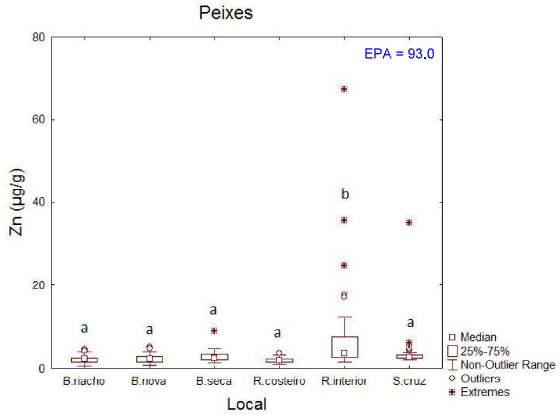
P < 0,001



P < 0,0001



P > 0,05


Peixes
EPA = 93.0
Zn (µg/g)
80
60
40
20
0
a
a
a
a
b
a
B.riacho
B.nova
B.seca
R.costeiro
R.interior
S.cruz
Local
Median
25%-75%
Non-Outlier Range
Outliers
Extremes

P < 0,0001

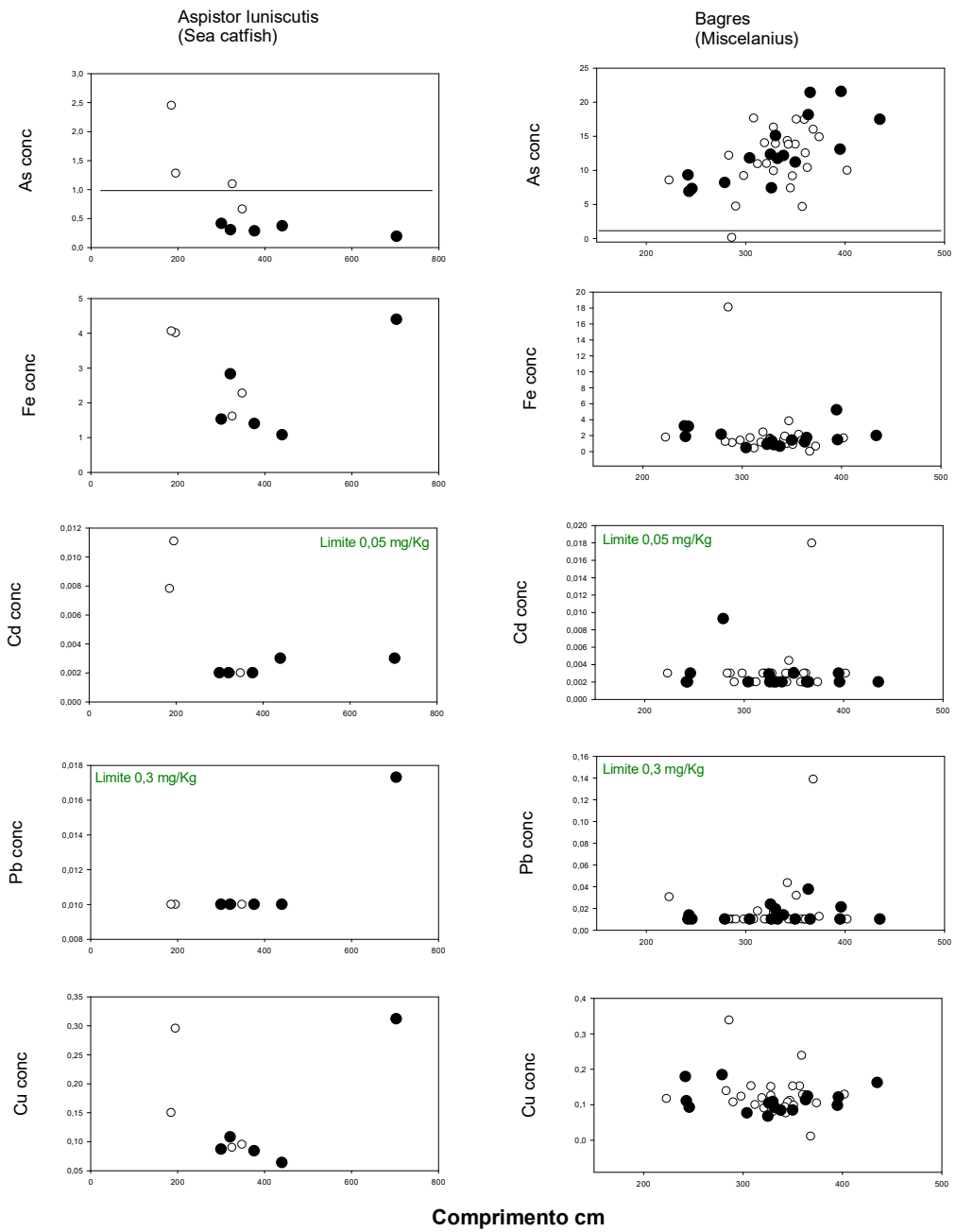
Alloy LLC
All the right elements

Annex III

Fish Tissue Concentrations vs. Fish Length, Sorted by Species

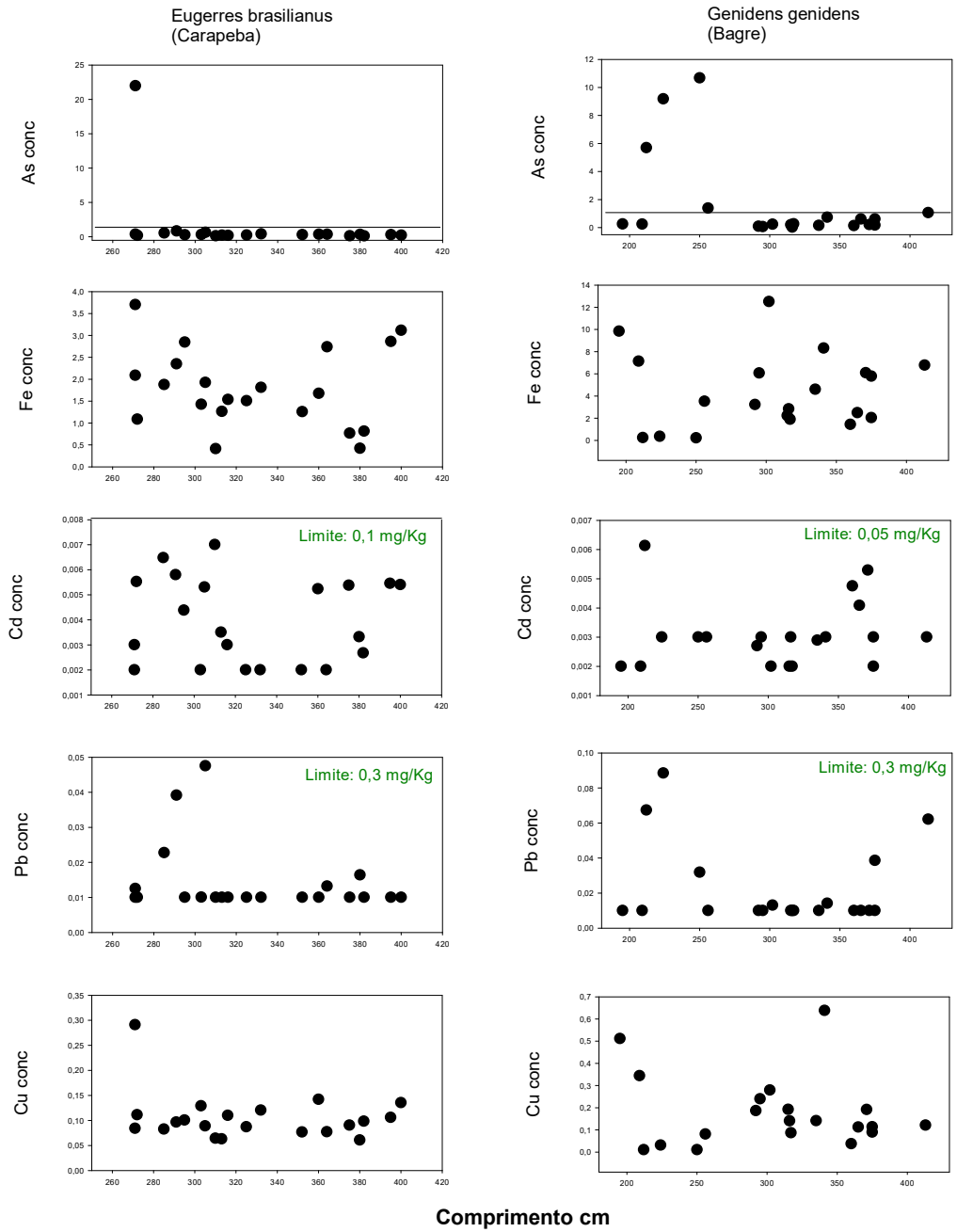
Data Analysis Prepared by

Luís Felipe Niencheski

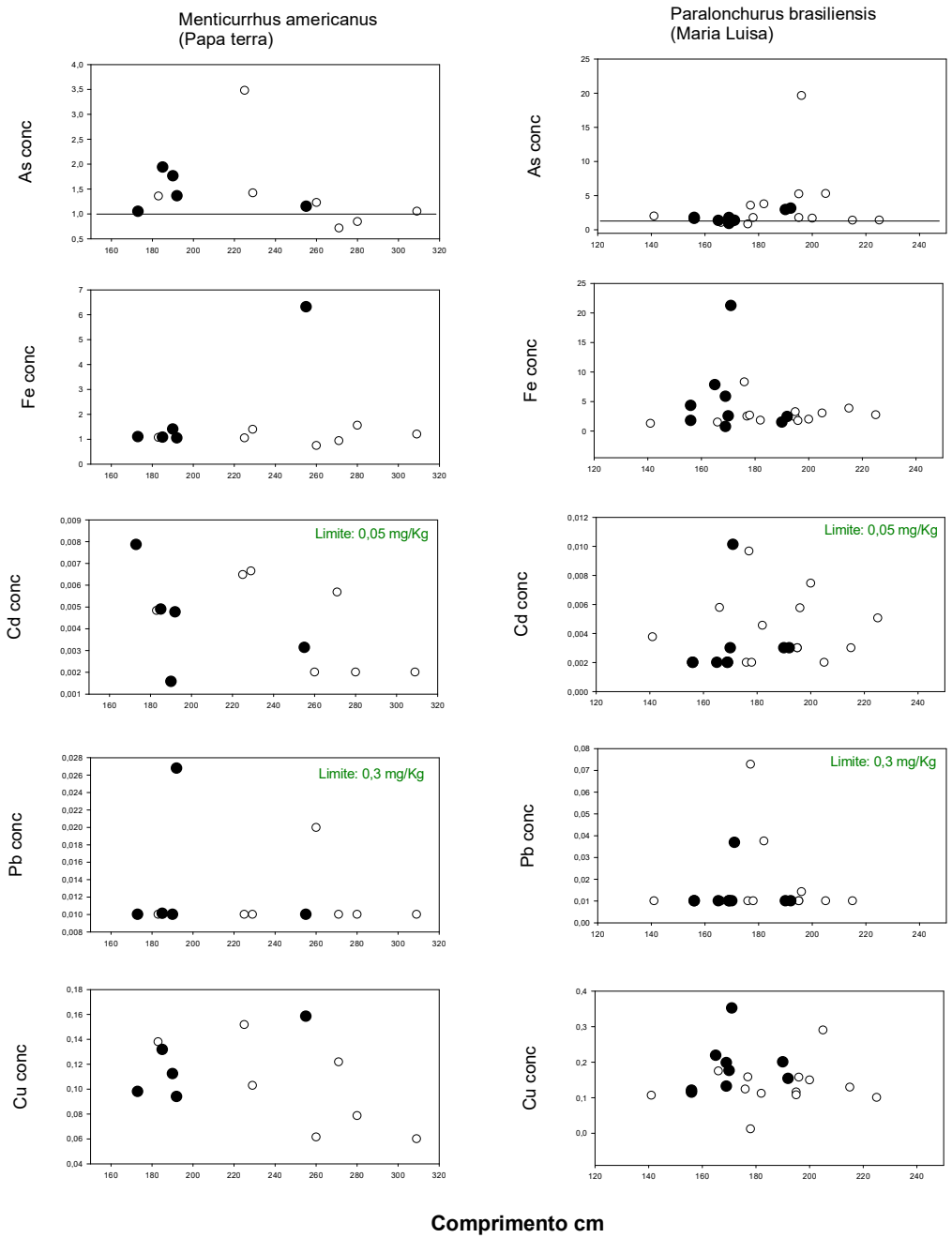


Limites: Diário Oficial da União - Seção 1, No. 168, 30 de agosto de 2013.

Open dot outside the plume
Black dot inside the plume



Limites: Diário Oficial da União - Seção 1, No. 168, 30 de agosto de 2013.
Para carapeba, o limite é de 0,10 mg/Kg.



Limites: Diário Oficial da União - Seção 1, No. 168, 30 de agosto de 2013.

CAPÍTULO 5

ASPECTOS ECOLÓGICOS RELATIVOS AO RIO DOCE

Dr. José Galizia Tundisi

São Carlos, 10 de Agosto de 2018.

À **Aplysia**,

Prezados Senhores,

Encaminho os relatórios das análises realizadas quanto à biodiversidade, qualidade das águas e sedimentos, recomendações e conclusões gerais apresentadas.

Atenciosamente,

Prof. José Galizia Tundisi

BIODIVERSIDADE

1- Biodiversidade – Conceitos Gerais.

Biodiversidade – o conjunto de organismos terrestres e aquáticos que habitam e interagem em uma bacia hidrográfica, é um componente essencial de sustentabilidade. Sem o componente biológico que é aquele que replica a estrutura genética das populações e permite a sua sobrevivência e expansão, há o comprometimento de toda a cadeia de processos funcionais e dinâmicos que mantêm a sustentabilidade de bacias hidrográficas, rios, riachos, áreas alagadas e represas. A biodiversidade, além de ser um componente essencial do funcionamento dos ecossistemas, mantendo as suas principais características e sustentando a perpetuação do componente biológico, tem outro papel importante que é a interação com a economia local e regional e com a exploração racional dos recursos naturais. (Wilson, 1988)

Portanto, sustentabilidade, biodiversidade, economia e processos socioambientais, estão inter-relacionados de forma dinâmica, profunda e complexa. (Caradonna 2014)

2- Biodiversidade na Bacia do Rio Doce – Impactos.

A recuperação da biodiversidade da bacia do Rio Doce, afetada pelo rompimento da barragem da SAMARCO em Mariana em Novembro de 2015, é um dos requisitos fundamentais no processo geral de recuperação do Rio Doce e sua bacia hidrográfica. Esta recuperação implica, além do conjunto de toda a biodiversidade regional, na recuperação e do estoque pesqueiro e na futura liberação da pesca para a exploração racional e comercial. Estes são os requisitos básicos para o pleno funcionamento do ecossistema em seus aspectos ecológicos, econômicos e sociais.

Deve-se, entretanto, atentar que o Rio Doce antes do descarte e acidente da SAMARCO em Mariana já vinha sendo afetado por impactos decorrentes das várias atividades humanas desenvolvidas na bacia. Contaminação fecal, bactérias entéricas e cianobactérias foram detectadas em inúmeras análises e coletas de material ao longo de anos efetuadas por órgãos estaduais.

Esta degradação era gerada principalmente pela ausência de tratamento de esgotos de muitos municípios da bacia hidrográfica. Esgotos in natura, sem tratamento, despejados ao longo de anos, agravaram o quadro de degradação ambiental do rio, refletindo nas análises de qualidade da água. A presença de componentes biológicos como *Oligochaeta*

e *Insecta* relacionada à carga orgânica do rio foi relatada constantemente demonstrado o estagio de acúmulo de matéria orgânica na água e sedimento. Presença de cianobactérias e análises metagenômicas, indicam contaminação fecal por efluentes de esgotos não tratados com grande disponibilidade de matéria orgânica particulada e dissolvidos.

As análises realizadas pós acidente foram amplas e bem distribuídas para avaliação dos efeitos da descarga dos rejeitos da barragem e abordam os seguintes temas fundamentais:

a) *Biogeoquímica da água;*
b) *Análises microbianas de água e sedimento;*
c) *Biodiversidade metagenômica;*
d) *Plancton;*
e) *Bentos;*
f) *Ictiofauna;*
g) *Quantificação dos danos à vegetação.*

As análises referentes à qualidade da água após o rompimento da barragem, uma das principais alterações está relacionada à condutividade elétrica elevada nas áreas afetadas. Amostras de condutividade a montante não apresentam altas taxas. Alta condutividade é fator que contribui para redução da biodiversidade de espécies fluviais que estão bem adaptadas a médias ou baixas condutividades dependendo da hidrogeoquímica regional. Zonas de maior concentração de material particulado em suspensão foram encontradas. Em trabalho realizado por Lanna et al (2017) demonstrou-se que Fe++ em amostras de material em suspensão pode atuar como atrator para adsorção de vírus possibilitando segregação de vírus da água para o sedimento e o material em suspensão. Este é outro efeito decorrente do acumulo de material em suspensão com grande concentração de ferro em sua composição.

<u>Ictiofauna</u> – a ictiofauna do Rio Doce apresentava 71 espécies nativas de peixes, sendo 11 ameaçadas de extinção antes do rompimento da barragem em Novembro de 2015. Portanto, dezenas de espécies nativas faziam parte da ictiofauna fluvial do Rio Doce e tributários antes do acidente. As análises realizadas após o acidente detectaram 31 espécies de 22 gêneros e 18 famílias. Parcela muito reduzida da fauna iictica é de espécies nativas. A espécie mais abundante coletada na fase depois do acidente foi *Oreochromis niloticus* (tilápia) espécie introduzida. Duas espécies não nativas,

introduzidas: *Oreochromis niloticus* e *Coptodon rendalli* contribuíram com 59% dos espécimens coletadas.

As espécies do gênero *Astyanax spp* são comuns em todos os rios da região, tributários e rios principais. A ausência de *Astyanax spp* das amostras coletadas é evidência da degradação da qualidade da água e perda da biodiversidade de ictiofauna local, dos quais sete espécies são nativas e quatro introduzidas. As listas de espécies, proporções relativas entre nativas e introduzidas, pontos de ocorrência, indicam que a ictiofauna atual do Rio Doce, está comprometida pelo acidente. Espécies da família *Poeciliidae* (nativa) presentes são resistentes à poluição e áreas degradadas. *Oreochromis niloticus* (tilápia) é uma espécie que mantêm robustez e resiliência em condições de contaminação e de crise o que explica sua dominância após o acidente de Mariana.

A redução da biodiversidade de peixes e a alteração na estrutura e composição de espécies, evidenciam os impactos produzidos na ictiofauna fluvial: baixa biodiversidade, baixo "standing stock" de ictiofauna. Ausência de espécies indicadores de rios da região neotropical como *Astyanax spp* indicam impactos. Deve-se ainda destacar: alterações das redes alimentares produzidas pelo impacto na fauna iictica, e mudanças no estoque, prejudicando as atividades comerciais de pesca, e alimentação da população regional.

3- Fauna bentônica.

Os indicadores de riqueza, diversidade e dominância de táxons diferem significantemente entre as localidades amostradas. Isto significa que acumulo de matéria orgânica e de material resultante do acidente que se distribui de forma diferenciada. A presença de representantes da família *Naididae* (*Oligochaeta*) implica em alta contaminação orgânica, e resulta do saneamento deficiente do Rio Doce em função do despejo de esgotos.

4- Ictiofauna dos recifes.

A composição da rede trófica e da comunidade iictica, dos recifes, indicam tendência de redução no número de espécies. Uma drástica redução de carnívoros ocorreu com a alteração das redes alimentares. A perda de riqueza de carnívoros nesta comunidade foi de 51% e de onívoros 71%. O número total de espécies nos recifes variou de 73 para 35 e como já descrito a fauna iictica de carnívoros passou de 74% para 68% depois do acidente, com aumento de herbívoros. Portanto, alterações tróficas nestas comunidades também ocorreram. Portanto, como conseqüências do acidente da barragem de Mariana, os relatórios indicam redução na biodiversidade de peixes e alteração nas redes tróficas; redução da fauna bentônica; redução das espécies da fauna iictica dos recifes. Deve-se ainda considerar como relevante a contribuição dos esgotos das cidades e a contaminação orgânica resultante destes esgotos não tratados.

5- Análise dos impactos na vegetação.

Componente essencial de paisagem terrestre e de vital importância para a dinâmica do Rio Doce e seus tributários a vegetação sofreu impactos significativos após o rompimento da barragem. A metodologia utilizada para a identificação da vegetação, foi realizada através de imagens de satélite com excelente resolução, que classificou a vegetação fotossinteticamente ativa (absorção no vermelho).

Os impactos sobre os remanescentes florestais foram estudados desde a área de rompimento da barragem até a barragem Risoleta Neves. Foram analisados: 125 km de cursos de água; 70 km no Rio Gualaxo do Norte; 7 km Rio Santarém; 30 km Rio do Carmo; 18 km Rio Doce.

Foram analisadas áreas de vegetação florestal antes do rompimento da barragem; áreas de vegetação florestal depois do rompimento da barragem; demais áreas afetadas pelo rompimento da barragem.

Quadro I

Superfície	Época	Área Total (ha)	Área afetada (ha)	Variação
Áreas alagadas (Áreas do Rio)	Antes do rompimento	662,9		
Vegetação florestal	Antes do rompimento	11.343,00		
Todas as áreas alagadas: área do rio, urbanas, vegetação florestal, agricultura, pastos, campos	Após o rompimento	1.839,50	1.176,10	+277,3
Apenas vegetação	Após o rompimento	10.785,45	457,6	-4,1

Ocorreu uma extrusão dos impactos sobre os remanescentes vegetais que ocasionaram impactos nas florestas riparias até 74 km distantes do ponto de rompimento da barragem. A perda acumulada em hectares desta vegetação riparia foi de 457.60 hectares. O impacto nas florestas riparias até 74 km após o rompimento, como já descrito, foi imenso. Após esta região o impacto foi muito menor. As florestas afetadas são: florestas riparias, floresta estacional semi-decidual nos estágios iniciais e médios de recuperação; estas florestas contêm 34 espécies nativas endêmicas de Mata Atlântica. A vegetação riparia como já descrito foi afetada em 457,6 hectares.

A perda de vegetação florestal terrestre e da vegetação riparia (vegetação ciliar) é um impacto severo sobre a dinâmica ecológica do Rio Doce e seus tributários. A vegetação ciliar, principalmente protege a qualidade de água, pela sua capacidade de reter nutrientes e material em suspensão. Além disto a vegetação ciliar fornece matéria orgânica, através de folhas e detritos vegetais que serão importantes no estabelecimento das cadeias alimentares dos rios e tributários. A diversidade da fauna bentônica e da ictiofauna fluvial dependem desta vegetação. (Tundisi & Matsumura Tundisi 2013) O conjunto de impactos do rompimento da barragem sobre a vegetação impulsiona vários efeitos sinérgicos que afetam a qualidade das águas, a diversidade da fauna e o estoque da fauna bentônica e da fauna iictica fluvial.

6- Conclusões.

A biodiversidade terrestre e aquática na bacia do Rio Doce foi fortemente afetada pelo rompimento da barragem de Mariana em Novembro de 2015. Vegetação florestal, vegetação riparia, fauna iictica fluvial e de recifes sofreram redução na biodiversidade com efeitos sinérgicos resultantes de modificação nos processos dinâmicos e interativos que ocorreram entre os diversos componentes do sistema. Por exemplo vegetação riparia (mata ciliar) é fundamental para a dinâmica fluvial e para as cadeias alimentares nos tributários e no Rio Doce.

7- Recomendações.

Os resultados evidenciam a necessidade de recomposição maciça da vegetação terrestre, e especialmente da vegetação ciliar. Estas ações possibilitarão uma recuperação mais rápida do rio e seus tributários contribuindo para a recuperação do ecossistema. A introdução de propostas como o PSA (Pagamento por Serviços Ambientais) pode auxiliar muito na recuperação da vegetação e conseqüentemente da fauna aquática.

Quanto à recuperação da biodiversidade das espécies de fauna iictica fluvial há dependência de dois fatores importantes neste processo: uma é a recomposição da vegetação ciliar e da biodiversidade da vegetação terrestre, processo de médio e longo prazo mas com conseqüências efetivas. Outro fator é a proteção e conservação de áreas não afetadas. É de conhecimento geral que a fauna iictica fluvial tem áreas de reprodução situadas na cabeceira de tributários. (Agostinho et al 1999)

Áreas de reprodução de espécies nestes tributários podem servir como proteção e recuperação de espécies nativas que vão depois se deslocar ao longo de seu processo vital, para o rio principal. Desta forma esta recuperação pode ser mais rápida. Deve ser acompanhada por monitoramento permanente e ações intensivas de proteção e conservação.

Outras ações importantes para a recuperação da fauna iictica são as áreas alagadas, como brejos, com vegetação fixa e flutuante de macrófitas aquáticas. São áreas também reconhecidas como “Nursery grounds” (viveiros de reprodução de peixes) e sua

preservação pode auxiliar muito na recuperação dos tributários e do rio principal quanto à fauna iictica. (Jorgensen, Tundisi & Matsumura Tundisi 2013).

A preservação de mosaicos de vegetação ainda existentes, e de áreas alagadas remanescentes é outra técnica que pode ser utilizada com sucesso para recuperar a biodiversidade da região. Experiências em muitos ecossistemas degradados têm demonstrado que se núcleos remanescentes de vegetação e áreas alagadas foram protegidos haverá maior rapidez na recuperação do rio e de seus tributários e da bacia hidrográfica. (Cairns J. 1987)

O relatório sobre biodiversidade que analisei foi o seguinte:

Avaliação dos danos decorrentes do rompimento da barragem ao longo da Bacia do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente – Biodiversidade COPPETEC/Fundação 2017 79 pp. Este trabalho foi executado entre 11 e 19 de Setembro de 2016, com 5 pontos de coleta no Rio Doce, 2 pontos de coleta no estuário e 2 pontos nas águas costeiras. Adicionalmente em Setembro de 2016 foram analisadas imagens de satélite para avaliar os danos à vegetação ripária e terrestre.

Referências:

Agostinho A. A. et al Patterns of colonization in neotropical reservoirs and prognoses on aging. In: Tundisi J.G. and Straskraba M. Theoretical reservoir ecology and its applications. pp. 227-266. Brazilian Academy of Sciences; International Institute of Ecology; Backhuys Publishers. 585 pp. 1999.

Caradonna J. L. Sustainability: a history. Oxford University Press. 331 pp. 2014.

Cairns J. Jr. Disturbed ecosystems as opportunities of research in restoration ecology. Pp. 307-320. In: Jordam III W. R. et al (Editors). Restoration Ecology: a Synthetic approach to Ecological Research. Cambrigde Univ. Press.

Jorgensen S. E.; Tundisi J. G.; Matsumura Tundisi T.; Handbook of in land aquatic ecosystem management. CRC Press, London 422 pp. 2013.

Lanna M. C. S. et al Iron as putative enteric vírus precipitation in water from affected áreas by mine dam burst in Minas Gerais State, Brazil. XXVIII Congresso Brasileiro de Virologia, Belo Horizonte pp 1. 2017.

Tundisi J. G. & Matsumura Tundisi T. Limnologia. Oficina de Textos. 632 pp. 2013.

Wilson E. (Editor). Biodiversity. 521 pp. 1988.

QUALIDADE DA ÁGUA

1- Qualidade da Água – Conceitos Gerais.

Todos os corpos de água continentais são interconectados via ciclo hidrológico, águas superficiais, águas subterrâneas, atmosfera. Hidrologia, componentes físico químicos e componentes biológicos são fundamentais. Portanto a água constitui um continuum com diferentes estágios de água de precipitação a águas costeiras.

A qualidade da água, pode ser definida como:

i. *O conjunto de concentrações, especiações e partições de substâncias orgânicas e inorgânicas;*
ii. *A composição e o estado da biota aquática de um corpo de água.*

A poluição do ecossistema aquático significa a introdução, pelo homem, diretamente ou indiretamente de substâncias ou energia que resultam em efeitos deletérios aos recursos hídricos; aos organismos vivos; à saúde humana; ou efeitos que impedem os usos múltiplos da água para o abastecimento público, indústria ou agricultura; alteração das condições do meio aquático afetando pesca, recreação ou contato imediato com a água. (Chapman, 1992)

2- Monitoramento da qualidade de água do Rio Doce e tributários.

O programa de monitoramento da qualidade de água do Rio Doce e seus tributários têm, características bem definidas. Monitoramento de longo prazo, estabelecido para avaliar a conformidade dos parâmetros da Qualidade de Água pelo CONAMA 357, e seguindo a Portaria 2914 padrão de potabilidade já vinha sendo efetuado por muito tempo antes do rompimento da barragem em Mariana em Novembro 2015. Para análise dos períodos anteriores ao rompimento da barragem foram considerados os dados de monitoramento ordinário e programas regulares. Para os períodos subseqüentes referentes ao pós-acidente, registraram-se dados coletados em campanhas especiais de monitoramento. Deve-se ainda enfatizar que o Rio Doce está enquadrado na classe 2 podendo-se captar, tratar água para consumo humano, agricultura, pesca e recreação. A avaliação da qualidade de água foi realizada com a seguinte seqüência:

a) Amostragens antes do acidente 2014-2015.
b) Amostragens 2014-2015 período chuvoso.

c) Amostragens 2014-2015 período seco.

d) Amostragens após o acidente em Novembro de 2015 – Agosto de 2016.

Todas as amostragens foram realizadas em atendimento a requerimentos específicos à ANA; IBAMA; IGAM-MG; IEMA-ES; FUNAI; MPMG; MPES. A responsabilidade destas coletas é da SAMARCO.

Considerando todas as campanhas de monitoramento, a caracterização da qualidade da água do Rio Doce, abarca a análise de 87 diferentes parâmetros dos quais somente 39 encontram-se previstos na Resolução CONAMA 357. O universo de 42 parâmetros foi o utilizado para a análise de conformidade ambiental da qualidade das águas. O estudo COPPE baseou-se em 22 pontos de monitoramento como base espacial para coleta de amostras. Deve-se destacar que a organização espaço-temporal da amostragem para coleta da qualidade de água está adequada pois a rede foi otimizada em função da Base IGAM, Base SAMARCO, Base SAMARCO IEMA. Estes pontos de coleta constituem, portanto, uma ampla base para avaliação das conformidades.

Deve-se destacar deste estudo e das avaliações que:

No período anterior ao acidente, turbidez, fósforo, sólidos totais suspensos, não atendiam integralmente nos 22 pontos de monitoramento, aos padrões de resolução CONAMA 357. Ou seja, o Rio Doce já continha contaminantes antes do impacto do acidente. Estes impactos eram devidos, em parte ao despejo de esgotos não tratados que contaminavam o Rio Doce. O persistente desatendimento dos parâmetros Fósforo e Coliformes termotolerantes são decorrentes do lançamento de esgotos não tratados nos cursos de água tributários e Rio Doce (SIC, COPPE Fundação).

Antes do acidente (2014/2015) e considerando-se os 42 parâmetros da qualidade de água, nenhum ponto de monitoramento satisfazia plenamente e integralmente CONAMA 357; em 4 pontos de coleta ocorria 75% de conformidade dos parâmetros de qualidade de água analisados. Fosfato total, fosfato inorgânico, nitrato, nitrito resultantes da descarga de esgotos já ocorriam no Rio Doce e tributários.

Deve-se ainda considerar que a complexa província geológica e geomorfológica afeta a hidrogeoquímica regional, com maior enriquecimento de metais o que altera a qualidade da água. Para os metais a maioria das amostras apresentou conformidade com CONAMA 357 para classe 2 antes do acidente. Todos os dados levantados antes do

acidente basearam-se nos registros de dados do IGAM (Banco de Dados do IGAM) que correspondem ao programa ordinário e regular do monitoramento.

Resultados de toxicidade realizados com *Vibrio fischeri* apresentaram toxicidade nos rios Carmo e Rio Doce. Esta toxicidade foi moderada segundo os resultados. Verificou-se também que estes resultados antes do acidente, apresentavam desconformidades com CONAMA 357 em locais específicos não ocorrendo uma contaminação geral nos tributários e Rio Doce. Isto evidencia um processo de acúmulo de matéria orgânica dissolvida e em suspensão em regiões de menor circulação ou em áreas imediatamente a jusante de despejos de esgotos domésticos. Tais processos foram evidenciados com os parâmetros turbidez e nitrato. Em alguns pontos específicos foram relatadas inconformidades referentes à Fe, Al, Mn.

No período anterior ao acidente observa-se também maior incidência de sulfetos. Dos 22 pontos de monitoramento, dentre 30 parâmetros de qualidade da água mensurados, somente em 17 destes pontos estavam em conformidade com o CONAMA 357.

3- Eventos pós-acidente.

Após o acidente de Mariana, ocorreram as seguintes desconformidades com o CONAMA 357:

Fósforo Total – manteve a desconformidade após o acidente como ocorria antes do evento.

Manganês – Alta desconformidade após o acidente.

Mercúrio – Alta desconformidade após o acidente.

Zinco – Pouca desconformidade após o acidente.

Ferro – Aumento e desconformidade com o CONAMA 357 após o acidente.

Coliformes termotolerantes – Alta desconformidade depois do acidente.

Alumínio – Alta desconformidade após o acidente.

Arsênio – Inexistente.

Bário – Inexistente.

Cádmio – Em conformidade com o CONAMA 357.

Cobalto – Em conformidade com o CONAMA 357.

Cianeto – Em conformidade com o CONAMA 357.

Clorofila – Total conformidade com o CONAMA 357.

4- Dados comparativos de qualidade da água: conformidade ambiental - atendimento do conjunto de parâmetros.

As figuras 2, 3 e 4 mostram o padrão de conformidade ambiental referente aos períodos seco e chuvoso em valores absolutos em 2014 e 2015, antes do acidente de Mariana.

As figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam os dados referentes a conformidade ambiental ao CONAMA 357 pelo conjunto de parâmetros imediatamente após o acidente. Verificou-se, portanto amplo impacto em todo o conjunto de 42 parâmetros correspondente aos efeitos do acidente. Especialmente a figura 5, Novembro/Dezembro de 2015 é ilustrativa deste processo. Já as figuras 7 e 8 são ilustrativas de que em Maio/Junho de 2016 houve muito mais conformidade no conjunto de parâmetros o que evidencia a fase de recuperação do Rio Doce e tributários. Conformidades entre 75% e 100% e iguais a 100% foram observadas neste período.

Segundo o relatório da COPPETEC/Fundação destaca-se que nos períodos posteriores ao acidente e considerando os 22 pontos de monitoramento, os seguintes parâmetros de qualidade da água atenderam integralmente ao padrão da Resolução CONAMA 357.

a) Em Nov/Dez 2015 – Dureza (Exceto ponto ES06), Lítio e Selênio.
b) Em Jan/Fev 2016 – Sulfato, Bário, Boro, Berílio, Cobalto, Nitrogênio amoniacal (exceto ES06), Cloreto (exceto MG07), Níquel, Mercúrio e Sódio.
c) Em Mai/Jun 2016 – STD (Exceto MG05); Cádmio (exceto MG01/04), Chumbo (exceto MG09); Cianeto (ES06); Cloro residual; Cromo (exceto ES06); Fluoreto e Zinco (exceto ES04).
d) Em Jul/Ago 2016 – DBO, OD, pH, (exceto ES06), Cor verdadeira, Sulfetos (ES05), Alumínio, Cobre, Ferro (exceto MG01/04) Chumbo e Fenóis.

Portanto, a não ser em alguns pontos específicos em geral ocorreram conformidades com o padrão CONAMA 357. No período Jul/Ago de 2016 observa-se, portanto, que todos os 42 parâmetros de qualidade da água da base de estudo COPPE/Fundação estão significativamente em conformidade com a legislação ambiental; 31 dos 42 parâmetros de qualidade da água, alcançam plena e integral conformidade em todos os pontos de monitoramento. A desconformidade após o acidente ainda ocorreu, com Turbidez, Coliformes termotolerantes e Fósforo evidenciando a continuidade da contaminação orgânica.

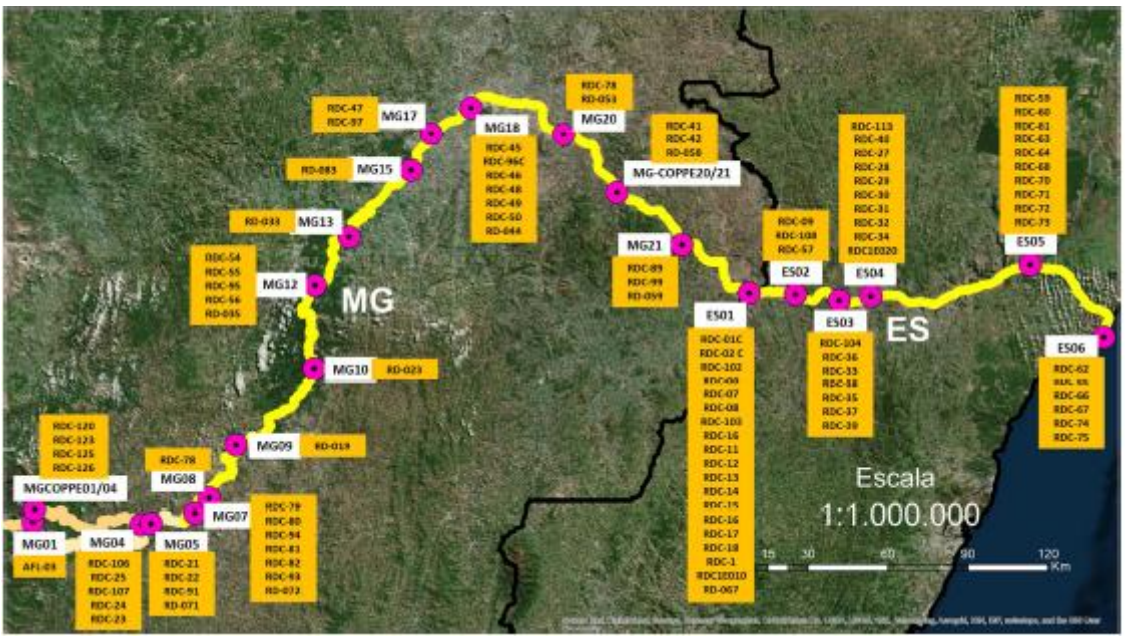


Fig. 1 – Localização geográfica dos pontos da nova base espacial e associação aos pontos de monitoramento das bases IGAM e SAMARCO.

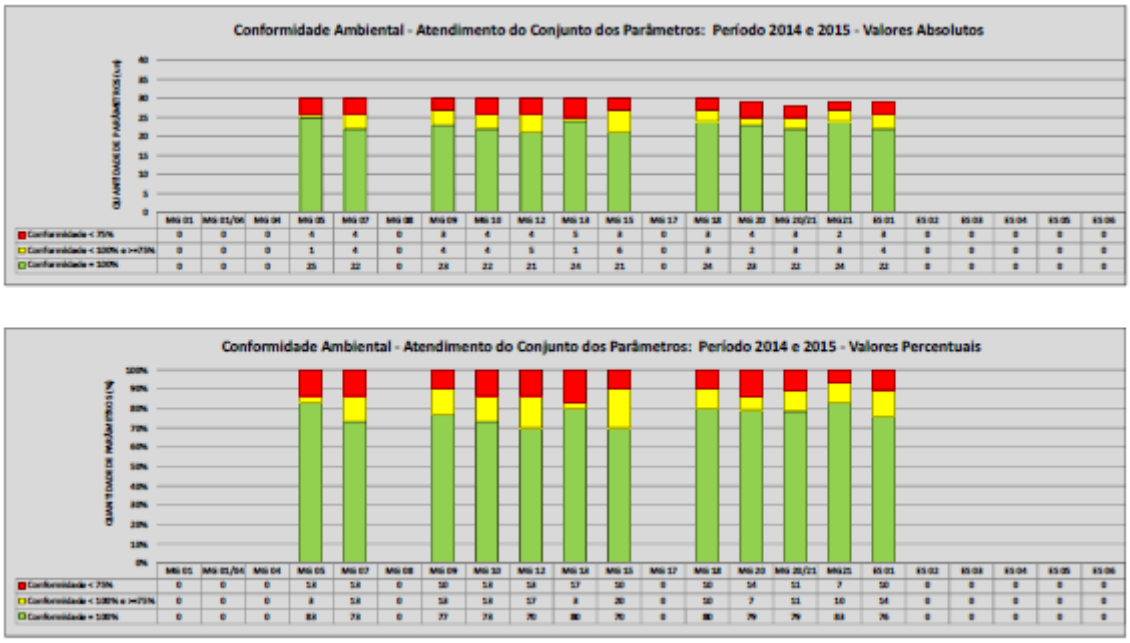


Fig. 2 – Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período 2014/2015 Total.

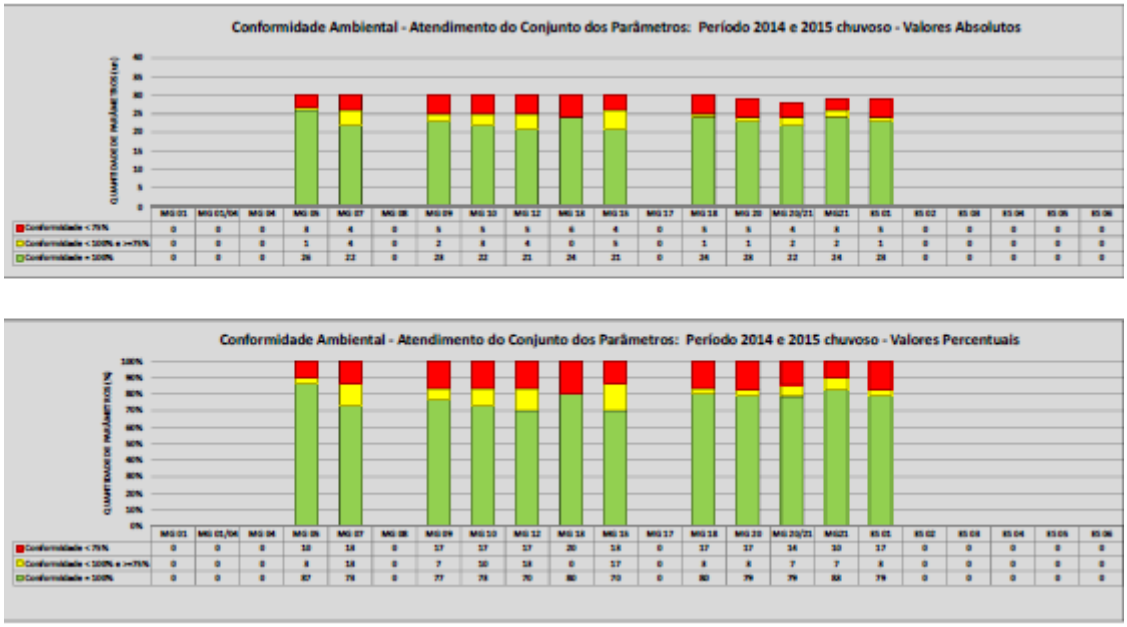


Fig. 3- Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período 2014/2015 Chuvoso.

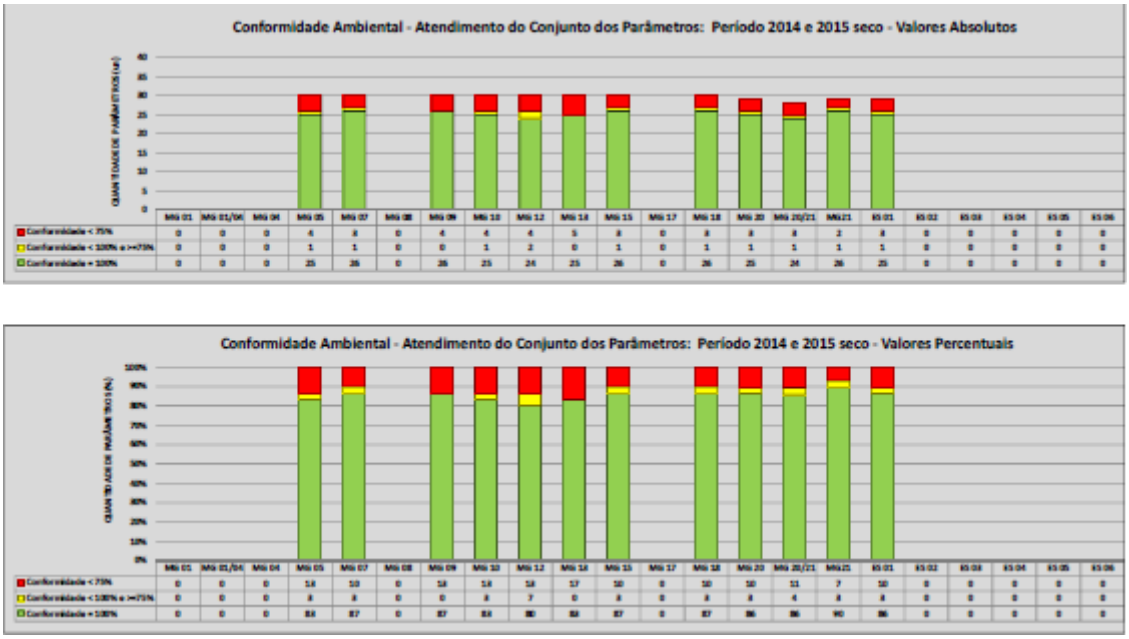


Fig. 4 – Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período 2014/2015 Seco.

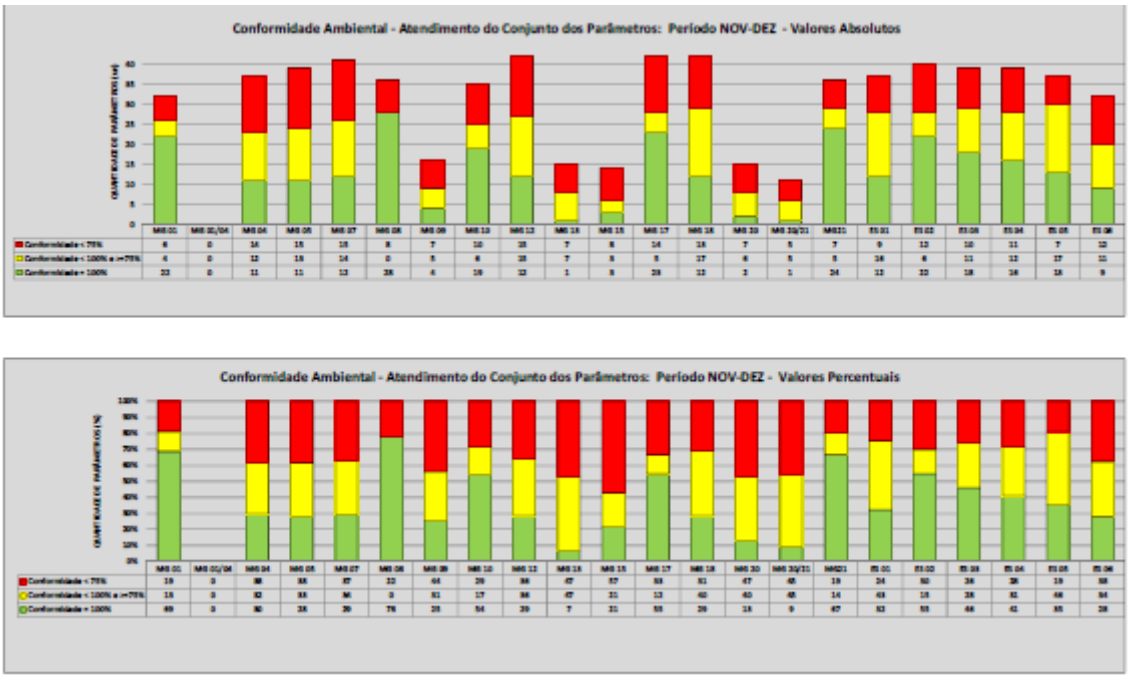


Fig. 5 - Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Nov/Dez.

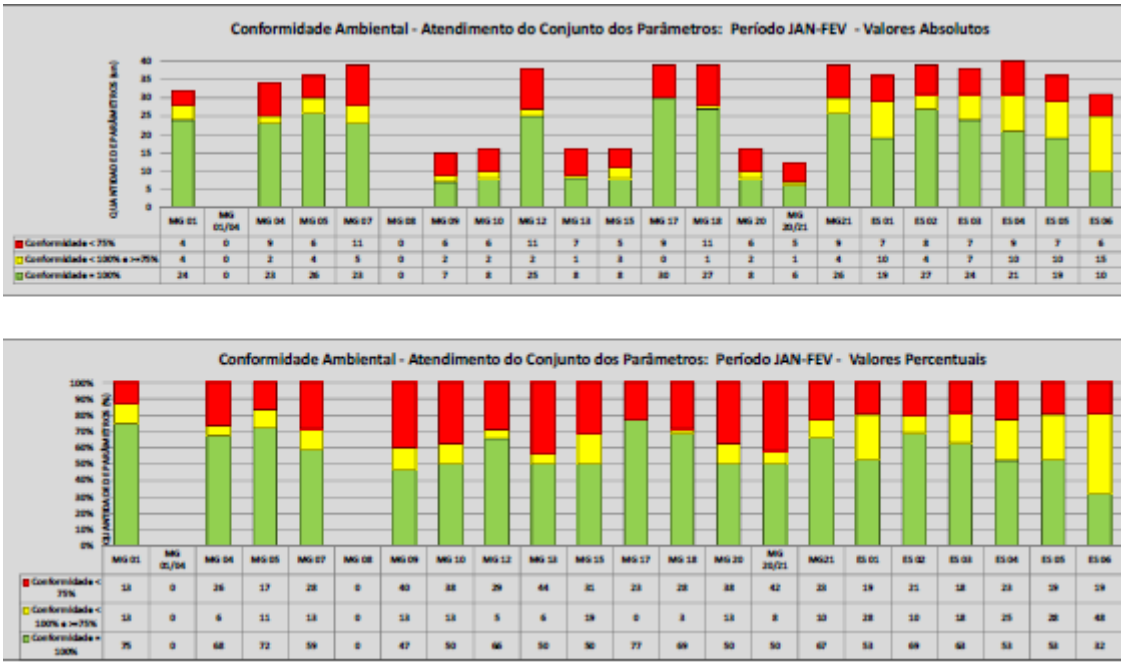


Fig. 6 - Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Jan/Fev.

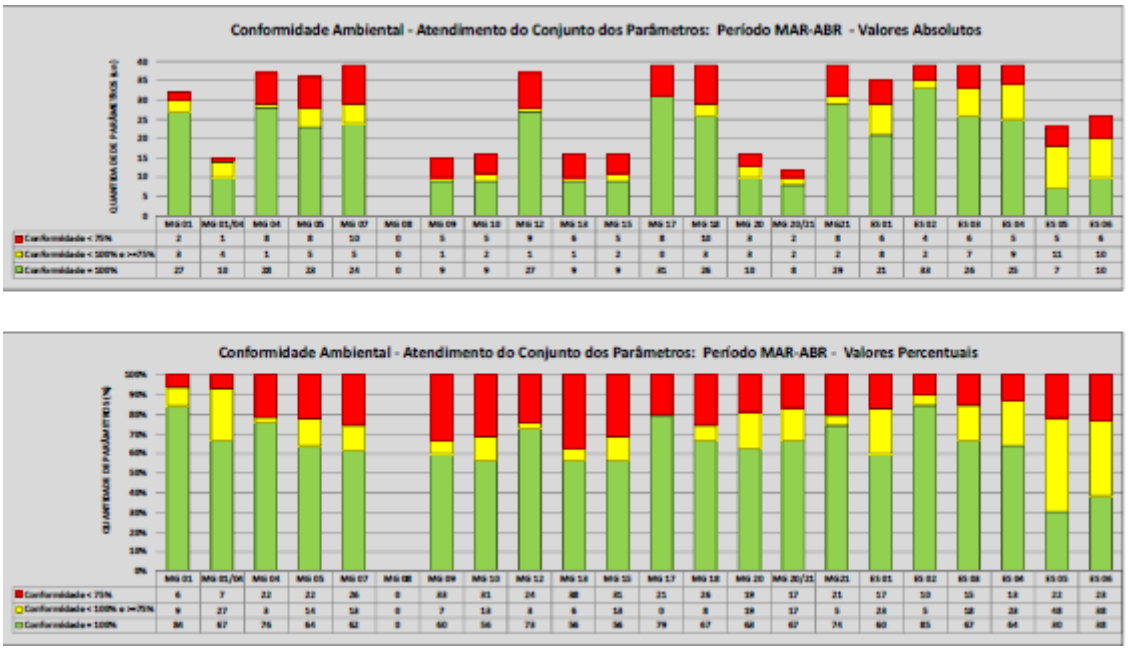


Fig. 7 - Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Mar/Abr.

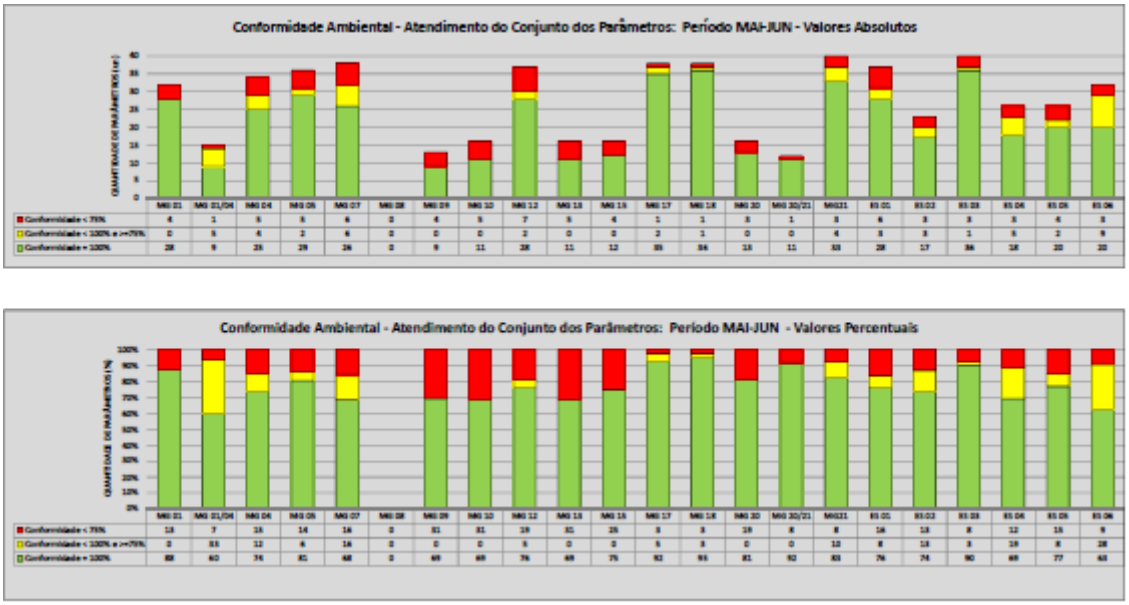


Fig. 8 - Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Mai/Jun.

5- Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 2 anos do rompimento da barragem do Fundão 2015-2017.

Coletas Realizadas:

Primeiro período – 05/11/2015 a 04/11/2016

Segundo período – 05/11/2016 a 10/08/2017

15 parâmetros para avaliações da qualidade de água foram relacionados: sólidos totais em suspensão, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica "in situ", arsênio total e metais: alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, cobre dissolvido, chumbo total, cromo total, cádmio total, níquel total, mercúrio total e zinco provavelmente relacionado diretamente com os impactos produzidos pelo acidente.

Após dois anos do acidente, verifica-se que, em comparação ao primeiro período de coletas imediatamente após o evento, ocorreu uma redução das médias no segundo período para dez parâmetros. Médias ainda acima dos limites representam turbidez, sólidos totais em suspensão, ferro dissolvido, manganês total e alumínio dissolvido. Segundo o relatório do IGAM pode ocorrer acúmulo de rejeito no sedimento do rio, e em bancos das margens, os quais sendo resolvidos natural ou artificialmente podem se deslocar do sedimento para a água.

6- Conclusões – Qualidade das águas do Rio Doce e tributários após o acidente de Mariana em 2015.

Os resultados comparados referentes aos períodos pré-acidente com os períodos pós-acidente evidenciam alto impacto na qualidade das águas imediatamente após o evento. Entretanto deve-se considerar como importante evidencia que o Rio Doce e tributários já apresentavam antes do acidente degradações decorrentes principalmente de contaminação orgânica, gerada por esgotos não tratados na maioria das cidades da bacia hidrográfica do Rio Doce. Já havia, portanto desconformidades em relação ao CONAMA 357 anteriormente ao acidente. Deve-se ressaltar que estas desconformidades em relação aos parâmetros orgânicos continuaram após o coincidente evidenciando continua intrusão de matéria orgânica no sistema.

Nos períodos posteriormente ao acidente verificou-se uma lenta e gradual recuperação da qualidade da água, mostradas pelas análises da COPPETEC/Fundação e pelo IGAM. Persistem evidentemente algumas desconformidades descritas no relatório do IGAM 2017. Estas estão relacionadas a 5 parâmetros de qualidade da água, como

turbidez, sólidos totais em suspensão, ferro dissolvido, manganês total e alumínio dissolvido. Os dados da COPPETEC/Fundação apresentam desconformidades de parâmetros como fósforo total, coliformes termotolerantes, turbidez, sendo fósforo total e cofliformes termotolerantes evidencias de contaminação orgânica que persiste.

Outro dado importante dos trabalhos de monitoramento está relacionado com o caráter desigual das desconformidades em relação ao CONAMA 357. Estas desconformidades não são contínuas. Estão localizadas em pontos específicos, e portanto limita-se a algumas regiões o que é outra conclusão dos resultados apresentados. Portanto, desconformidades localizadas e não dispersas por todo o rio e tributários.

Deve-se concluir tanto pelo relatório apresentado pela COPPETEC/Fundação, como pelos dados do IGAM-MG que o rio está se recuperando do impacto produzido pelo acidente e sua qualidade da água está em recuperação. Acúmulo de rejeito no fundo do rio que pode ser mobilizado por remoção hidráulica e mecânica podem produzir aumentos ocasionais dos parâmetros de qualidade da água e daí pode se explicar as desconformidades localizadas em relação ao CONAMA 357, conforme relatório por COPPETEC/Fundação e IGAM-MG.

Referências:

Chapman D. (Editor). Water quality assessments. UNEP; WHO; UNESCO. 585 pp. 1992.

SEDIMENTOS

1- Análise dos sedimentos

Os sedimentos do Rio Doce e tributários foram avaliados com amostragens espaciais e avaliação físico-química. A avaliação geoquímica e mineralógica dos rejeitos e sedimentos nas bacias dos Rios Gualaxo do Norte , Rio Carmo e Rio Doce foi feita até a foz do Rio Doce em Santarém. Foram amostrados vinte pontos com 200 amostras. Foram analisados Cr; Ni; Cn; Zn; Cd; Pb; Fe; em todas as amostras.

O rejeito original das barragens contém itabirito – minério de ferro contendo hematita, magnetita, goethita, areia quartzo e silicatos. Durante o evento ocorreu arraste de solos, saibros e deposição seletiva de sedimentos. Os rejeitos originais atingiram Ipatinga, Naque e a Represa de Baguari. Não estão presentes a jusante desta Represa e Governador Valadares. Indicam que a Represa de Baguari concentrou os rejeitos. O transporte dos rejeitos pesados com minério de ferro envolveu além de vazão do rio, arraste mecânico de areia e silte.

Foi constatada uma variação da composição dos sedimentos ao longo dos rios, incluindo a influência das cidades: por exemplo concentrações de cálcio, potássio e sódio podem ser levadas ao despejo dos esgotos das cidades.

A deposição dos sedimentos contendo o material original da barragem foi maior no vale do Rio Gualaxo do Norte, em curvas, remansos. As ondas de lama influenciaram na composição granulométrica dos sedimentos. O processo de sedimentação e distribuição dos sedimentos depende do peso específico; distribuição granulométrica; velocidade da água; forma de calha dos rios; geografia dos locais como curva e obstáculos. Portanto, a deposição dos sedimentos não é homogênea mas localizada.

De acordo com o relatório COPPETEC o maior impacto do acidente foi físico não havendo indicação de componentes tóxicos. Há também efeitos dos efluentes das cidades, usina siderúrgica da Usiminas contendo sedimentos com metais pesados. Ainda, de acordo com este relatório os metais pesados nos rejeitos de Santarém e nos sedimentos não representam riscos à contaminação ambiental. Portanto, não há nos rejeitos e sedimentos metais pesados que possam contaminar o ambiente e a biota (água, peixes e vegetação).

A composição mineral principal dos sedimentos varia, mas sempre com três componentes principais: minério de ferro, argila e silte em diferentes proporções. Por exemplo em algumas amostras:

Minério de Ferro – 20%		Minério de Ferro – 20%
Argila – 33%	ou	Argila – 34 %
Areia + Silte – 46%		Silte – 46%

Por exemplo no Rio Gualaxo do Norte na superfície: 82% Areia + Silte; Minério de ferro: 18%; no fundo da amostra Areia + Silte – 74%; Minério de ferro – 23%.

A Represa da Risoleta Neves teve um papel importante na contenção dos rejeitos. Por exemplo a concentração de Zn variou de 30 mg/kg a 50 mg/kg nos rejeitos acumulados nesta represa. A jusante há poucos locais com concentração de minério de ferro. As análises do rejeito e dos sedimentos integrais para os metais pesados não mostram diferenças significativas.

Teores de Cd apresentam 0,1 mg Cd total/kg.

Teores de Cr e Ni 25 mg/kg.

2- Conclusões

a) O rejeito original das barragens contém itabirito, minério de ferro contendo hematita, magnetita, areia, quartzo, silicatos.
b) A Represa de Baguari concentrou rejeitos.
c) O transporte dos rejeitos pesados com minério de ferro, envolveu além de vazão do rio arraste mecânico por areia e silte.
d) Metais pesados nos sedimentos e nos rejeitos de Santarém não representam riscos à contaminação ambiental.
e) A deposição dos sedimentos contendo material original da barragem foi maior no vale do Rio Gualaxo do Norte.
f) O impacto principal do transporte do sedimento da barragem foi físico e não havendo componentes tóxicos. Há também efeitos dos efluentes das cidades, e contribuições da Usina Siderúrgica Usiminas.
g) A composição mineral principal dos sedimentos foi de minério de ferro; argila; silicatos de menor granulometria.
h) Sedimentos foram depositados de forma diferenciada e não homogênea. A composição dos sedimentos varia mas sempre com a participação dos três componentes: minério de ferro; argila, areia e silte.

i) A Barragem de Risoleta Neves reteve sedimento ocorrendo redução de elementos como Cd, Cr, Ni, a jusante desta barragem.

Referências:

Chapman D. (Editor). Water quality assessments. UNEP; WHO; UNESCO. 585 pp. 1992.

CONCLUSÕES GERAIS

1- Subsídios Técnicos

Biodiversidade, qualidade da água e qualidade do sedimento.

- Os resultados apresentados pelos relatórios técnicos realizados em extensas campanhas e análises de laboratório, demonstram que o Rio Doce e seus tributários encontra-se em recuperação (Base científica COPPETEC/Fundação e IGAM 2017).
- Os subsídios técnicos apresentados COPPETEC/Fundação, demonstrou que os sedimentos não tem componentes tóxicos, sendo que o impacto maior foi físico.
- Existem áreas de maior concentração de sedimentos e a distribuição espacial de sedimentos com rejeitos não é generalizada mas localizada. *"Portanto não há nos rejeitos e sedimentos metais pesados que possam contaminar o ambiente e a biota"*.
- Os estudos disponíveis até o presente momento são suficientes para demonstrar a recuperação do rio e da bacia hidrográfica e de seus tributários. São estudos intensos, geograficamente bem distribuídos e de alta qualidade técnica. (COPPETEC/Fundação; IGAM-MG)
- As análises de 24 espécies de peixes para a legislação específica de alimentos, 1965, 1998, 2013 (57 exemplares) para Cd, Zn, Pb, As, Cr, Fe, Ni, Al, Mn, Hg, Cu demonstraram não haver concentração destes metais nos peixes a não ser em poucas amostras. Destaca-se Cr como um dos elementos fora da conformidade nas amostras também anteriores ao acidente.
- "com base nos dados disponíveis e analisados as concentrações para os diversos elementos investigados não demonstram relação direta com os pontos de amostragem ou período considerado (pré e pós passagem de pluma de sedimentos". Cromo foi o único elemento que demanda atenção particularizada: os dados demonstram que está presente aos peixes de forma ampla desde o momento anterior à passagem de pluma de sedimentos".

2- Recomendações

Com base nas análises realizadas, resultados técnicos, campanhas de amostragem e em relação à questão específica sobre a proibição da pesca no Rio Doce (Portaria 31 Outubro 2016, Decreto Executivo 1/11/2016) recomenda-se:

2.1- Liberar a pesca no Rio Doce em toda a sua extensão, tendo em vista os resultados técnicos apresentados, baseados em análises, campanhas de campo e extensos estudos laboratoriais.

2.2- Proibir a pesca nos tributários, uma vez que estes, sendo áreas de reprodução e reposições de estoques poderão, se adequadamente protegidos, acelerar a recuperação dos estoques de peixes da calha principal do rio.

2.3- Realizar ampla campanha de recuperação da biodiversidade, especialmente da floresta riparia, nos tributários e na calha do Rio. É possível que o instrumento PSA possa ser útil nesta situação.

2.4- Manter o monitoramento intensivo, os testes de toxicidade e ecotoxicidade e as análises de água e sedimento, de forma permanente, consistente e com a ampla qualidade técnica demonstrada.

3- Resumo do Parecer Final:

Com base nos resultados das análises de água, de sedimento e dos impactos na biodiversidade, e considerando a proteção dos estoques pesqueiros, recomenda-se a suspensão da proibição da pesca na calha principal do Rio Doce e a proibição da pesca nos tributários para ampliar a capacidade de reposição dos estoques. Tributários são fundamentais para a reprodução de espécies de peixes.

Entretanto, do ponto de vista da bioacumulação é necessário ampliar o estudo. Não há ainda certeza bem clara sobre o processo de bioacumulação.

Recomendação: Propor uma moratória de 6 meses até que se conheça o resultado definitivo final e com ampla demonstração científica de que não há bioacumulação nos peixes. E após suspender a proibição no Rio Doce, mantendo a proibição de pesca nos tributários.

Conclusões Gerais e Recomendações:

1- Os três relatórios analisados, biodiversidade, qualidade de água, qualidade do sedimento apresentaram de forma clara, com metodologia definida e de alto nível a situação do Rio Doce quanto ao impacto resultante do acidente com o rompimento da barragem em Novembro de 2015.

2- O impacto na biodiversidade terrestre e aquática foi profundo, vegetação florestal, vegetação ripária, fauna iictica fluvial e dos recifes sofreram redução na biodiversidade com efeitos sinérgicos resultantes da modificação nos processos dinâmicos e interativos que ocorrem entre os diversos componentes do sistema. Os resultados evidenciam a necessidade da recomposição da vegetação terrestre, especialmente a mata ciliar, nos tributários e na calha do Rio Doce. Proteção e conservação de áreas não afetadas é outra prioridade importante.

3- A proteção de áreas alagadas, brejos é também fundamental para a recuperação da fauna aquática fluvial e a recomposição das cadeias alimentares afetadas pelo acidente.

4- A qualidade das águas do Rio Doce foi determinada com metodologia adequada de alto nível e com excelente distribuição geográfica. Dados comparativos da qualidade das águas <u>antes do acidente</u> e <u>depois do acidente</u> demonstraram alto impacto na qualidade das águas do Rio Doce e tributários com não conformidades em muitos parâmetros, após o acidente. Entretanto, deve-se destacar que o Rio Doce e alguns tributários já demonstraram não conformidades com o CONAMA 357 especialmente relacionados com a carga orgânica proveniente dos esgotos domésticos não tratados de muitas localidades.

5- Os resultados da qualidade da água em amostragens sucessivas e metodologicamente corretas após o acidente, demonstraram uma recuperação da qualidade das águas do Rio Doce com poucas não conformidades com CONAMA 357, persistindo entretanto não conformidades relacionadas a carga orgânica.

6- Deve-se concluir que tanto o relatório apresentado pela COPPETEC/Fundação, como pelos dados do IGAM-MG demonstraram que o rio está em recuperação com relação à qualidade de água.

7- Monitoramento contínuo, sistemático com a distribuição geográfica dos pontos de coleta é uma das ações importantes para a continuidade das observações científicas sobre a qualidade da água do Rio Doce e tributários.

8- Quanto ao sedimento e sua composição: o rejeito original das barragens contém itabirito, minério de ferro, contendo hematita, magnetita, quartzo e silicatos. O transporte dos rejeitos pesados com minério de ferro, envolvem além da vazão do rio, arraste mecânico por areia e silte. As represas existentes concentraram rejeitos diminuindo o impacto a jusante.

9- O impacto principal no transporte do sedimento da barragem foi físico, não havendo componentes tóxicos. Há também efeitos dos efluentes das cidades e contribuições da Usina Siderúrgica Usiminas.

10- Sedimentos foram depositados de forma diferenciada e não homogênea. A composição dos sedimentos varia mas sempre com a participação dos três componentes: minério de ferro, argila, areia e silte.

11- Metais pesados nos sedimentos e nos rejeitos de Santarém, não representam risco à contaminação ambiental.

Em função dos resultados apresentados pelos relatórios COPPETEC/Fundação; IGAM, recomenda-se:

1- Recompor a biodiversidade terrestre e especialmente a mata ciliar nos tributários e na calha do Rio Doce.

2- Manter permanentemente o monitoramento da qualidade de água e sedimento com a distribuição geográfica estabelecida nos projetos de monitoramento.

3- Manter o monitoramento do sedimento com especial atenção para metais pesados.

4- Realizar estudos de hidrodinâmica do Rio Doce, acoplados à qualidade da água e sedimento para determinar os “hot-spots” de sedimento no Rio Doce e tributários.

5- **Suspender a proibição de pesca no trecho do Rio Doce onde está proibida. Manter a proibição da pesca nos tributários para acelerar a recomposição dos estoques de peixes e ampliar a biodiversidade da fauna iictica fluvial. Conservar e recuperar a mata ciliar especialmente nos tributários para acelerar a recomposição das cadeias alimentares e promover a recuperação dos estoques de peixes, e da fauna aquática em geral. Estas ações deverão ser implementadas quando ocorrer absoluta certeza sobre a bioacumulação de**

metais em peixes com maiores e mais detalhadas informações e metodologia adequada.

Os documentos utilizados para a elaboração do relatório foram os seguintes:

- Relatório sobre biodiversidade terrestre e aquática.
- Relatório sobre qualidade da água superficial.
- Relatório sobre qualidade do sedimento.
- Dados brutos qualidade da água e sedimento.
- Proibição da Pesca. Portaria IEF nº 71, 31 de outubro de 2016. Proibição da Pesca na Bacia do Rio Doce.

Os relatórios efetivamente utilizados na avaliação são aqueles apresentados na lista detalhada que segue abaixo. Os outros relatórios serviram de suporte, mas não foram efetivamente utilizados na análise.

Relatórios Consultados:

- Memorando Técnico: Qualidade de água, sedimentos e resultados de testes ecotoxicológicos (dados até 18/jan/2016);
- Memorando Técnico: Resumo da Qualidade de água e sedimento relativo aos limites da resolução CONAMA 357/2005;
- Relatório Técnico Conhecimento do Comportamento do Cádmio na Bacia do Rio Doce;
- Relatório Monitoramento Rio Doce Nov-15 a Mar-17 (período emergencial);
- Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 2 anos do rompimento da barragem de Fundão -2015/2017;
- Análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco;
- Análise Estatística dos Dados do Programa de monitoramento da comunidade do zoobentos do rio Doce;
- Relatório_de_Atividades_FURG_27_10_2017;
- Análise de concentração de metais em tecido de moluscos;

- Levantamento de dados de arsênio em tecido de peixes e moluscos;
- Anexo - RT Análise de concentração de metais em tecido de moluscos;
- : Pescados da região afetada pelo acidente;
- Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de fundão;
- Caracterização Geoquimica de rejeitos;
- Relatório 20275_Vale;

Referências:

Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Mariana, MG. Trecho do Rio Doce. Samarco, Bioma, Acqua 28pp. 2016.

Jorgensen S.E.; Tundisi J.G.; Matsumura Tundisi T.; Handbook of inland Waters ecosystem management. Taylor & Francis, London, 432 pp. 2013.

Pets G. E. & Amoros C. Fluvial hydrosystems. Chapman & Hall, 322 pp. 1996.

Tundisi J.G. & Matsumura Tundisi T.; Limnologia. Oficina de Textos, 632 pp. 2013.

Valle R. (Coordenador). Avaliação dos impactos de ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana. Nove meses após desastre. COPPETEC/Fundação. 115 pp. 2016. Cap. 8. Amostragem e avaliação físico – química e mineralógica de rejeitos e sedimentos.

Valle R. (Coordenador). Avaliação dos impactos de ruptura da barragem de rejeitos do Fundão em Mariana. Nove meses após o acidente. COPPETEC/Fundação, 79 pp. 2017.

Volscham Jr. I. (Coordenador). Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana. Nove meses após o acidente. COPPETEC/Fundação, 79 pp. 2017.

ANEXO

LISTA DE DOCUMENTOS ANALISADOS

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				Ta	Y	F	Tu	R
Físico-Químico: Água e Sedimentos								
1	GOLDER	Memorando Técnico: Qualidade de água, sedimentos e resultados de testes ecotoxicológicos (dados até 18/jan/2016)	mar/16			x	x	
2	GOLDER	Memorando Técnico: concentração de arsênio, zinco e selênio na zona costeira	mai/16			x		
3	GOLDER	Memorando Técnico: Atualização da qualidade da água e sedimento na zona costeira	mai/16			x		
4	GOLDER	Memorando Técnico: Referente ao Auto de Infração nº 016543-A	jul/16			x	x	
5	GOLDER	Memorando Técnico: Resumo da Qualidade de água e sedimento relativo aos limites da resolução conama 357/2005	jul/16			x	x	
6	AMBILEV	Monitoramento Marinho ADP - Pacote 4	abr/16			x		
7	ECONSERVATION	Relatório Técnico Conhecimento do Comportamento do Cádmio na Bacia do Rio Doce	fev/17			x	x	
8	GOLDER	Qualidade da água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas - Atualização de Julho 2016	jul/16			x	x	
9	GOLDER	Relatório Monitoramento Marinho Dados Nov-15 a Fev-17 (período emergencial)	mai/17			x		
10	GOLDER	Relatório Monitoramento Rio Doce Nov-15 a Mar-17 (período emergencial)	jul/17			x	x	
11	IGAM	Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 2 anos do rompimento da barragem de Fundão - 2015/2017	out/17			x	x	
13	IEMA	Análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco	NI			x	x	
14	FUNDAÇÃO RENOVA	Anexo: Análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco	NI			x	x	

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				Ta	Y	F	Tu	R
		Bioacumulação						
15	ECONSERVATION	Análise Estatística dos Dados do Programa de monitoramento da comunidade do zoobentos do rio Doce	mai/16				x	
16	GOLDER	Auto de Infração nº 019973	jul/16			x		
		Bioacumulação						
17	FURG	Relatório Técnico científico - contrato 105/2016 - Etapa 1	abr/16	x	x	x		
18	FURG	Relatório Técnico científico - contrato 105/2016 - Etapa 5	nov/2015 até abr/2016	x	x	x		
19	FURG	Avaliação de impacto da lama da Samarco sobre os ambientes costeiros - 1ª expedição	jan/16	x	x	x		
20	FURG	Resumo das análises realizadas - expedição Soloncy Moura	mar/16	x	x	x		
21	FURG	Relatório_de_Atividades_FURG_27_10_2017	jan/2017 e set/2017	x	x	x		
22	UFVJM	Relatório da contaminação dos peixes capturados na região do médio rio doce	mai/17	x	x	x		
23	ECONSERVATION	Monitoramento de bioacumulação por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possivel influencia da lama de rejeitos oriunda do rompimento	abr/16	x	x	x		
24	GOLDER	Concentração de metais em água, sedimentos, tecido de peixe e organismos aquaticos coletados na regiao marinnha e estuarina do rio Doce	mar/16	x	x	x		
25	APLYSIA	Análise de concentração de metais em tecido de moluscos	abr/17	x	x	x		
26	APLYSIA	Levantamento de dados de arsênio em tecido de peixes e moluscos	out/16	x	x	x		
27	APLYSIA	Anexo - RT Análise de concentração de metais em tecido de moluscos	abr/17	x	x	x		
28	ANVISA	Assunto: Pescados da região afetada pelo acidente	jun/16	x	x	x		
29	ECONSERVATION	Remoção, identificação, contabilidade e destinação de peixes do rio Doce	abr/17	x	x	x		
30	BIOMA	Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de fundão	fev/16	x	x	x		
31	HIDROBIOLOGY	As total and inorganic	dez/2015 a fev/2016	x	x	x		

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				Ta	Y	F	Tu	R
		Deposição de Rejeitos						
33	ECONSERVATION	Análise integrada dos contronos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho	jun/17					x
34	APLYSIA	Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (REBIO COMBOIOS)	NI	x		x		x
35	ECONSERVATION	Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre abrolhos e Vitória	abr/16					x
36	GOLDER	Análise da ocorrência de deposição de rejeitos oriundos da barragem de fundão no ambiente marinho adjacente ao Rio Doce	mai/16					x
37	UERJ	Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos	mai/16					x
38	GOLDER	Caracterização Geoquimica de rejeitos	out/17			x	x	x
		Hidrografia						
39	AMBLEV	Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce	abr/16					x
		Ictiofauna						
40	CTA	Monitoramento da ictiofauna na região marinha	dez/17	x				
		Macroalga e Manguezal						
42	GOLDER ASSOCIATES	Avaliação do estado de conservação dos bancos de macroalgas e rodolitos adjacentes à foz do rio Doce	out/16			x		
43	GOLDER ASSOCIATES	Definição de níveis de referência e avaliação de potenciais impactos sobre os manguezais	out/16	x		x		
		Relatório COPPE						
44	UFRJ/ COPPE	Relatório 20275_Vale	jan/17			x	x	x

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				Ta	Y	F	Tu	R
2ª Remessa de Documentos								
1	RENOVA	Quantificação de metais e arsênio nos organismos coletados durante o programa de monitoramento da ictiofauna do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo	ago/18	x	x	x		
2	HYDROBIOLOGY	Marine risk preliminary	jul/17	x			x	
3	HYDROBIOLOGY	Acoustic fish and aquatic habitat survey of the rio Doce and tributaries	mai/17				x	
4	HYDROBIOLOGY	Fish distribution and aquatic habitats of the rio Doce and tributaries	mar/18				x	
5	HYDROBIOLOGY	Priority projects status memorandum	set/17	x			x	
6	HYDROBIOLOGY	Upper catchment supplementary ecological indicators	ago/18	x	x	x	x	x
7	HYDROBIOLOGY	Fish biomass distribution at the mounth of the rio Doce	abr/18				x	
8	GOLDER	Programa de caracterização geoquímica de rejeitos, solos e sedimentos	out/17			x	x	
9	SOSMA	Observando os rios 2017	nov/17				x	
10	ICMBIO	Termos de referência do programa de monitoramento da biodiversidade aquática		x	x	x	x	x
11	FIBRIA	Monitoramento da qualidade do efluente da FIBRIA Celulose SA através do uso de mexilhões	dez/10 - ago/15	x				
12	FIBRIA	Monitoramento hídrico e biológico	abr/10 - mai/16				x	
13	FIBRIA	Monitoramento do efluente líquido industrial da FIBRIA Celulose SA	set/05 - nov/15	x				
14	ALIANÇA	Monitoramento limnológico da Usina Aimorés	jan/18				x	
15	CTA	Monitoramento da ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, Linhares/ES	jan/18				x	

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.

ART

Autarquia Federal
CONSELHO FEDERAL DE BIOLOGIA
CONSELHO REGIONAL DE BIOLOGIA 2ª REGIÃO RJ/ES

CRBio-02

ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART

1-ART Nº **2-26647/18-E**

CONTRATADO

2.Nome: TATIANA HEID FURLEY LIBARDI DA PENHA		3.Registro no CRBio-02: 15386
4.CPF: 86266888734	5.E-mail: tatiana@aplysia.com.br	6.Tel: (27) 3337-4695 / (27) 98131-8755 / (27) 3337-4877
7.End.: R. DESEMB. CARLOS XAVIER PAES BARRETO, 211, 204		8.Bairro:MATA DA PRAIA
9.Cidade: VITÓRIA	10.UF: ES	11.Cep: 29065330

CONTRATANTE

12.Nome: FUNDAÇÃO RENOVA LINHARES				
13.Registro Profissional: 0		14.CPF/CNPJ: 25135507000345		
15.End. AV. PRES. GETÚLIO VARGAS 2716				
16.Tel / E-mail: 28 99276-7808 / rodolfo.campelo@fundacaorenova.org	17.Bairro: --	18.Cidade: LINHARES	19.UF: ES	20.CEP: 29900021

DADOS DA ATIVIDADE PROFISSIONAL

21. Natureza: 21.1 Prestação de Serviços: 1.7 Realização de consultorias/assessorias técnicas | 21.2 Ocupação de Cargo/Função: a - Cargo/função técnica			
22. Identificação: RESPONSÁVEL TÉCNICA			
23. Localização Geográfica: 23.1– do Trabalho: ES 23.2 – da Sede: ES		24 – UF: ES	
25.Forma de participação: Equipe	26.Perfil da equipe: BIÓLOGOS		
27.Área do Conhecimento: Meio Ambiente	28.Campo de Atuação: Meio Ambiente e Biodiversidade Diagnóstico, Controle e Monitoramento Ambiental		
29.Descrição Sumária: AVALIAÇÃO AMBIENTAL SOBRE A PROIBIÇÃO DA PESCA NO RIO DOCE, FOZ E ZONA COSTEIRA. (RNV-OUT-01-18)			
30.Valor: R$ 1.552.318,74	31.Total de horas: 776	32.Início: 6/4/2018 00:00:00	33.Término:

34.ASSINATURAS

Declaro serem verdadeiras as informações acima.

28/05/2020
Data: _____/_____/_____
DocuSigned by:
Tatiana Heid Furley Libardi da Penha
852A2E7055F64B3...
Assinatura do Profissional

02/05/2020
Data: _____/_____/_____
DocuSigned by:
Pedro Ivo Diogenis Belo
5B2B4F6354284EF...
Assinatura e Carimbo do Contratante

35. CARIMBO DO CRBio:

Para autenticação da ART:
http://www.crbio02.gov.br/autentica.aspx
código **2018041914315626647**

36. SOLICITAÇÃO DE BAIXA POR CONCLUSÃO
Declaramos a conclusão do trabalho anotado na presente ART, razão pela qual solicitamos a devida BAIXA junto aos arquivos do CRBio-02.

_____/_____/_____
Data
Assinatura do Profissional

_____/_____/_____
Data
Assinatura e Carimbo do Contratante

37. SOLICITAÇÃO DE BAIXA POR DISTRATO

_____/_____/_____
Data
Assinatura do Profissional

_____/_____/_____
Data
Assinatura e Carimbo do Contratante

Código de Autenticação: **2018041914315626647** | **Situção da ART: Ativa**
Esta ART deve sempre ser acompanhada do recibo de pagamento Nº 28078380000032437

ART Eletrônica emitida em 19/4/2018 14:31:56
Impressão efetuada em 19/6/2019 12:51:10

RELATÓRIO J

FUNDAÇÃO renova

AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES AFETADAS PELA TURBIDEZ NA COSTA DO ESPÍRITO SANTO

Novembro de 2019

FUNDAÇÃO renova

AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES AFETADAS PELA TURBIDEZ NA COSTA DO ESPÍRITO SANTO

PRODUTO FINAL

RELATÓRIO CONSOLIDADO

REVISÕES							
TE: TIPO EMISSÃO	A-PRELIMINAR B-PARA APROVAÇÃO	C -PARA CONHECIMENTO D-PARA COTAÇÃO	E-PARA CONSTRUÇÃO F - APROVADO	G - REPROVADO H - CANCELADO			
Rev.	TE	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.	Data
0	A	PRELIMINAR					
1	B	PARA APROVAÇÃO					
2	F	APROVADO					

RESUMO

Após o rompimento da barragem de Fundão e o deslocamento de resíduos ao longo do rio Doce, produzindo uma pluma de sedimentos no litoral do Espírito Santo, algumas comunidades próximas ao litoral alegaram que seus mananciais foram afetados pela água do mar que poderia estar contaminada.

Este estudo contratado pela Fundação Renova investigou a potencialidade dos mananciais de água das comunidades litorâneas do Espírito Santo serem afetadas pela água do mar contaminada por rejeitos do rompimento da barragem de Fundão em Mariana, MG.

As condições que poderiam afetar as águas dos mananciais superficiais ocorrem se as seguintes situações forem satisfeitas concomitantemente: (a) dependendo das condições batimétricas dos locais de mananciais, juntamente com as condições hidrológicas e hidráulicas, a água do mar pode escoar no sentido do mar para o interior (montante) em função do nível e variação da maré e da vazão e nível no manancial; e (b) a água do mar na costa neste mesmo momento deve estar contaminada pelos rejeitos do rompimento da barragem de Fundão. O estudo examinou os locais que atendem a primeira condição, mas não examina, por falta de dados, o segundo condicionante.

Foram identificadas 16 comunidades de interesse ao longo da costa do Espírito pela Fundação Renova e no estudo, para estas comunidades, foram identificadas as áreas de mananciais. Com base na identificação das comunidades, foram identificadas as seguintes informações: (a) os dados dos mananciais e prestadores de serviço (algumas comunidades não possuíam prestador de serviço), quando existiam foram obtidas informações sobre a sua qualidade da água, considerando que os prestadores de serviços devem monitorar os mananciais; (b) pesquisa *in-loco* onde foram entrevistados moradores dessas localidades, buscando entender sua relação com os mananciais urbanos próximos e as alterações observadas após novembro de 2015; (c) levantamentos de dados hidráulicos junto aos mananciais de cada localidade (seção transversal, condições do fundo, cotas) e hidrológicas (vazões); (d) níveis das marés no período recente (de 2015 a 2019) com base em séries históricas da marinha do Brasil. Estas informações permitiram analisar as comunidades que potencialmente poderiam ser afetadas (se a segunda premissa ocorresse) e as comunidades que não foram afetadas considerando a primeira premissa.

Para as comunidades litorâneas (sem conexão com o rio Doce) que possuíam serviços de água, as concessionárias de água entrevistadas responderam que não houve alteração na qualidade da água nos mananciais utilizados para abastecimento. A população entrevistada, em parte, demonstrou preocupação pontual com a pesca e turismo, atividades que sofreram redução após novembro de 2015, não necessariamente devido ao referido impacto.

O diagnóstico preliminar realizado indica que algumas localidades avaliadas apresentam potencial para ter contato com a água do mar. Contudo, o contato com a água do mar por si só não é suficiente para garantir o transporte de material decorrente do rompimento da barragem até o local avaliado.

Palavras-chave: Mananciais, contaminação de resíduos, refluxo do mar

APRESENTAÇÃO

Este Relatório apresenta o desenvolvimento dos trabalhos realizados pela RHAMA Consultoria Ambiental no contexto dos estudos de avaliação das comunidades afetadas pela turbidez na costa do Espírito Santo, referente ao Pedido de Compra nº 4800017121 da Fundação Renova.

Os produtos previstos para este estudo envolvem um total de seis relatórios. Este relatório complementa os anteriores e consolida os conteúdos cumulativos, representando o relatório final do estudo.

Belo Horizonte, novembro de 2019.

Dr. Carlos E. M. Tucci
Coordenador do projeto
RHAMA Consultoria Ambiental

Sumário

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 ANTECEDENTES 14
1.2 OBJETIVOS 14
1.3 RESUMO DO ESTUDO 16
2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO 17
2.1 UNIDADES DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS COSTEIRAS 17
2.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS 18
2.3 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS NA REGIÃO DE ESTUDO 19
2.3.1 Geologia 19
2.3.2 Usos e tipos de solo 19
2.3.3 Relevo 21
2.4 MANANCIAIS PRÓXIMOS ÀS LOCALIDADES DE INTERESSE 21
3 CARACTERIZAÇÃO DAS LOCALIDADES DE INTERESSE 23
3.1 MUNICÍPIO DE SÃO MATEUS 23
3.1.1 São Mateus (Guriri) 23
3.1.2 Ranchinho 23
3.1.3 Barra Nova 23
3.2 MUNICÍPIO DE LINHARES 24
3.2.1 Degredo 24
3.2.2 Barra Seca 24
3.2.3 Povoação 24
3.2.4 Regência 24
3.3 MUNICÍPIO DE ARACRUZ 25
3.3.1 Vila do Riacho 25
3.3.2 Barra do Riacho 25
3.3.3 Barra do Sahy 25
3.3.4 Coqueiral 25
3.4 MUNICÍPIO DE SERRA 26
3.4.1 Nova Almeida 26
3.5 MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DA BARRA 26

3.5.1 Conceição da Barra 26
3.5.2 Itaúnas 26
3.5.3 Riacho Doce 26
3.6 SÍNTESE DA SITUAÇÃO IDENTIFICADA NAS LOCALIDADES 26
4 ANÁLISE DOS DADOS TEMPORAIS NA REGIÃO COSTEIRA 29
4.1 PLUVIOMETRIA 29
4.1.1 Tendências de longo prazo 30
4.1.2 Sazonalidade 30
4.1.3 Isoietas 31
4.2 FLUVIOMETRIA 32
4.2.1 Classificação de curvas-chave 33
4.2.2 Tendências de longo prazo 34
4.2.3 Sazonalidade 37
4.2.4 Análise espacial 38
4.2.5 Regionalização de vazões 38
4.3 NÍVEIS DE MARÉ 40
4.4 MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA 44
4.4.1 Análise da relação vazão x turbidez 45
4.4.2 Locais de monitoramento após o rompimento 46
5 CONDICIONANTES DO ESCOAMENTO NOS MANANCIAIS 49
5.1 LEVANTAMENTOS HIDROMÉTRICOS DOS MANANCIAS 49
5.1.1 Transporte de cotas e coordenadas 50
5.1.2 Metodologia e critérios adotados 51
5.1.3 Levantamento de seções topobatimétricas 52
5.2 VAZÕES AFLUENTES 52
5.3 EFEITO DA MARÉ 54
5.3.1 Correção do referencial vertical 55
5.3.2 Estimativa das elevações de maré 55
5.4 PLUMA DE CONTAMINAÇÃO NO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO 56
6 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL CONTATO DOS MANANCIAIS 59
6.1 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE REFLUXO 59
6.2 TRECHOS DE CONEXÃO DO MANANCIAL COM O MAR 60

6.3 DIAGNÓSTICO COM BASE NA COTA DE FUNDO DA SEÇÃO 61
6.4 POTENCIAL HIDRÁULICO DOS MANANCIAIS.....63
6.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....65
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 67
7.1 CONCLUSÕES.....67
7.2 RECOMENDAÇÕES.....69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70
ANEXO A. QUESTIONÁRIO DE INFORMAÇÕES LOCAIS 72
ANEXO B. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DAS LOCALIDADES.....74
ANEXO C. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NA REGIÃO DE ESTUDO.....98
ANEXO D. ANÁLISE INTERANUAL DAS PRECIPITAÇÕES 105
ANEXO E. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS COM DADOS DE COTA IDENTIFICADAS NA REGIÃO DE ESTUDO. 108
ANEXO F. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS COM DADOS DE VAZÃO IDENTIFICADAS NA REGIÃO DE ESTUDO. 113
ANEXO G. ANÁLISE INTERANUAL DAS VAZÕES.....117
ANEXO H. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS ENCONTRADAS COM DADOS DE TURBIDEZ. 122
ANEXO I. CLASSIFICAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE PARA VALORES MÁXIMOS.....127
ANEXO J. CLASSIFICAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE PARA VALORES MÍNIMOS.....161
ANEXO K. CURVA DESCARGA DAS ESTAÇÕES SELECIONADAS 195
ANEXO L. SEÇÕES TRANSVERSAIS LEVANTADAS.....199
ANEXO M. TRECHOS DE CONEXÃO DO MANANCIAL COM O MAR.....205

Lista de tabelas

Tabela 1. Localidades selecionadas inicialmente pela Fundação Renova para foco do estudo..15
Tabela 2. Proporções de classe de uso do solo no estado do Espírito Santo.....20
Tabela 3. Localidades da área de estudo e principais cursos d'água.....22
Tabela 4. Síntese das informações obtidas para as localidades de interesse.....27
Tabela 5. Características dos postos pluviométricos selecionados para análise. 29
Tabela 6. Notas atribuídas as curvas-chave utilizando como critério o desvio entre valores históricos observados e dados medidos.....34
Tabela 7. Características dos postos fluviométricos selecionados para análise. 35
Tabela 8. Curvas de regionalização de vazões médias e Q_{95} para a área de estudo.....40
Tabela 9. Características das estações maregráficas próximas à região de estudo.....41
Tabela 10. Permanência no tempo de algumas elevações do mar nas estações maregráficas identificadas.....44
Tabela 11. Postos selecionados para a análise de correlação entre os dados de vazão e turbidez. 45
Tabela 12. Postos com informações de turbidez identificados na costa do ES no banco de dados do PMQQS da Fundação Renova.....47
Tabela 13. Características dos locais escolhidos para levantamento de informações adicionais. 50
Tabela 14. Áreas de drenagem e vazões características nos locais escolhidos para levantamentos de informações complementares.....54
Tabela 15. Conversões das estações maregráficas.....55
Tabela 16. Altitudes das marés de interesse utilizadas no diagnóstico.....55
Tabela 17. Distância das localidades à estação maregráfica mais próxima.....61
Tabela 18. Diagnóstico do potencial para impacto das águas do mar considerando apenas a topografia das seções.....62
Tabela 19. Diagnóstico do potencial para impacto das águas do mar considerando as características hidráulicas das seções levantadas, utilizando a Q_{mlp}. 63
Tabela 20. Diagnóstico do potencial para impacto das águas do mar considerando as características hidráulicas das seções levantadas, utilizando a Q_{95}.....64
Tabela 21. Resumo dos resultados apresentando o número de localidades com potencial de refluxo e sem refluxo. 65
Tabela 22. Questionário para localidades com prestador de serviço.....72

Tabela 23. Questionário para localidades sem prestador de serviço. 72
Tabela 24. Questionário com informações complementares dos mananciais e localidades. 73
Tabela 25. Características do sistema de abastecimento de água de São Mateus-Guriri.....74
Tabela 26. Informações complementares da localidade São Mateus – Guriri.....75
Tabela 27. Características do sistema de abastecimento de água de Ranchinho. 75
Tabela 28. Características do sistema de abastecimento de água de Degredo 76
Tabela 29. Características do sistema de abastecimento de água de Barra Nova. 78
Tabela 30. Características do sistema de abastecimento de água de Barra Seca. 79
Tabela 31. Características do sistema de abastecimento de água de Povoação. 81
Tabela 32. Informações complementares da localidade Povoação. 82
Tabela 33. Características do sistema de abastecimento de água de Regência. 82
Tabela 34. Informações complementares da localidade Regência. 84
Tabela 35. Características do sistema de abastecimento de água de Vila Riacho. 84
Tabela 36. Informações complementares da localidade Vila Riacho. 85
Tabela 37. Características do sistema de abastecimento de água de Barra do Riacho. 86
Tabela 38. Informações complementares da localidade Barra do Riacho. 87
Tabela 39. Características do sistema de abastecimento de água de Barra do Sahy. 88
Tabela 40. Informações complementares da localidade Barra do Sahy. 89
Tabela 41. Características do sistema de abastecimento de água de Coqueiral. 90
Tabela 42. Informações complementares da localidade Coqueiral. 90
Tabela 43. Características do sistema de abastecimento de água de Conceição da Barra. 91
Tabela 44. Informações complementares da localidade Conceição da Barra. 92
Tabela 45. Características do sistema de abastecimento de água de Itaúnas. 93
Tabela 46. Informações complementares da localidade Itaúnas. 94
Tabela 47. Características do sistema de abastecimento de água de Nova Almeida. 94
Tabela 48. Informações complementares da localidade Nova Almeida. 95
Tabela 49. Características do sistema de abastecimento de água de Riacho Doce. 96

Lista de figuras

Figura 1. Localização das localidades selecionadas pela Fundação Renova para foco do estudo. 15
Figura 2. Unidades de gestão dos recursos hídricos do Espírito Santo. Fonte: COBRAPE (2018). 17
Figura 3. Classificação climática do estado do Espírito Santo. Fonte: COBRAPE (2018). 18
Figura 4. Caracterização geológica do estado do Espírito Santo. 19
Figura 5. Caracterização dos principais tipos de solos existentes no estado do Espírito Santo..20
Figura 6. Caracterização do uso do solo no estado do Espírito Santo. 21
Figura 7. Caracterização do relevo no estado do Espírito Santo. 22
Figura 8. Localização dos postos pluviométricos selecionados. 30
Figura 9. Sazonalidade dos postos pluviométricos do estado do Espírito Santo. 31
Figura 10. Precipitação mensal adimensional dos postos 1840016, 1940006 e 2041020, localizados na região norte, centro e sul do estado, respectivamente. 31
Figura 11. Isoietas de precipitação anual média para o estado do Espírito Santo. 32
Figura 12. Localização dos postos fluviométricos selecionados para análise. 33
Figura 13. Tendência de longo prazo das vazões anuais da estação fluviométrica 57170000, localizada no rio Jucu. 34
Figura 14. Análise de sazonalidade dos postos fluviométricos selecionados para o estudo. 37
Figura 15. Sazonalidade dos postos fluviométricos localizados na região norte, centro e sul do Estado. 37
Figura 16. Isolinhas de vazões específicas (L/s/km²) para a área de estudo. 38
Figura 17. Estações fluviométricas classificadas considerando a vazão específica (L/s/km²) e topografia. 39
Figura 18. Curvas de regionalização para vazões médias de longo período na área de estudo. 39
Figura 19. Curvas de regionalização para vazões Q_{95} na área de estudo. 40
Figura 20. Estações maregráficas monitorados pela marinha brasileira. 41
Figura 21. Máximas mensais de elevação da superfície da água nas estações maregráficas identificadas na costa do Espírito Santo. 42
Figura 22. Curvas de permanência no tempo das elevações das estações maregráficas Barra do Riacho, Conceição da Barra, Porto de Tubarão e Terminal de Barcaças Oceânicas. O período de análise é de novembro de 2014 a maio de 2019. 43

Figura 23. Localização dos postos com informações de turbidez na região de estudo. 44
Figura 24. Correlação entre vazão e turbidez nos postos identificados. 45
Figura 25. Postos de monitoramento com informações de turbidez na costa do Espírito Santo. Dados do PMQQS da Fundação Renova. 46
Figura 26. Pontos escolhidos para realização de levantamentos topobatimétricos. 49
Figura 27. Áreas de drenagem delimitadas para os pontos de interesse. 53
Figura 28. Áreas de drenagem delimitadas para os pontos de interesse. 53
Figura 29. Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão para os instantes em que foram observadas a maior dispersão da pluma para o norte (mapa da esquerda) e para o sul (mapa da direita). Fonte: COPPETEC (2016). 56
Figura 30. Carga de sedimentos no oceano e sua trajetória à medida que se afastam da foz do rio e submergem após o evento de colapso da barragem. As intensidades modeladas de sedimentos representam a diferença da carga mensal de sedimentos por unidade de área em $kg.m^{-2}$ com e sem o colapso. (A) Mapa de carga média mensal para fevereiro de 2016, quando a diferença atingiu o maior valor. (B) Mapa de carga média mensal resumido ao longo da série temporal (ou seja, 14 meses: novembro de 2015 a dezembro de 2016). (C) Carga máxima de sedimentos em cada pixel nos 14 meses. Fonte: Magris et al. (2018). 58
Figura 31. Caracterização do trecho de rio entre o manancial e o mar. 60
Figura 32. Localização das seções das localidades de Barra Nova e São Mateus – ES. 205
Figura 33. Localização das seções da localidade de Ranchinho – ES. 205
Figura 34. Localização das seções da localidade de Degredo – ES. 206
Figura 35. Localização das seções da localidade de Barra Seca – ES. 206
Figura 36. Localização das seções das localidades de Barra do Riacho, Regência e Vila Riacho – ES. 207
Figura 37. Localização das seções da localidade de Barra do Sahy – ES. 207
Figura 38. Localização da seção da localidade de Coqueiral – ES. 208
Figura 39. Localização das seções da localidade de Nova Almeida – ES. 208
Figura 40. Localização das seções da localidade de Conceição da Barra – ES. 209
Figura 41. Localização das seções da localidade de Itaunas – ES. 209
Figura 42. Localização das seções da localidade de Riacho Doce – ES. 210

Lista de acrônimos

AGERH: Agência Estadual de Recursos Hídricos

ANA: Agência Nacional de Águas

CERH: Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais

CESAN: Companhia Espírito Santense de Saneamento

CHM: Centro de Hidrografia da Marinha

COBRAPE: Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNOS: Departamento Nacional de Obras de Saneamento

DSR: Divisão de Sensoriamento Remoto

EDP: Energias do Brasil

ELETROBRÁS: Centrais Elétricas Brasileiras S.A

ETA: Estação de Tratamento de Água

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEMA: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IGAM: Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Minas Gerais

INPE: Instituto de Pesquisas Espaciais

MDE: Modelo Digital de Elevação

PMQQS: Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático

$Q_{7,10}$: Vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência (com um risco de 10% ocorrer valores menores ou iguais a este em qualquer ano)

Q_{95}: Vazão igual ou maior que estará presente em 95% do tempo

Q_{mlp}: Vazão Média de Longo Período

SAAE: Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SANTUR: Santa Cruz Urbanizadora S/A

SNIRH: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SisBaHiA: Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental

SRTM: Shuttle Radar Topographic Mission

UGRHs: Unidades de Gestão de Recursos Hídricos

1 INTRODUÇÃO

1.1 ANTECEDENTES

O rio Doce nasce em Minas Gerais e escoa pelo Espírito Santo até o mar. Em novembro de 2015, o rompimento da barragem Fundão permitiu o transporte de grande volume de rejeitos e sedimentos pelo rio Doce até a costa. A pluma de rejeitos e sedimentos quando chegou à costa se distribuiu de acordo com o escoamento costeiro. Os sedimentos em suspensão, com predominância de granulometria fina, chegaram ao litoral aumentando a turbidez da água na costa do Espírito Santo.

Algumas comunidades litorâneas na costa do Espírito Santo alegaram que os mananciais de água estariam contaminados pelos resíduos de sedimentos proveniente do mencionado rompimento da barragem. A concentração de sedimentos na água do mar e sua turbidez poderiam ter afetado o manancial de comunidades litorâneas por meio dos rios que escoam para o mar, nos trechos e períodos de refluxo devido à variação da maré.

As condições que poderiam afetar as águas dos mananciais superficiais ocorrem se as seguintes situações forem satisfeitas concomitantemente: (a) dependendo das condições batimétricas dos locais de mananciais, juntamente com as condições hidrológicas e hidráulicas, a água do mar pode escoar no sentido do mar (jusante) para o interior (montante) em função do nível e da variação da maré, vazão e nível no manancial; e (b) a água do mar na costa e neste mesmo momento deve estar transportando rejeitos do rompimento da barragem de Fundão.

1.2 OBJETIVOS

Existem várias comunidades na costa do Espírito Santo, que possuem como mananciais urbanos próximos águas superficiais e subterrâneas. As águas superficiais podem ter diferentes usos, dentre eles abastecimento, lazer e pesca. Normalmente, as comunidades menores usam águas subterrâneas, sendo exploradas por meio de poços, para fins de abastecimento. A contaminação dos mananciais subterrâneos devido ao mencionado rompimento não é viável considerando as restrições físicas. A contaminação potencial pode ocorrer sobre os mananciais superficiais, considerando a concomitância das condições citadas anteriormente.

O objetivo do estudo é de identificar mananciais das comunidades selecionadas pela Fundação Renova e avaliar a possibilidade destes mananciais terem contato com a água do mar na costa do Espírito Santo. O estudo examinou os locais que atendem a primeira condição mencionada no item anterior, ou seja, o escoamento do mar em determinadas condições pode atingir a seção de escoamento do manancial. Todavia não examina, por falta de dados, o segundo condicionante, que é o transporte de material decorrente do rompimento no escoamento proveniente do mar.

Para o seu desenvolvimento, a Fundação Renova identificou dezesseis (16) localidades objeto do estudo. As comunidades foram identificadas pelo município em que estão localizadas e pelas suas coordenadas geográficas, apresentados na Tabela 1 e espacialmente na Figura 1.

Tabela 1. Localidades selecionadas inicialmente pela Fundação Renova para foco do estudo.

LOCALIDADE	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE
São Mateus (Guriri)	São Mateus	18°43'43"S	39°46'28"O
Ranchinho	São Mateus	18°47’18" S	31°46'1" O
Barra Nova	São Mateus	18°56'57" S	31°44'42" O
Degredo	Linhares	19°19'6"S	39°43'17"O
Barra Seca	Linhares	19°5'59" S	39°43'22" O
Palmeira	Linhares	19°8'28"S	39°43'31"O
Povoação	Linhares	19°47'33"S	39°47'33"O
Regência	Linhares	19°38'44" S	39°49'30" O
Vila Riacho	Aracruz	19°44'59"S	40°2'34''O
Barra do Riacho	Aracruz	19°49'28” S	40°4'2" O
Barra do Sahy	Aracruz	19°52'32"S	40°5'5" O
Coqueiral	Aracruz	19°52'39" S	40°5'9" O
Nova Almeida	Serra	20°11'8"S	40°23'8" O
Conceição da Barra	Conceição da Barra	18°34'22" S	39°44'09" O
Itaúnas	Conceição da Barra	18°25'14" S	39°42'32" O
Riacho Doce	Conceição da Barra	18°21'7" S	39°40'52" O

Figura 1. Localização das localidades selecionadas pela Fundação Renova para foco do estudo.

1.3 RESUMO DO ESTUDO

No capítulo seguinte, é apresentada a caracterização da região, identificando as Unidades de Gestão de Recursos Hídricos, aspectos climáticos e hidrográficos como geologia, uso do solo e relevo e os mananciais das comunidades.

No terceiro capítulo, é apresentada a caracterização das localidades com descrição local, tipo de manancial, rio principal e afluente, sintetizando as informações principais sobre cada um dos mananciais.

O capítulo quarto apresenta a seguinte sequência de informações: (a) os postos pluviométricos, os indicadores de precipitação e as isoietas da região costeira; (b) fluviométricos com identificação dos postos existentes e indicadores principais de vazões destes postos e funções regionais de vazões médias e mínimas; (c) caracterização dos níveis de maré da região quanto aos locais com dados e sua variação temporal típica e distribuição quanto à duração; (d) qualidade da água de postos na região que permita avaliar os indicadores disponíveis.

No quinto capítulo, são apresentados os condicionantes para avaliação do refluxo nos mananciais. São apresentados os levantamentos de dados batimétricos e topográficos, as vazões afluentes dos mananciais e análise e distribuição da maré que interage com o escoamento dos rios afluentes.

No sexto capítulo, são analisados os potenciais efeitos sobre cada manancial, examinando inicialmente aqueles que não podem ser afetados porque a topografia de fundo do rio é superior as cotas de maré, o que inviabilizaria o refluxo, e para os locais onde com a profundidade do escoamento nos mananciais é superior às cotas de maré. No estudo são identificadas as localidades que podem ser afetadas pelo refluxo, o que não significa que efetivamente foram afetadas, pois depende do conhecimento da concentração de sedimentos e a identificação de sua origem.

No capítulo sete, são apresentadas as conclusões e recomendações do estudo.

2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

Este capítulo apresenta uma síntese das principais características da área de estudo que apoiam o desenvolvimento e entendimento dos condicionantes analisados. São identificadas as unidades de gestão de recursos hídricos costeiras que englobam a área em estudo, o comportamento climático regional, características físicas que influenciam as condições hidrológicas das bacias costeiras como geologia, uso do solo e relevo e a caracterização dos principais mananciais das localidades de interesse.

2.1 UNIDADES DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS COSTEIRAS

A Resolução nº 001, de 13 de novembro de 2009, do CERH, cria as unidades de gestão de recursos hídricos (UGRHs) de corpos de água de domínio do Estado do Espírito Santo, apresentadas na Figura 2. Das oito UGRHs apresentadas na Figura 2, a Doce é a maior em termos territoriais, abrangendo mais de um terço (34%) da área total do Estado do Espírito Santo e interceptando 36 (trinta e seis) dos 78 (setenta e oito) municípios do Estado.

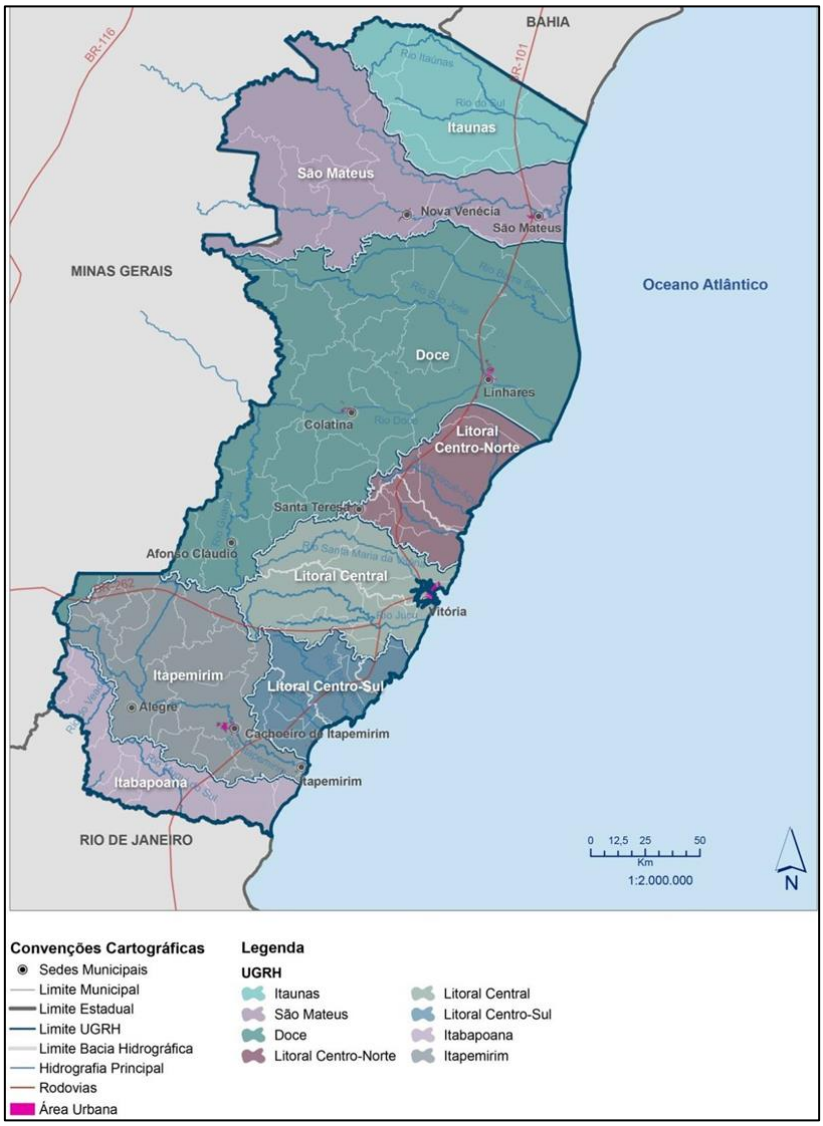


Figura 2. Unidades de gestão dos recursos hídricos do Espírito Santo. Fonte: COBRAPE (2018).

2.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Segundo descrito no Plano Estadual de Recursos Hídricos (COBRAPE, 2018), o estado do Espírito Santo encontra-se na zona Tropical Central, com um clima quente e predominantemente úmido, sem uma estação fria definida. Segundo a classificação de Köppen, a maior parte do Estado possui clima tropical úmido (Am), com temperaturas médias acima dos 18°C.

Com categorização semelhante, o mapeamento de clima, apresentado na Figura 3, classifica a maior parte do Estado como clima quente e úmido, com 1 a 3 meses secos. Já na região serrana predomina clima subquente e mesotérmico brando úmido e superúmido para o clima subquente. As temperaturas médias variam entre 15 e 18°C em pelo menos um mês do ano e para o mesotérmico, entre 10 e 15°C.

No Espírito Santo, os meses de junho a setembro possuem as menores temperaturas e os menores valores de precipitação. De dezembro a março, são registradas as maiores temperaturas e os maiores índices pluviométricos. Esse cenário determina períodos de um inverno seco e de um verão úmido.

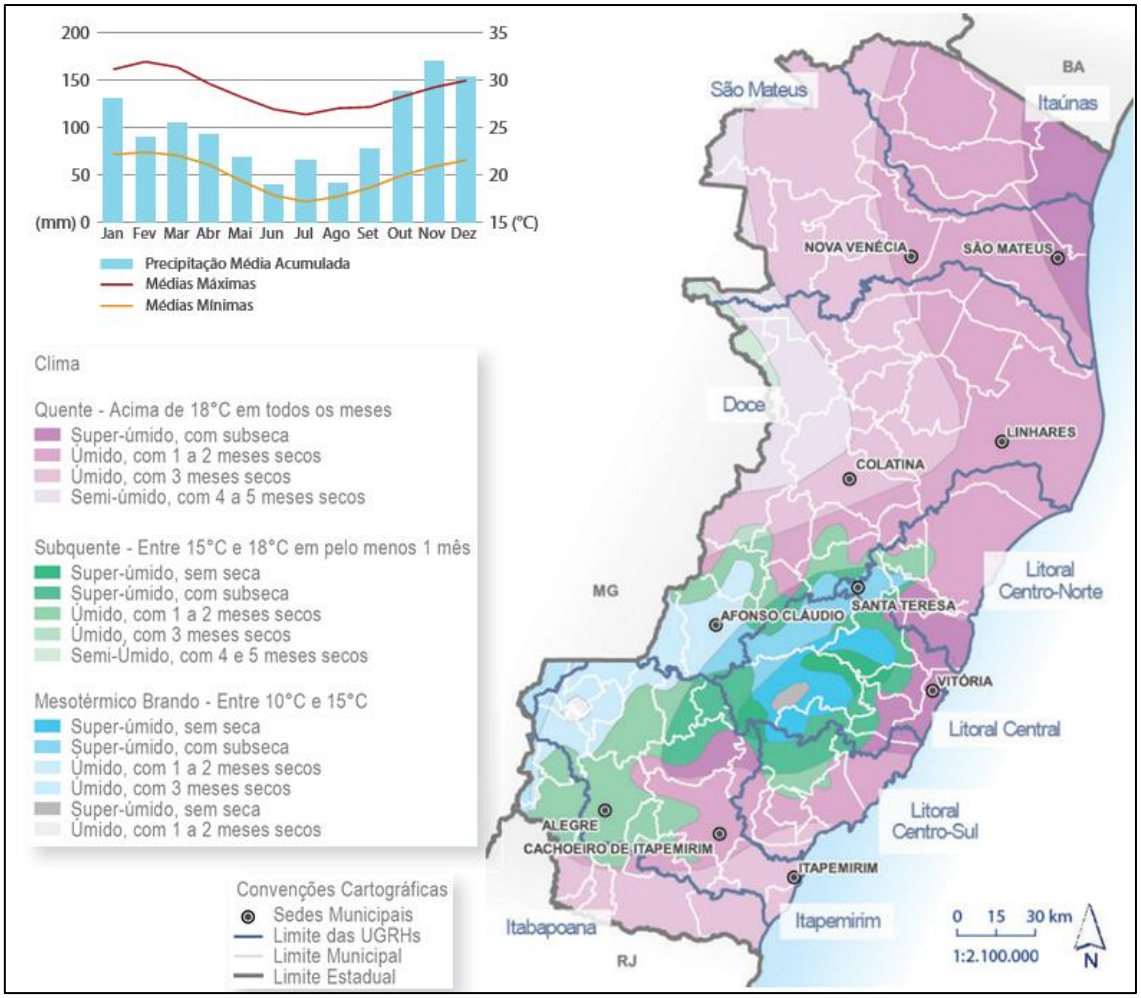


Figura 3. Classificação climática do estado do Espírito Santo. Fonte: COBRAPE (2018).

2.3 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS NA REGIÃO DE ESTUDO

Neste item, são apresentadas as principais características hidrográficas na região de estudo, com informações sobre a geologia, relevo e uso e ocupação do solo.

2.3.1 Geologia

Os dados de geodiversidade do estado do Espírito Santo foram obtidos através do portal GeoSB da CPRM (CPRM, 2019). Conforme ilustrado na Figura 4, o estado possui como predominância a formação rochosa metamórfica, que pode ser caracterizada pela presença de xistos em sua superfície, os quais facilitam a ação dos agentes responsáveis pelo intemperismo, possibilitando uma intensa alteração das rochas que resultam em solos espessos.

Destaca-se também a formação de rochas sedimentares, principalmente na região norte do Estado, que se caracteriza pela porosidade e normalmente apresenta uma boa permeabilidade (TUCCI, 2009). Na região costeira, há predominância de depósitos de material superficial, que apresentam padrão granular e alta porosidade. Também se encontra a formação Ígnea e Ígnea/Metamórfica, que provém da solidificação de um magma e costumam ser maciças (PINTO, 2006).

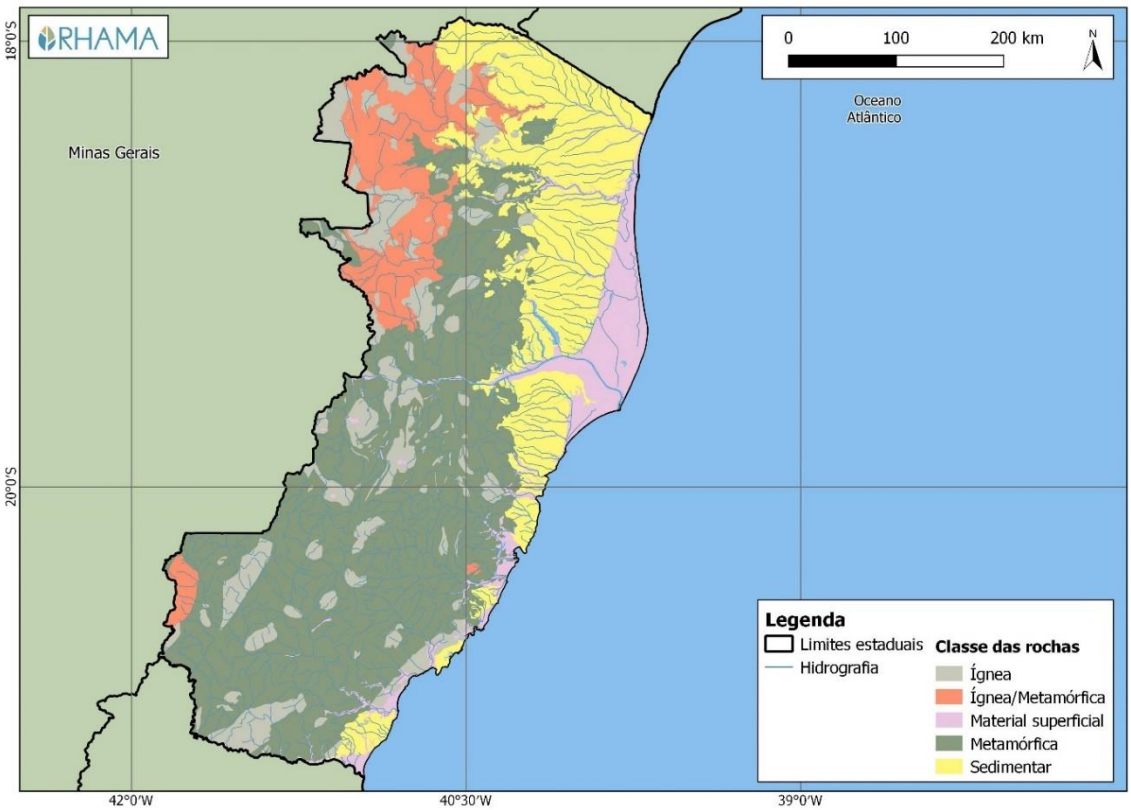


Figura 4. Caracterização geológica do estado do Espírito Santo.

2.3.2 Usos e tipos de solo

Os principais tipos de solo do estado do Espírito Santo foram identificados a partir das informações disponibilizadas por IBGE (2001) e são apresentados na Figura 5. Dentro do estado, foi identificado um total de 11 tipos de solo, sendo os solos de maior predominância os

argissolos e latossolos. Ambos os tipos de solo apresentam baixa capacidade para escoamento devido à sua textura argilosa (PINTO, 2006).

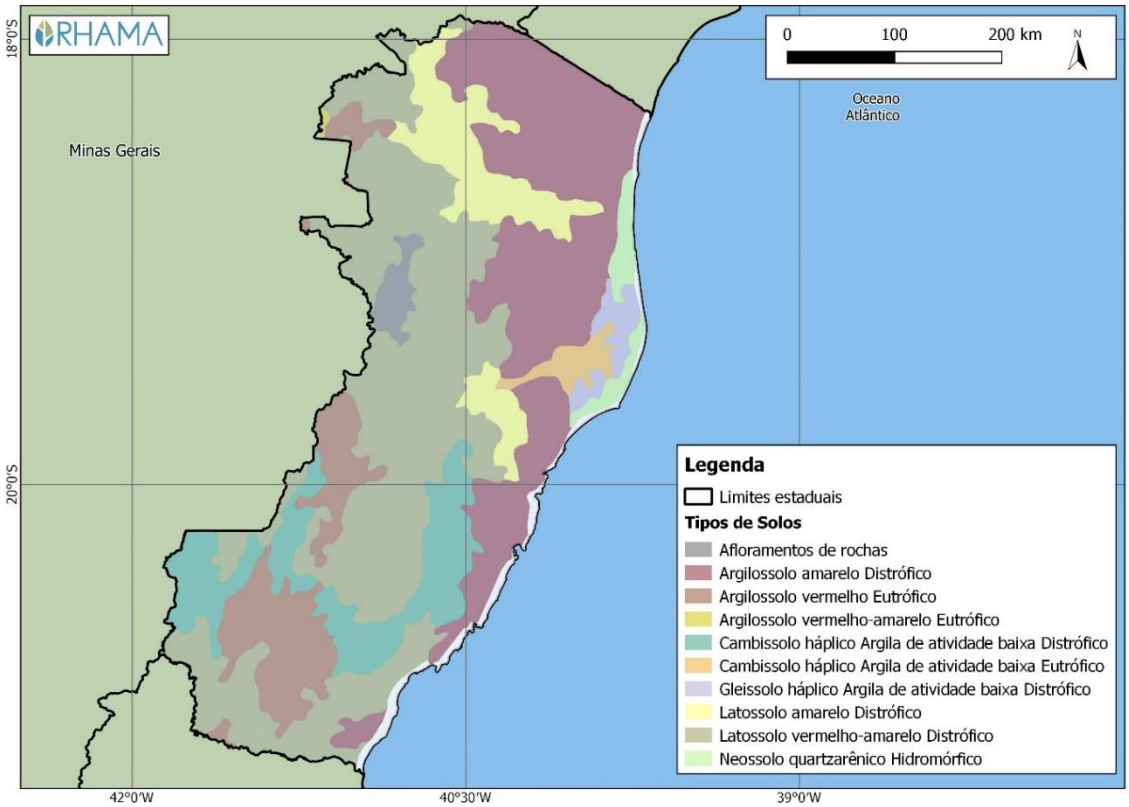


Figura 5. Caracterização dos principais tipos de solos existentes no estado do Espírito Santo.

As características do uso do solo no estado do Espírito Santo foram obtidas através do IBGE (2016). O estado é caracterizado por uma grande predominância de mosaicos de ocupações em área florestal, principalmente na região centro e sul do estado, as quais apresentam também áreas de vegetação florestal, pastagem com manejo, área artificial, área agrícola e silvicultura, conforme pode ser observado na Figura 6. As porcentagens de cobertura do uso do solo em relação à área total do Estado são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Proporções de classe de uso do solo no estado do Espírito Santo.

Classe de uso	Área (km²)	Porcentagem do Estado (%)
Área artificial	634,5	1,4
Área agrícola	2085,0	4,5
Pastagem com Manejo	9990,2	21,4
Mosaico de ocupações em área florestal	24518,5	52,6
Silvicultura	2295,2	4,9
Vegetação florestal	3328,2	7,1
Vegetação campestre	1887,7	4,1
Mosaico de ocupações em área campestre	1642,2	3,5
Corpo d'água continental	173,8	0,4
Corpo d'água costeiro	20,2	0,04
Total	**46575,5**	**100,0**

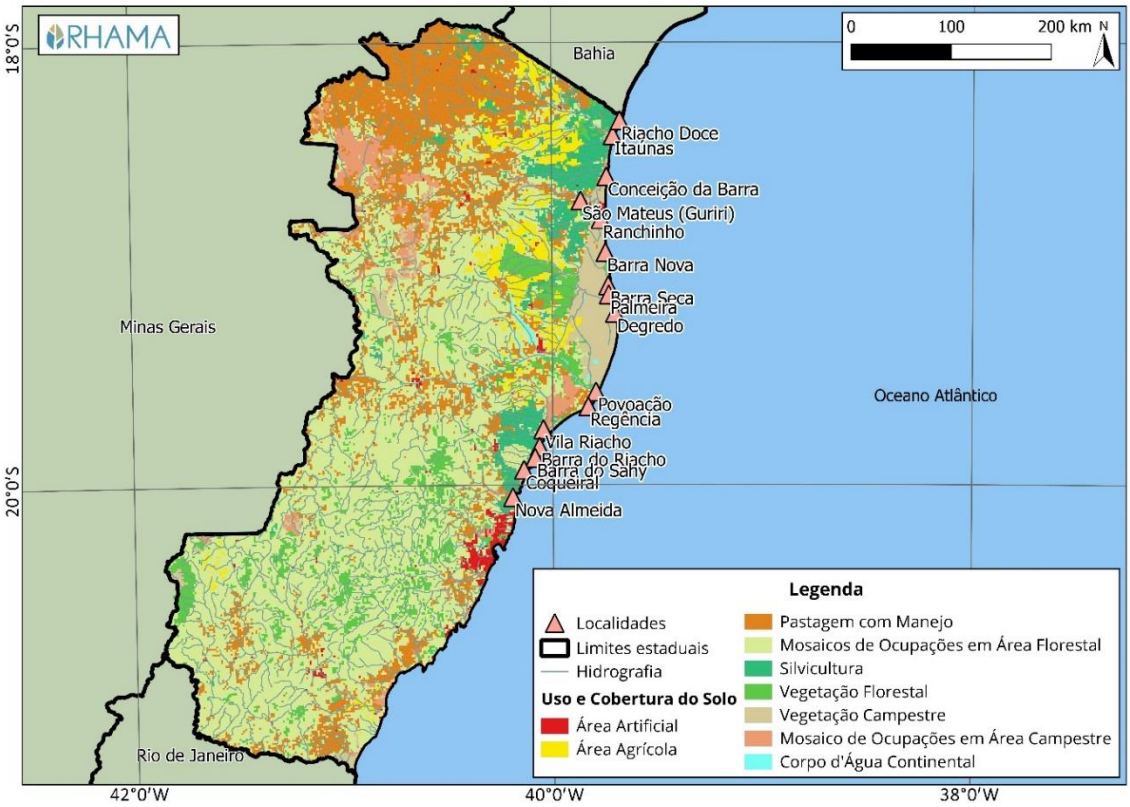


Figura 6. Caracterização do uso do solo no estado do Espírito Santo.

Na porção norte do Estado, a área de pastagem com manejo é mais preponderante, juntamente da silvicultura, área agrícola e mosaico de ocupações em área campestre. A zona costeira na porção norte apresenta vegetação campestre em praticamente toda a costa, já a zona costeira da região centro e sul apresenta diversos usos.

2.3.3 Relevo

Para caracterização do relevo do estado do Espírito Santo, foi utilizado o MDE-STRM disponibilizado pelo Projeto Topodata (TOPODATA, 2011) do DSR-INPE. As informações são obtidas pela adaptação de um MDE-STRM com resolução espacial de 90 m, transformado através de preenchimento de falhas, conversão e interpolação em um MDE de resolução espacial de 30 m. O relevo do estado do Espírito Santo pode ser observado na Figura 7.

A região costeira do Estado apresenta relevo pouco heterogêneo, caracterizando regiões mais planas. As regiões com maiores elevações são observadas no sudeste/sul no interior do Estado.

2.4 MANANCIAIS PRÓXIMOS ÀS LOCALIDADES DE INTERESSE

Para o presente trabalho, são relevantes as URGHs dos rios Itaúnas, São Mateus e Doce e rios das URGHs Centro Norte e Central, onde se situam os municípios de Aracruz e Serra. Na Tabela 3, são apresentados os principais mananciais por município avaliado.

Há outros corpos hídricos de interesse do presente estudo, situados ao sul da confluência do rio Doce com o oceano, os quais não foram identificados os nomes. Algumas das

localidades margeiam cursos de água drenando pequenas bacias hidrográficas onde podem ser identificadas obras de retificação dos canais, feitas pelo DNOS. Algumas dessas bacias são constituídas por talvegues sem denominação. Os cursos de água de maior porte, com toponímia conforme carta do IBGE, são o córrego Piranema (bacia hidrográfica com 53,2 km²), córrego Barra do Sahy (31,24 km²), córrego do Sauê (57,5 km²) e córrego Fundão ou Reis (484,2 km²) com obras de retificação de curso ao longo do leito.

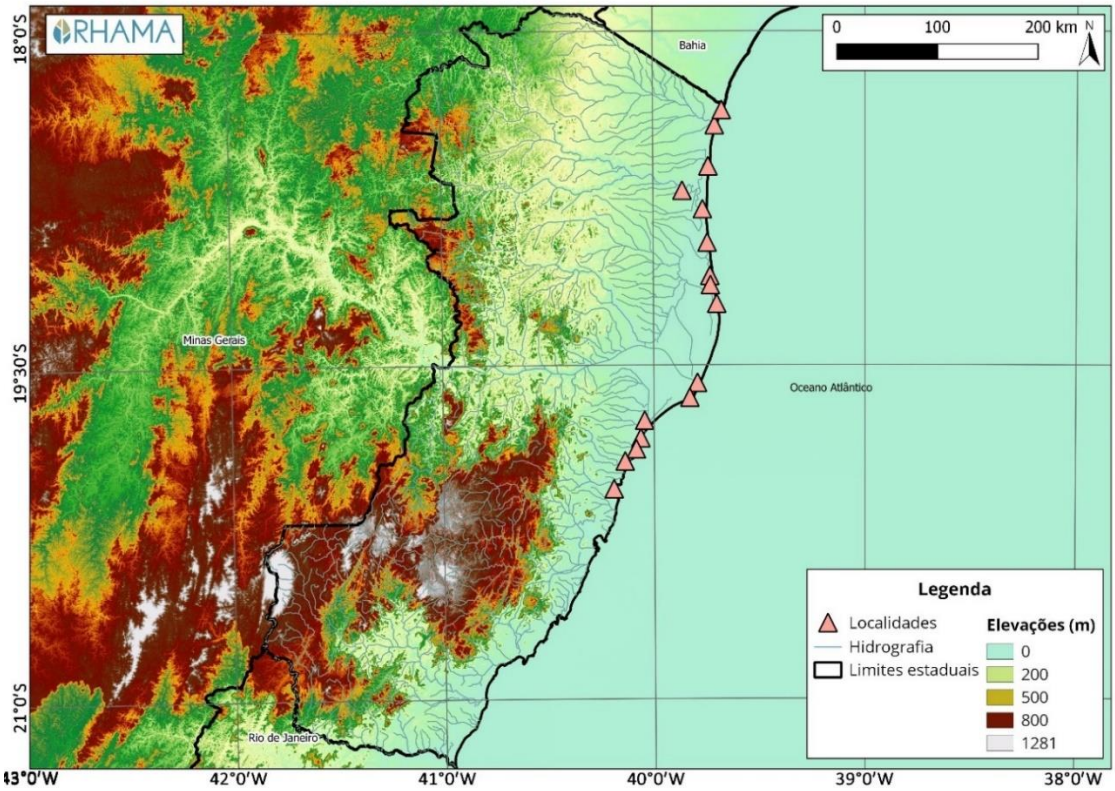


Figura 7. Caracterização do relevo no estado do Espírito Santo.

Tabela 3. Localidades da área de estudo e principais cursos d'água.

ITEM	MUNICÍPIO	BACIA	PRINCIPAIS MANANCIAIS
1	São Mateus	Itaúnas, São Mateus	Itaúnas, do Sul, Itauninhas, Jundiá, Angelim, Rios São Mateus, Cotaxé, Cricaré, da Prata, Preto, São Francisco, Muniz, Dois de Setembro, Quinze de Novembro, Santa Joana, Preto, Santana, Abissínia e Preto do Sul, Rios São Mateus, Cotaxé, Cricaré, da Prata, Preto, São Francisco, Muniz, Dois de Setembro, Quinze de Novembro, Santa Joana, Preto, Santana, Abissínia e Preto do Sul.
2	Conceição da Barra		
3	Linhares*	Doce	Doce (domínio da União), Guandu, Pancas, Santa Joana, Santa Maria do Doce, São José e Barra Seca.
4	Aracruz	Litoral Centro Norte e Litoral Central	Rios Riacho, Piraquê-Açu, Reis Magos e Jacaraípe.
5	Serra		

Fonte: COBRAPE (2018).

3 CARACTERIZAÇÃO DAS LOCALIDADES DE INTERESSE

Dentre as localidades em estudo, estão incluídos alguns setores dos municípios sedes, alguns distritos e localidades bem menores constituídos de vilas de pescadores, áreas indígenas, entre outras. Algumas áreas estão interconectadas aos sistemas de abastecimento de água do município sede, outras possuem sistemas próprios de abastecimento, por vezes muito pequenos. Tal variabilidade reflete também na disponibilidade de informações secundárias, tendo sido identificados casos de pouca ou nenhuma informação. Nestas situações, as informações foram complementadas com coleta de dados em campo, por meio de visitas ao local e entrevistas à população.

Na sequência, são apresentados os principais aspectos identificados dos municípios em cada localidade, identificada na Tabela 1 e Figura 1. Estas informações foram obtidas de entrevistas e visitas às localidades seguindo o questionário apresentado no ANEXO A. No ANEXO B, constam as fichas preenchidas utilizadas nas visitas para cada uma das localidades. A comunidade de Palmeira não foi localizada, logo, não foi possível avaliar os impactos nesta região.

3.1 MUNICÍPIO DE SÃO MATEUS

3.1.1 São Mateus (Guriri)

A ilha de Guriri está localizada a 13 km do centro do município de São Mateus, estando a cerca de 90 km da foz do rio Doce. A ilha possui relevo predominantemente plano, estando a uma altura média de 2 metros acima do nível do mar.

Segundo os entrevistados (ANEXO B), a qualidade da água é boa para beber, tomar banho, cozinhar, lavar roupas e não tem coceira na pele após banho. Relatam ainda que não sentiram nenhuma diferença na água após o rompimento da barragem de Fundão em Mariana. Segundo os responsáveis pelo abastecimento de água na região, há problemas de salinidade. Há 5 anos não há captação no rio Mariricu, optando-se pelos poços artesianos.

3.1.2 Ranchinho

A comunidade de Ranchinho está localizada a cerca de 15 km do centro urbano de São Mateus, na costa do Espírito Santo. Está situada a aproximadamente 93 km da foz do rio Doce.

Foi informado que houve redução de peixes após o rompimento da barragem de Mariana. No entanto, a água está em boas condições tanto para banho, como para lavar roupas e regar horta. Após o rompimento da barragem, a água dos poços não sofreu alteração. Não há rede de abastecimento de água, cada residência possui seu próprio poço.

3.1.3 Barra Nova

Barra Nova é um distrito do município de São Mateus. Em sua sede, localizam-se uma praia e uma vila, de mesmo nome, com alta demanda turística. A localidade abriga uma vila de pescadores. Também se encontra nessa localidade a foz do rio Mariricu, formada artificialmente em meados do século XX com o intuito de drenar a região.

Após o rompimento da barragem, o abastecimento de água é realizado com água subterrânea. Os moradores relataram problemas de saponificação durante o banho, com a água apresentando cheiro e gosto de ferrugem. Segundo os entrevistados (ANEXO B), antes do rompimento a água era boa.

3.2 MUNICÍPIO DE LINHARES

3.2.1 Degredo

Degredo é uma vila localizada na faixa litorânea entre o balneário do Pontal do Ipiranga e a comunidade de Povoação, distante a 50 km da sede do município de Linhares - ES. Existem duas lagoas junto à praia: lagoa do Junco e lagoa do Bilino.

Por se tratar de uma reserva quilombola, a visita foi acompanhada por uma equipe da Fundação Renova e da própria comunidade. Foi relatado que a água dos poços, próximos ao rio Ipiranga, encontra-se com problemas para uso. Existe queixas de coceiras, dor no estômago e problemas renais. Comentaram que houve uma análise das águas da região e que todos os poços estão contaminados com ferro. A água, quando utilizada para irrigação, acaba prejudicando a vegetação. A comunidade afirma que antes do rompimento a água era boa e o uso não apresentava restrições. O abastecimento de água é realizado por poços profundos, sendo identificado como principal manancial próximo à localidade o rio Ipiranga.

3.2.2 Barra Seca

A localidade de Barra Seca possui uma praia destinada totalmente ao naturismo e está situada a 142 km de Vitória. Situa-se a cerca de 60 km a norte da foz do rio Doce. O acesso se dá pela BR-101 até Pontal do Ipiranga, pegando então uma balsa até o outro lado do rio Barra Seca.

Segundo os entrevistados, a qualidade da água é boa, não sofrendo alterações após o rompimento. Alguns reclamaram que houve redução na pesca devido à baixa oferta de peixes e isto impacta o turismo local. O abastecimento de água é realizado por poços.

3.2.3 Povoação

A vila de Povoação está a 40 km da sede de Linhares, situada na confluência do rio Doce com o mar. Destaca-se a presença do Programa Brasileiro de Conservação das Tartarugas Marinhas na localidade, sendo que um dos maiores ninhos de tartaruga da região está em Povoação.

Segundo os entrevistados, a captação de água teve de ser alterada para poços profundos. Antes do rompimento, era realizada por captação direta nas águas do rio Doce. Ainda segundo eles, a produção de água é insuficiente e há necessidade de complementação por carros pipa.

3.2.4 Regência

Regência está localizada 50 km ao sudeste de Linhares. É uma pequena comunidade de pescadores com cerca de dois mil habitantes, cujas principais fontes de subsistência são a pesca e as atividades de conservação ambiental.

Antes do rompimento, a população utilizava a água do rio Doce. Os entrevistados comentaram que a água não é boa para lavagem de roupas, com gosto e cheiro de ferrugem. Alguns sentem coceira após o banho. O abastecimento é realizado por meio de caminhões pipa e poços artesianos. Recentemente, o sistema de abastecimento de água foi construído sendo composto por uma ETA e um sistema de distribuição de água. As estruturas implantadas pela Fundação Renova estão em fase de operação assistida.

3.3 MUNICÍPIO DE ARACRUZ

3.3.1 Vila do Riacho

A comunidade de Vila do Riacho pertence ao município de Aracruz – ES. O sistema de abastecimento de água do distrito de Vila do Riacho tem hoje como principal fonte de produção um manancial superficial denominado rio Riacho, cuja nascente está localizada na lagoa Aguiar, divisa com o município de Linhares, e sofre influência do rio Doce pelo canal Caboclo Bernardo quando são abertas as comportas.

Os operadores da ETA que abastece a comunidade afirmam que logo após o rompimento foi observado o aumento da concentração de alumínio na água, mas que atualmente isto já não é mais observado. A água possui boa qualidade para beber, sem gosto ou cheiro de ferrugem. Os moradores entrevistados comentaram que a água continuou boa mesmo após o rompimento, sendo utilizada para consumo e limpeza normalmente.

3.3.2 Barra do Riacho

O sistema de abastecimento de água de Barra do Riacho entrou em operação em abril de 1982 por meio do SAAE de Aracruz. A principal fonte é o manancial superficial denominado córrego Santa Joana. O córrego sofre influência operacional do reservatório formado pela barragem da Fibria e é alimentado pelo canal artificial Caboclo Bernardo. Este canal é isolado por sistema de comportas, que realiza controle de entrada de cunha salina.

Segundo os entrevistados, não há queixas da população quanto à qualidade da água.

3.3.3 Barra do Sahy

A praia da Barra do Sahy pertence ao município de Aracruz – ES, situada a cerca de 45 km ao sul da foz do rio Doce. O sistema de captação é realizado por meio de manancial superficial, o córrego Guaxindiba, a partir do qual é feita a tomada d'água diretamente do leito.

Os entrevistados comentaram que a água apresenta salinidade mais acentuada em alguns momentos, mas que em geral é boa para uso.

3.3.4 Coqueiral

O sistema de abastecimento de água de Coqueiral entrou em operação na década de 70. Foi construído e operado pela empresa SANTUR até o início da década de 90, sendo posteriormente repassada ao SAAE de Aracruz, sob regime de comodato para operação e manutenção. Além da região do Coqueiral, o sistema atende às regiões de Putiri, Mar Azul, Praia dos Padres, Pontal do Piraquê-Açu, Balneário Sauê e Caieiras Velha.

Segundo os operadores da ETA, a água tem boa qualidade e não sofreu impactos decorrentes do rompimento.

3.4 MUNICÍPIO DE SERRA

3.4.1 Nova Almeida

O distrito de Nova Almeida pertence ao município de Serra – ES e está situado a cerca de 60 km ao sul da foz do rio Doce. O sistema de abastecimento de água potável de Nova Almeida vem do município de Serra. Segundo os entrevistados, não houve alterações na qualidade das águas após o rompimento da barragem de Fundão.

3.5 MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DA BARRA

3.5.1 Conceição da Barra

O município de Conceição da Barra situa-se no extremo norte do Espírito Santo. A zona costeira do município encontra-se a cerca de 125 km a norte da foz do rio Doce. O impacto observado após o rompimento da barragem de Fundão foi o aumento a salinidade no local de captação. O município capta água do rio Cricaré e complementa com o uso de poços artesianos.

3.5.2 Itaúnas

O município de Itaúnas também se situa no extremo norte do Espírito Santo, a cerca de 130 km da foz do rio Doce. O sistema de abastecimento de água de Itaúnas está vinculado ao município de Conceição da Barra. Não houve reclamações sobre a qualidade da água na região. O abastecimento é realizado por poços profundos.

3.5.3 Riacho Doce

Riacho Doce se localiza na divisa de Espírito Santo e Bahia. O sistema de abastecimento na localidade é através de poços subterrâneos. Na localidade, não foram identificados problemas de qualidade da água após o rompimento.

O córrego que passa por Riacho Doce, onde foi feito o levantamento da seção, não possui nome nos registros da ANA.

3.6 SÍNTESE DA SITUAÇÃO IDENTIFICADA NAS LOCALIDADES

A análise dos dados disponíveis na região de interesse considerou as informações disponibilizadas na internet e levantamentos de informações em campo. A Tabela 4 mostra um resumo das informações levantadas.

Algumas localidades apresentaram queixas nos mananciais próximos após o rompimento da barragem de Fundão. A maioria dos locais avaliados possui captação de água a partir de manancial subterrâneo. As principais reclamações são referentes ao gosto e odor da água nos poços, a problemas na saponificação das águas dos rios e à baixa oferta de peixes em alguns locais após o rompimento.

Tabela 4. Síntese das informações obtidas para as localidades de interesse.

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	MANANCIAIS SUPERFICIAIS PRÓXIMOS	OBSERVAÇÃO	TIPO CAPTAÇÃO	CONSESSIONÁRIA ABASTECIMENTO	COMENTÁRIOS DAS ENTREVISTAS E OBSERVAÇÕES
São Mateus	São Mateus (Guriri)	Rio Cricaré		Subterrânea	SAAE São Mateus	Não foram relatados impactos após o rompimento.
	Ranchinho	Rio Mariricu		Subterrânea	SAAE São Mateus	Redução de peixes após o rompimento.
	Barra Nova	Rio Mariricu		Subterrânea	SAAE São Mateus	Coceira após o banho.
Linhares	Degredo	Rio Ipiranga	Área quilombola	Subterrânea	SAAE Linhares	Água amarelada nos poços. Comunidade afirma que os poços puxam água do rio.
	Barra Seca	Rio Ipiranga		Subterrânea	SAAE Linhares	Água amarelada nos poços. Redução da pesca causou impactos no turismo.
	Palmeira	**-**	**-**	**-**	**-**	**Localidade não encontrada.**
	Povoação	Rio Doce		Subterrânea	SAAE Linhares	Nesta localidade o manancial é o próprio rio Doce, sendo, portanto, fortemente impactada. Uma vez que o principal manancial é o próprio rio Doce, não foi necessário avaliar o potencial de contato.
	Regência	Rio dos Comboios	Área indígena	ETA Linhares (Caminhões pipa) e subterrânea	SAAE Linhares	Após o rompimento começou a utilizar poços e caminhões pipa. Captava água no rio Doce.
Aracruz	Vila Riacho	Rio Riacho		Superficial (Rio Riacho)	SAAE Aracruz	Aumento na concentração de alumínio na água logo após o rompimento. Para consumo, a água deve ser obtida em poços.
	Barra do Riacho	Rio Riacho		Superficial (Córrego Santa Joana)	SAAE Aracruz	Não foram relatados impactos após o rompimento.
	Barra do Sahy	Córrego Guaxindiba		Superficial e poço (Córrego Guaxindiba)	SAAE Aracruz	Não foram relatados impactos após o rompimento. Apenas problemas de salinidade.

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	MANANCIAIS SUPERFICIAIS PRÓXIMOS	OBSERVAÇÃO	TIPO CAPTAÇÃO	CONSESSIONÁRIA ABASTECIMENTO	COMENTÁRIOS DAS ENTREVISTAS E OBSERVAÇÕES
	Coqueiral (Sauê)	Córrego do Sauê		Superficial (Lagoa Santur)	SAAE Aracruz	Não foram relatados impactos após o rompimento.
Serra	Nova Almeida	Rio Reis Magos		Superficial (Rio Santa Maria da Vitória)	CESAN	Não foram relatados impactos após o rompimento.
Conceição da Barra	Conceição da Barra	Rio Cricaré		Superficial e subterrâneo (Rio Cricaré)	CESAN	Aumento da salinidade na água de abastecimento entre 2015 e 2017.
	Itaúnas	Rio Itaúnas		Subterrâneo	CESAN	Não foram relatados impactos após o rompimento.
	Riacho Doce	Rio sem nome		Subterrâneo	-	Não foram relatados impactos após o rompimento.

4 ANÁLISE DOS DADOS TEMPORAIS NA REGIÃO COSTEIRA

Este capítulo apresenta a base de dados identificada na região do estudo e suas respectivas análises. A rede de monitoramento de interesse na região de estudo é composta por dados pluviométricos, fluviométricos, monitoramento de turbidez e elevação de maré na costa do Espírito Santo.

4.1 PLUVIOMETRIA

Os postos com dados pluviométricos e suas séries históricas foram obtidas no site da ANA no sistema HIDROWEB (https://www.snirh.gov.br/hidroweb). Foram encontrados 163 postos pluviométricos. Deste total, 73 estavam em operação até 2018. Foram selecionados para análise os postos em operação até o final de 2018 e com 30 anos ou mais de dados efetivos, resultando 16 postos (Figura 8 e Tabela 5).

As principais características dos postos pluviométricos identificados são apresentadas no ANEXO C.

Os dados de precipitação da região foram examinados quanto à variabilidade temporal e espacial, onde se obteve especificamente o seguinte:

- Tendências de longo prazo: comportamento da precipitação ao longo dos anos para verificar a variabilidade de longo prazo;
- Análise de sazonalidade: análise da tendência média ao longo dos meses dos anos, que caracterizam a sazonalidade da região;
- Mapa de isoietas: distribuição espacial da precipitação média anual na região permitindo analisar as características desta distribuição.

Tabela 5. Características dos postos pluviométricos selecionados para análise.

Código	Nome	Responsável	Início	Fim	Precipitação anual média (mm/ano)
1839001	Conceição da Barra	ANA	1930	2019	1273,8
1840012	Fazenda Limoeiro	ANA	1970	2018	1058,3
1840016	Patrimônio XV	ANA	1970	2018	1018,5
1841010	Santo Agostinho	ANA	1970	2019	1126,9
1939002	Povoação	ANA	1974	2018	1269,4
1940000	Itarana	ANA	1947	2018	1073,7
1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	ANA	1967	2018	995,7
1940007	Fundão	ANA	1948	2018	1522,2
1940010	Valsugana Melha - Montante	ANA	1956	2018	1829,4
1940013	Novo brasil	ANA	1969	2018	1123,2
1940022	Jacupemba	ANA	1970	2018	1187,5
1941009	Ibituba	ANA	1967	2018	876,6
2040005	Iconha - Montante	ANA	1947	2018	1561,5
2041013	Iúna	ANA	1954	2018	1166,8
2041019	Itaici	ANA	1961	2018	1373,5
2041020	Arace (Fazenda Modelo)	ANA	1963	2018	1311,3

Figura 8. Localização dos postos pluviométricos selecionados.

4.1.1 Tendências de longo prazo

A partir dos dados pluviométricos obtidos, foram avaliadas as tendências temporais de longo prazo verificando como a anomalia[1] da precipitação se comporta. A dinâmica interanual considerou os valores médios anuais adimensionais (divididos pela sua média de longo período) e a média móvel de cinco anos, que representa uma tendência periódica. Os resultados de todos os postos são apresentados no ANEXO D, onde se observa que em todos os postos ocorre uma tendência abaixo da média depois de 2013, representando o período seco que perdura até 2018, pelo menos.

4.1.2 Sazonalidade

A análise das precipitações mensais adimensionais demonstrou um comportamento sazonal bem definido, com período chuvoso ocorrendo entre outubro e março e período seco entre abril e setembro. Os resultados são apresentados na Figura 9. Nesta figura, foram apresentados três postos representativos, localizados no norte, centro e sul do estado. Nestes postos, pode-se observar que a sazonalidade é uniforme na região (Figura 10).

[1] Anomalia é a precipitação anual dividida pela sua média, caracterizando os anos acima e abaixo da média.

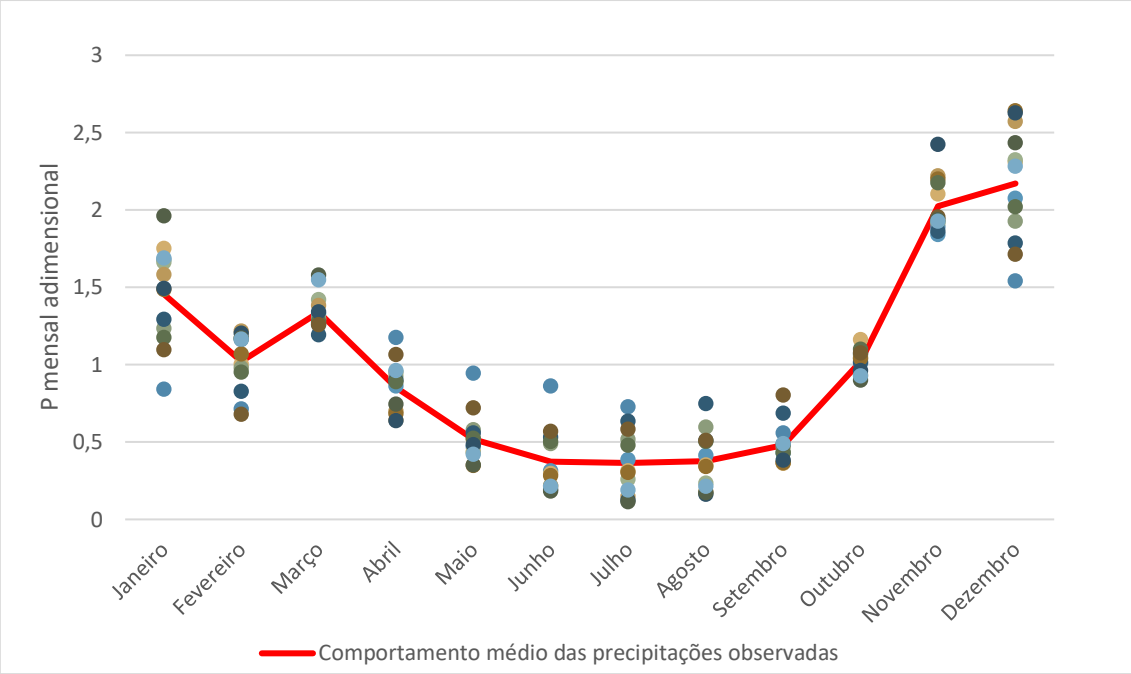


Figura 9. Sazonalidade dos postos pluviométricos do estado do Espírito Santo.

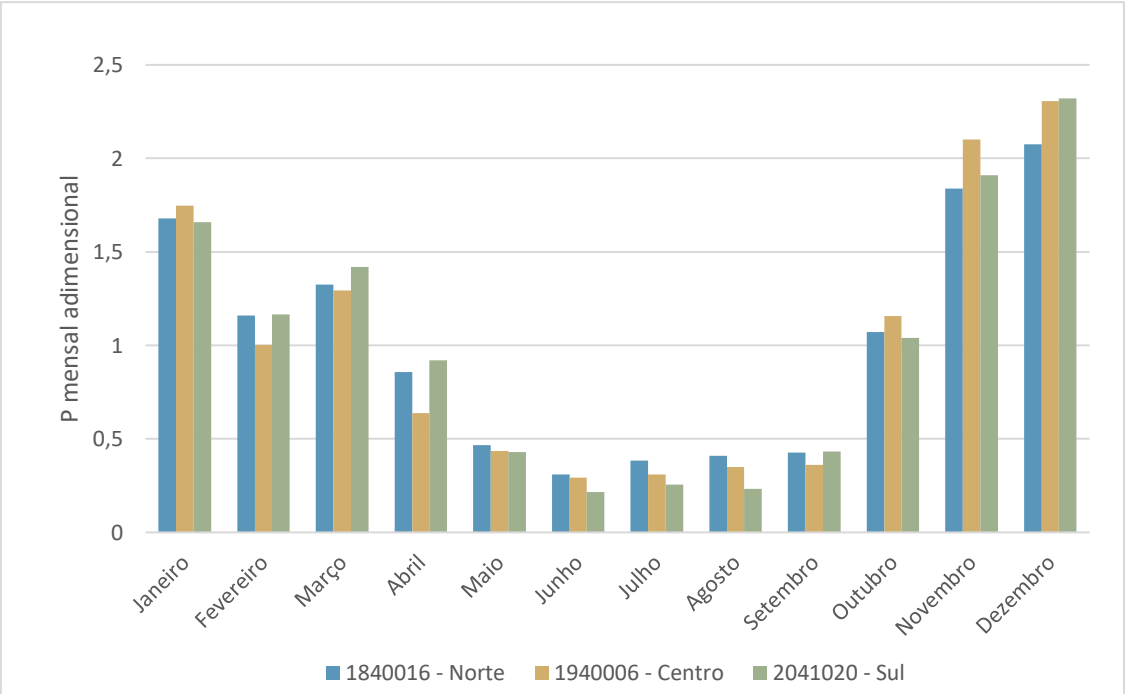


Figura 10. Precipitação mensal adimensional dos postos 1840016, 1940006 e 2041020, localizados na região norte, centro e sul do estado, respectivamente.

4.1.3 Isoietas

Utilizando os valores totais anuais médios, foi construído o mapa de isoietas de precipitação regional (Figura 11). O mapa mostra variações espaciais na precipitação, com valores maiores se concentrando mais ao sul do Estado e valores menores ao norte.

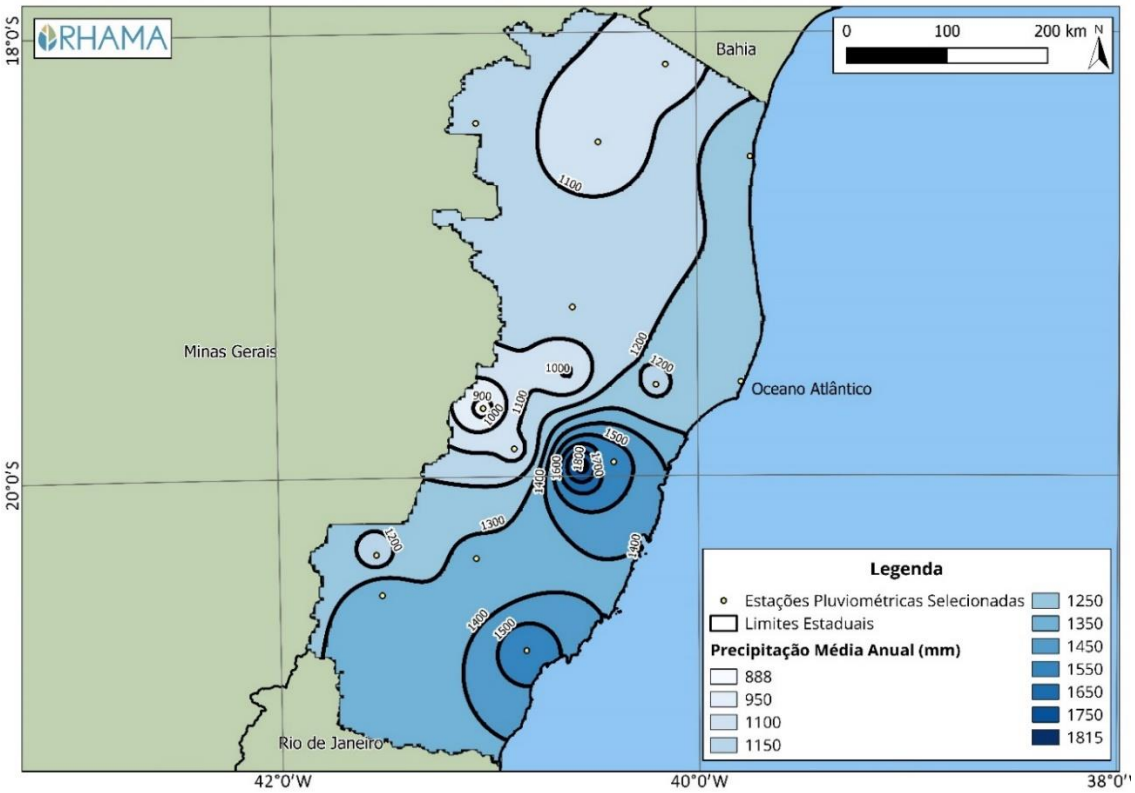


Figura 11. Isoietas de precipitação anual média para o estado do Espírito Santo.

4.2 FLUVIOMETRIA

Os dados fluviométricos na região de interesse foram obtidos através do HIDROWEB/ANA, ferramenta integrante do SNIRH. As agências operadoras dos postos diferem entre ANA, CEMIG, CPRM, DNOS, EDP, ELETROBRÁS, ENERGEST e IEMA-ES. Foram identificadas 147 estações fluviométricas com dados disponíveis. Deste total, 145 estações possuem informações de cota (detalhadas no ANEXO E) e 62 estações possuem informações de vazão (detalhadas no ANEXO F). Um total de 60 estações disponibilizam séries temporais de ambos os dados.

Para análises das vazões, foram selecionadas estações com no mínimo 5 anos de dados contínuos e pelo menos 85% de dados válidos. As estações fluviométricas situadas no rio Doce não foram consideradas devido à área de drenagem das bacias hidrográficas possuir ordem de grandeza superior às dos mananciais em estudo, não sendo representativas para uso na regionalização. A localização dos postos analisados pode ser vista na Figura 12 e suas características na Tabela 7. Para seleção adicional dos dados foram examinadas as curvas – chave dos postos com dados.

A caracterização das vazões na região considerou análises espaciais e temporais, sendo composta por:

- Tendências de longo prazo;
- Análise de sazonalidade;
- Curvas de regionalização.

Figura 12. Localização dos postos fluviométricos selecionados para análise.

4.2.1 Classificação de curvas-chave

As relações entre nível d'água e vazão são denominadas curvas-chave. Esta função tende a uma relação biunívoca quando o escoamento é cinemático, ou seja, não está sujeito a remanso ou inversão de escoamento, como em trechos próximos ao mar. A avaliação de curvas-chave realizada neste trabalho foi baseada na razão entre os valores observados e medidos de nível d'água e vazão (TUCCI, 2002, pág. 88). Dependendo da magnitude do desvio entre valores observados e medidos, foi atribuída uma nota para as curvas traçadas na Tabela 6. Notas diferentes de A ou B mostram grandes extrapolações dos valores, tanto no ramo superior como inferior da curva-chave, limitando a confiabilidade dos dados.

Observou-se que os postos fluviométricos apresentam na região grande número de curvas-chave ajustadas. Este fato é resultante da morfologia das seções bem como do local onde são realizadas as medições. Seções com grandes alterações morfológicas decorrentes de sedimentos de fácil ressuspensão ou erosão sofrem constante alteração de sua capacidade hidráulica, sendo necessário atualizar a curva-chave. Outro fator é a alteração do referencial utilizado durante as medições, sempre que a leitura sofre alterações, a curva-chave é ser atualizada.

Na classificação das curvas-chaves para os valores mínimos, foi observado a nota E como resultado predominante, obtido para 423 curvas, representando 39% do total das curvas-chaves geradas para os postos selecionados. Notas A e B (388 curvas) representaram 50% do total de curvas-chave para os valores de mínimo, o que indica boa confiabilidade para grande parte destes dados. Para os valores máximos, também foi observado que a nota E foi atribuída para

grande parte das curvas-chave (35% do total). Notas A e B representaram 37% do total de curvas-chave.

Tabela 6. Notas atribuídas as curvas-chave utilizando como critério o desvio entre valores históricos observados e dados medidos.

$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0} x100$	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0} x100$	Nota
<= 15%	<= 15%	A
<= 50%	<= 25%	B
<= 75%	<= 50%	C
<= 100%	<= 75%	D
> 100%	>75%	E

onde C_0 é a cota máxima ou mínima observada na série histórica e C_m é a cota máxima ou mínima medida; Q_0 é a vazão máxima ou mínima calculada pela curva-chave, relativa a C_0, e Q_m é a vazão máxima ou mínima medida.

No ANEXO I, é possível visualizar a classificação das curvas-chaves para os valores máximos e no ANEXO J, para os valores mínimos, sendo classificadas as estações selecionadas descritas na Tabela 7, sendo somente as que continham dados de resumo de descarga e curva de descarga. Os gráficos da relação entre as medições de descarga e cota e as equações de validação (curva descarga) podem ser visualizados no ANEXO K.

4.2.2 Tendências de longo prazo

A variação interanual considerou os postos da Tabela 7 com pelo menos 20 anos de dados e ainda em operação em 2019. A vazão média foi adimensionalizada pela vazão média de longo período e a linha tendência considerou uma média móvel de 5 anos. A Figura 13 apresenta a tendência de longo prazo considerando um posto com série longa, localizado no rio Jucu (posto 57170000). A série de dados possui 64 anos e 96,8% de dados disponíveis. Há uma alternância de período acima e abaixo da média, com destaque para um período com tendência de anos abaixo da série histórica a partir de 2010. Os outros postos identificados na bacia apresentaram comportamento similar.

As séries analisadas para todos os postos considerados no estudo são apresentadas no ANEXO G. Ressalta-se que não foram identificadas séries de vazões consistentes nos mananciais avaliados.

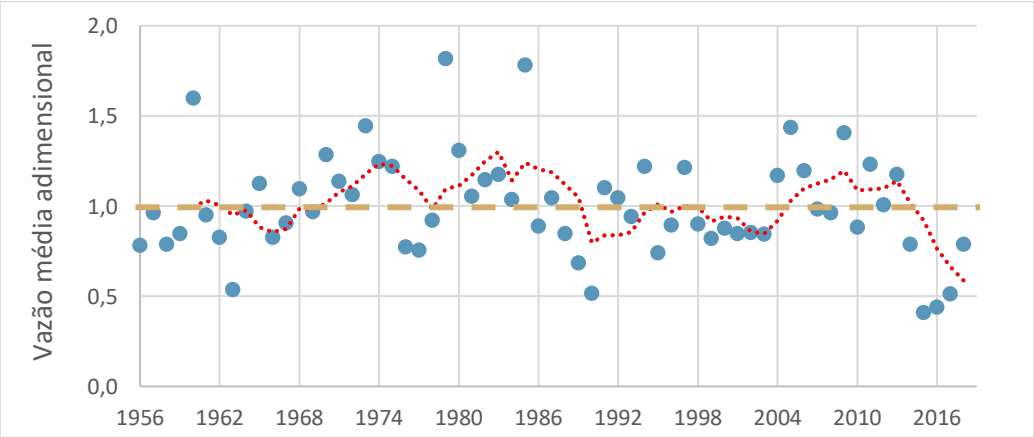


Figura 13. Tendência de longo prazo das vazões anuais da estação fluviométrica 57170000, localizada no rio Jucu.

Tabela 7. Características dos postos fluviométricos selecionados para análise.

ID	Código	Nome	Rio	Estado	Operadora	Área de Drenagem (km²)	Lat.	Long.	Qmlp	Q7,10	Q95	Qesp	Início	Fim	Disponibilidade (%)
1	55895000	Barra do Rio Preto	São Mateus	ES	ANA	2500,0	-18,694	-40,882	18,9	1,7	3,2	7,6	1963	2010	91,7
2	55900000	Barra de São Francisco	São Francisco	ES	CPRM	214,0	-18,756	-40,915	2,5	0,2	0,4	11,6	1968	2019	88,5
3	55960000	Boca da Vala	Rio São Mateus	ES	CPRM	12000,0	-18,651	-40,089	77,7	2,0	8,2	6,5	1974	2019	85,0
4	56990990	Afonso Cláudio Montante	Guandu	ES	CPRM	435,0	-20,078	-41,124	6,4	1,0	1,5	14,6	1978	2019	90,5
5	56991500	Laranja da Terra	Guandu	ES	CPRM	1330,0	-19,901	-41,058	16,1	3,1	4,3	12,1	1967	2019	94,3
6	56992000	Baixo Guandu	Guandu	ES	CPRM	2130,0	-19,524	-41,014	21,1	4,3	5,9	9,9	1938	2019	87,7
7	56993000	Itaguaçu	Rio Santa Joana	ES	ANA	480,0	-19,777	-40,851	3,7	0,5	0,9	7,6	1965	1977	84,6
8	56993551	Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	ES	CPRM	893,0	-19,559	-40,733	8,0	0,2	0,7	8,9	1974	2019	84,8
9	56993600	Santa Joana	Rio Santa Joana	ES	ANA	897,0	-19,550	-40,717	7,7	1,1	1,6	8,6	1939	1965	85,2
10	56994000	Santa Maria	Rio Santa Maria	ES	ANA	872,0	-19,583	-40,583	6,4	0,1	0,5	7,3	1941	1965	85,0
11	56995000	Cachoeira do Oito	Pancas	ES	ANA	1160,0	-19,559	-40,733	7,3	0,0	0,2	6,3	1944	1967	91,3
12	56995500	Ponte dos Pancas	Pancas	ES	CPRM	920,0	-19,433	-40,617	10,1	0,3	1,1	11,0	1965	2019	90,9
13	56998400	Barra de São Gabriel	Rio São José	ES	CPRM	1070,0	-19,041	-40,534	13,8	0,6	1,9	12,9	1967	2019	85,0
14	57040000	Santa Teresa	Rio Timbui	ES	ANA	43,0	-19,936	-40,592	1,9	0,4	0,5	44,7	1956	1969	85,7
15	57040005	Valsugana Velha	Rio Timbui	ES	ANA	94,0	-19,971	-40,531	4,2	0,4	0,5	44,4	1960	1973	85,7
16	57040008	Valsugana Velha Montante	Timbui	ES	CPRM	88,0	-19,041	-40,534	1,8	0,1	0,4	20,5	1983	2019	91,9
17	57130000	Santa Leopoldina	Santa Maria da Vitória	ES	CPRM	929,0	-19,964	-40,542	13,8	1,2	2,9	14,8	1949	2019	97,2
18	57170000	Córrego do Galo	Jucu	ES	CPRM	980,0	-20,100	-40,528	13,3	4,2	5,1	13,5	1955	2019	95,4
19	57190000	Marechal Floriano	Jucu	ES	ANA	321,0	-20,316	-40,652	6,6	2,6	3,0	20,5	1949	1990	91,9
20	57250000	Matilde	Benevente	ES	CPRM	206,0	-20,415	-40,485	5,2	1,8	2,2	25,4	1949	2019	95,8
21	57300000	Pau d'alho	Novo	ES	CPRM	304,0	-20,557	-40,812	7,2	1,6	2,2	23,8	1971	2018	95,8

ID	Código	Nome	Rio	Estado	Operadora	Área de Drenagem (km²)	Lat.	Long.	Qmlp	Q7,10	Q95	Qesp	Início	Fim	Disponibilidade (%)
22	57320000	Iconha Montante	Iconha	ES	CPRM	152,0	-20,886	-40,946	4,6	0,6	1,3	30,4	1969	2019	90,2
23	57350000	Usina Fortaleza	Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	205,0	-20,777	-40,828	4,4	0,7	0,9	21,6	1968	2019	94,2
24	57360000	Iúna	Pardo	ES	CPRM	412,0	-20,372	-41,409	7,1	1,9	2,3	17,2	1952	2019	95,6
25	57370000	Terra Corrida Montante	Pardo	ES	CPRM	566,0	-20,353	-41,534	10,3	2,8	3,6	18,2	1968	2019	96,2
26	57400000	Itaici	Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	1010,0	-20,430	-41,503	17,6	4,0	5,3	17,4	1961	2019	94,9
27	57420000	Ibitirama	Braço Norte Direito	ES	CPRM	337,0	-20,528	-41,511	12,2	1,7	2,3	36,2	1952	2019	92,6
28	57450000	Rive	Itapemirim	ES	CPRM	2180,0	-20,747	-41,466	42,8	7,8	11,0	19,6	1935	2018	95,2
29	57460000	Pacotuba	Itapemirim	ES	ANA	2720,0	-20,762	-41,273	48,3	8,4	12,4	17,7	1984	2010	85,2
30	57476500	Fazenda Lajinha	Castelo	ES	CPRM	410,0	-20,427	-41,275	7,3	0,8	1,4	17,8	1984	2019	88,9
31	57490000	Castelo	Castelo	ES	CPRM	972,0	-20,606	-41,200	14,9	2,1	3,5	15,3	1937	2019	95,2
32	57550000	Usina São Miguel	Castelo	ES	CPRM	1420,0	-20,703	-41,174	23,1	4,7	6,9	16,3	1968	2019	90,4
33	57555000	Coutinho	Itapemirim	ES	ANA	4510,0	-20,758	-41,174	76,7	14,0	20,4	17,0	1969	2010	90,5
34	57560000	Cachoeira do Itapemirim	Itapemirim	ES	ANA	4890,0	-20,865	-41,101	75,4	11,9	19,5	15,4	1935	1980	93,5
35	57580000	Usina Paineiras	Itapemirim	ES	CPRM	5170,0	-20,953	-40,953	83,6	15,9	22,8	16,2	1971	2019	91,8
36	57630000	Atílio Vivacqua	Muqui do norte	ES	ANA	286,0	-20,914	-41,194	3,4	0,4	0,8	11,7	1935	1980	87,0
37	57740000	Guaçuí	Do Veado	ES	CPRM	408,0	-20,772	-41,681	10,2	2,0	3,1	25,0	1937	2019	96,4
38	57770000	São José do Calçado	Calçado	ES	CPRM	153,0	-21,029	-41,652	2,0	0,1	0,4	13,3	1952	2019	94,1
39	57880000	Mimoso do Sul	Muqui do Sul	ES	CPRM	365,0	-21,065	-41,363	7,3	1,7	2,5	20,1	1968	2019	94,2
40	57930000	Santa Cruz	Itabapoana	ES	CPRM	3620,0	-21,222	-41,308	59,1	13,0	17,0	16,3	1968	2018	94,2

4.2.3 Sazonalidade

A análise de sazonalidade considerou as vazões médias de cada posto adimensionalizadas pela vazão média de longo prazo. Utilizando as estações fluviométricas selecionadas para o estudo, foi investigado o regime de vazões mensais para a região (Figura 14). O período de vazões abaixo da média se inicia em abril e vai até novembro, apresentando um deslocamento temporal quando comparado ao período chuvoso na região (Figura 9). A Figura 15 apresenta a variação sazonal para os postos 55960000, 57040008 e 57490000, representativos da região norte, centro e sul, respectivamente.

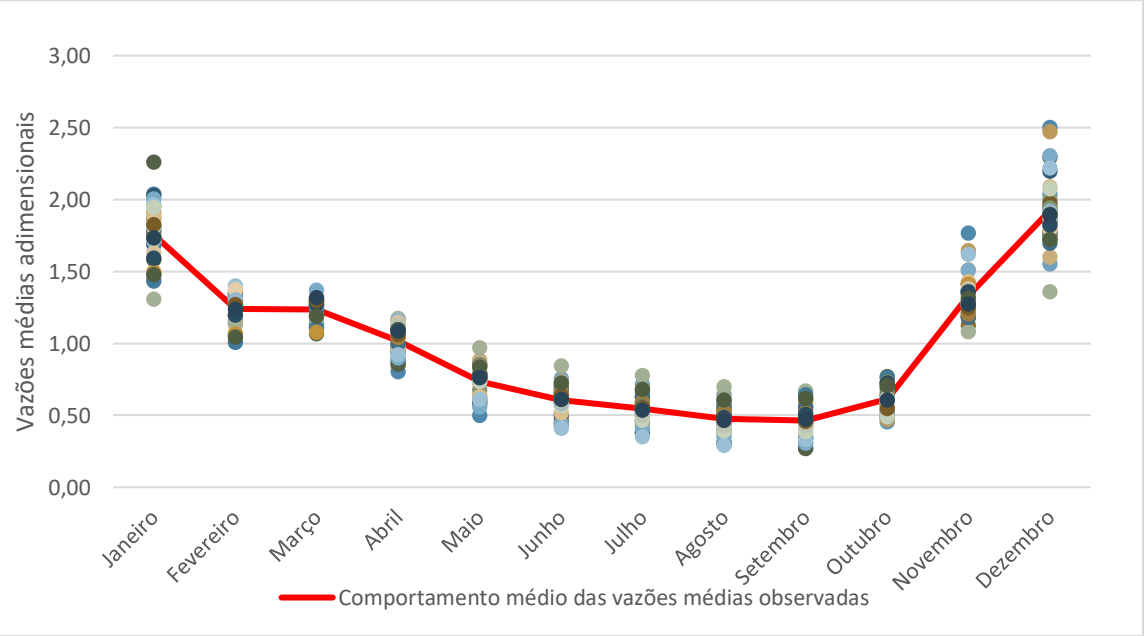


Figura 14. Análise de sazonalidade dos postos fluviométricos selecionados para o estudo.

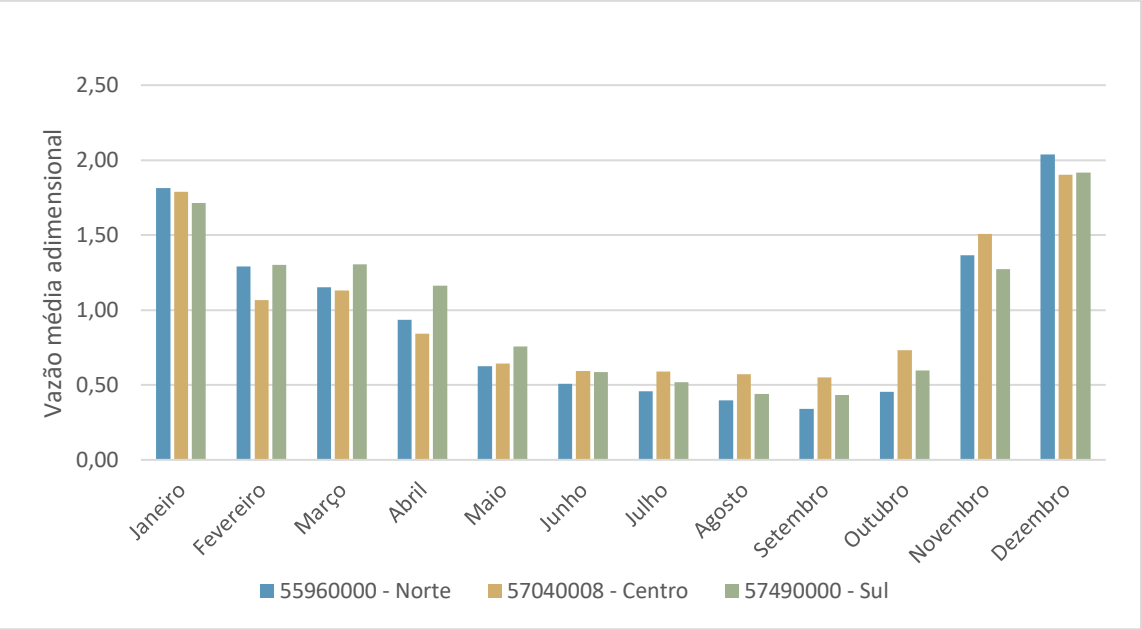


Figura 15. Sazonalidade dos postos fluviométricos localizados na região norte, centro e sul do Estado.

4.2.4 Análise espacial

Na Figura 16, são apresentadas as isolinhas de vazão específica média anual na região em estudo. A distribuição espacial mostra valores maiores na porção sul do Estado. Estes valores são coincidentes com zonas onde o relevo apresenta grandes variações (Figura 17), provavelmente devido ao efeito orográfico deste relevo.

4.2.5 Regionalização de vazões

Para determinação da vazão média de longo período de uma bacia, utilizou-se a regressão entre vazão média e área de drenagem. Para estabelecer a região, foi subdividida em regiões de acordo com o seguinte:

- **Vazão específica menor que 10 L/s/km²**: os postos fluviométricos nesta faixa se agruparam principalmente ao norte do estado, onde a precipitação apresentou menores magnitudes (ver mapa de isoietas, Figura 11 da seção 4.1.3).
- **Vazão específica entre 10 e 22 L/s/km²**: os postos fluviométricos nesta faixa se concentraram na porção sul do estado, principalmente em regiões com baixo relevo.
- **Vazão específica maior que 22 L/s/km²**: os postos com estas características apresentam forte influência da topografia, sendo localizados em regiões com grandes variações no relevo (ver Figura 17).

As equações obtidas para estas regiões são apresentadas na Figura 18 e Figura 19.

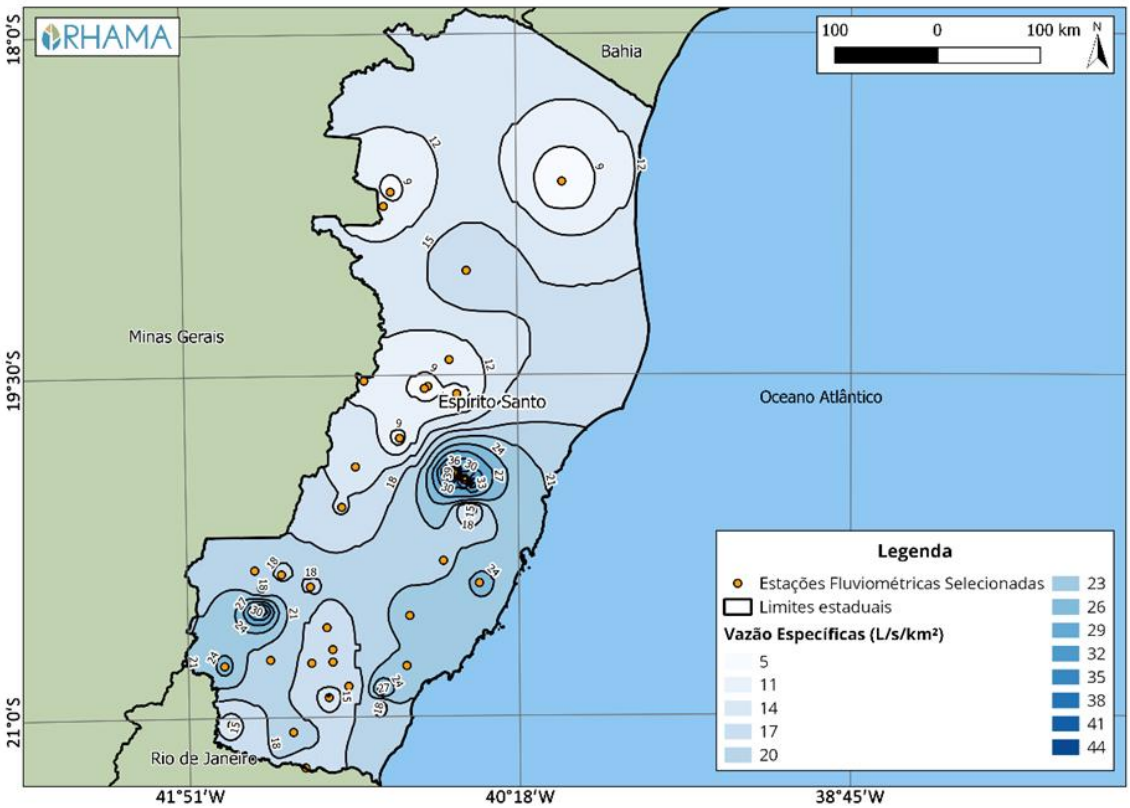


Figura 16. Isolinhas de vazões específicas (L/s/km²) para a área de estudo.

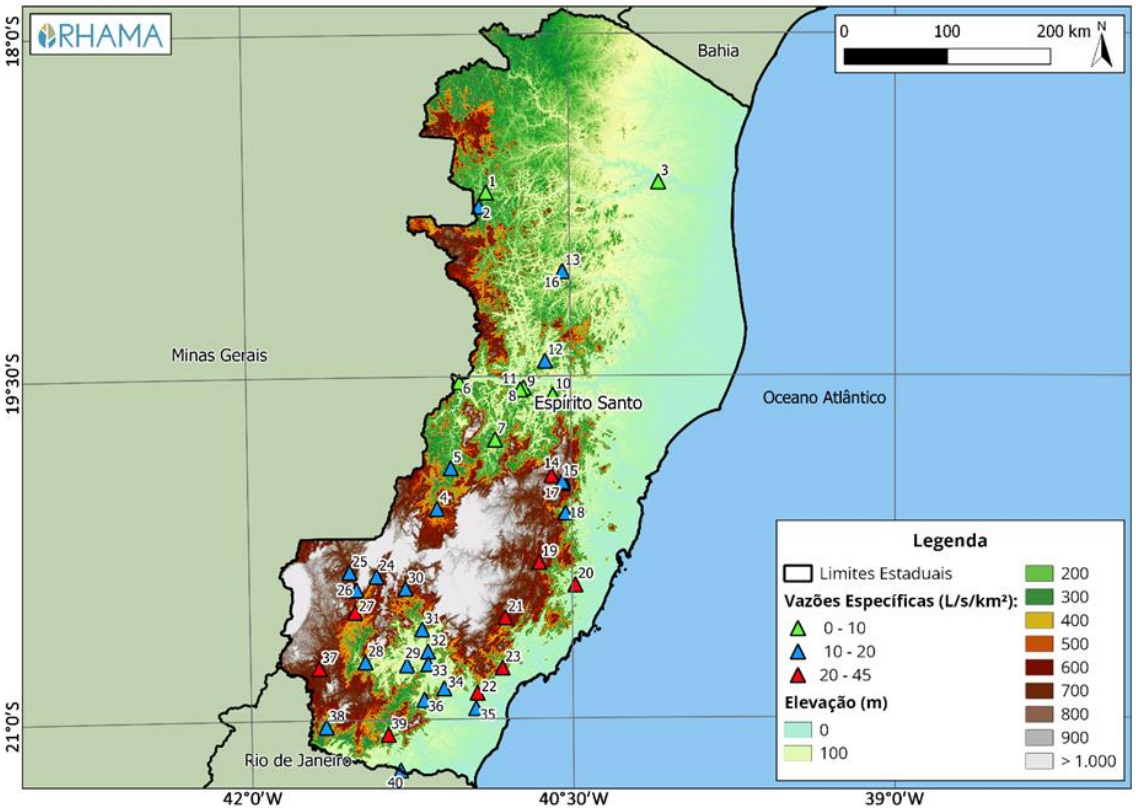


Figura 17. Estações fluviométricas classificadas considerando a vazão específica (L/s/km²) e topografia.

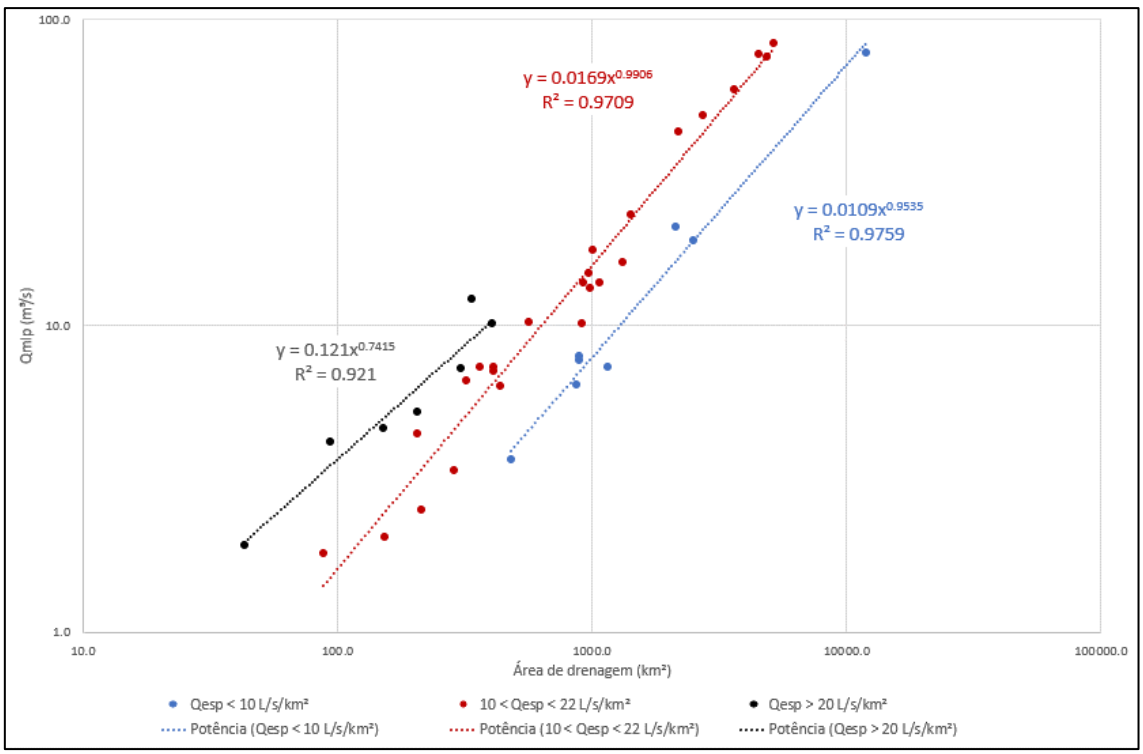


Figura 18. Curvas de regionalização para vazões médias de longo período na área de estudo.

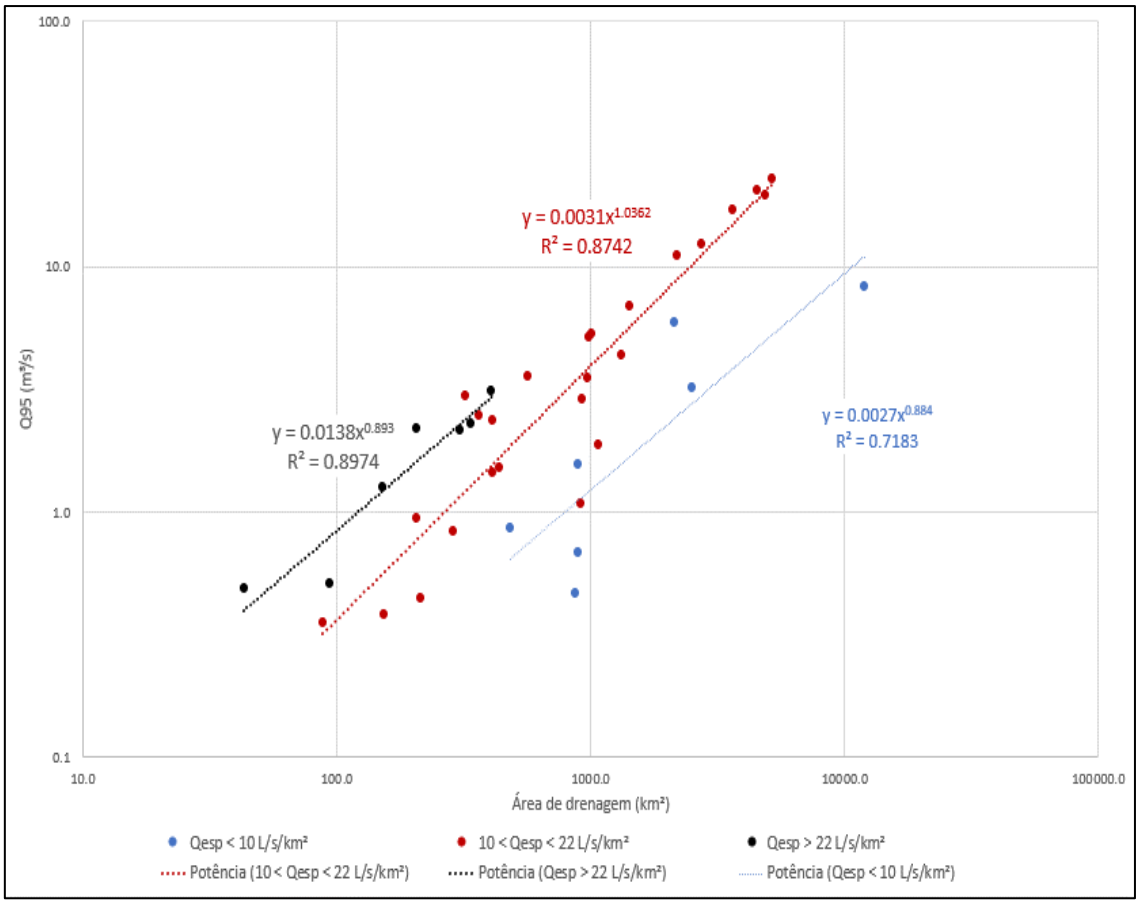


Figura 19. Curvas de regionalização para vazões Q_{95} na área de estudo.

As curvas de regionalização foram separadas para a região ao norte da foz do rio Doce ($Q_{esp} < 10$ L/s/km²) e para a região ao sul da foz do rio Doce ($10 \leq Q_{esp} < 22$ L/s/km²). A curva de regionalização considerando os postos com elevada vazão média específica foram descartados por não serem representativos dos mananciais em estudo. Para a vazão com 95% de tempo de permanência, as curvas também se agruparam com relação a vazão média específica. Analogamente as vazões médias, foram consideradas apenas duas curvas representativas das porções norte e sul da área de estudo. Um resumo das curvas obtidas é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Curvas de regionalização de vazões médias e Q_{95} para a área de estudo.

Validade	Equação	Coeficiente de ajuste (R^2)
Ao norte da foz do rio Doce	$Qmlp = 0{,}0109 \cdot A^{0{,}935}$	0,98
	$Q95 = 0{,}0027 \cdot A^{0{,}884}$	0,72
Ao sul da foz do rio Doce	$Qmlp = 0{,}0169 \cdot A^{0{,}9906}$	0,97
	$Q95 = 0{,}0031 \cdot A^{1{,}0562}$	0,87

4.3 NÍVEIS DE MARÉ

Os dados maregráficos foram obtidos a partir do CHM Centro de Hidrografia da Marinha (www.marinha.mil.br), por meio de consulta direta. Foram identificados quatro postos de

monitoramento disponibilizados pela Marinha Brasileira na região de estudo. As suas localizações são apresentadas na Figura 20 e suas informações, na Tabela 9.

Os postos maregráficos estão localizados ao longo da costa do Espírito Santo, com informações relevantes próximas a Conceição da Barra, Barra do Riacho e Vitória. Esta distribuição permite caracterizar os níveis de maré nos mananciais próximos às localidades em análise com precisão limitada. Existe uma lacuna de informações maregráficas entre Conceição da Barra e Barra do Riacho. As informações de elevação do nível oceânico nas estações identificadas foram analisadas para verificar os máximos mensais entre 2015 e 2019 (Figura 21). Além disso, foi analisada a curva de permanência dos níveis horários obtidos junto ao CHM (Figura 22). Foram destacados percentuais de não-excedência para alguns valores de interesse no período citado (Tabela 10).

Figura 20. Estações maregráficas monitorados pela marinha brasileira.

Tabela 9. Características das estações maregráficas próximas à região de estudo.

Estação	Latitude	Longitude	Nível d'água médio (m)
Conceição da Barra	18° 36' 58.56"S	39° 43' 42.76"O	0,84
Terminal Barra do Riacho	19°50'3"S	40°03'4"O	0,78
Porto de Tubarão	20°17'30"S	40°14'6"O	0,81
Terminal das Barcaças Oceânicas	20° 15' 31"S	40° 13' 11"O	0,81

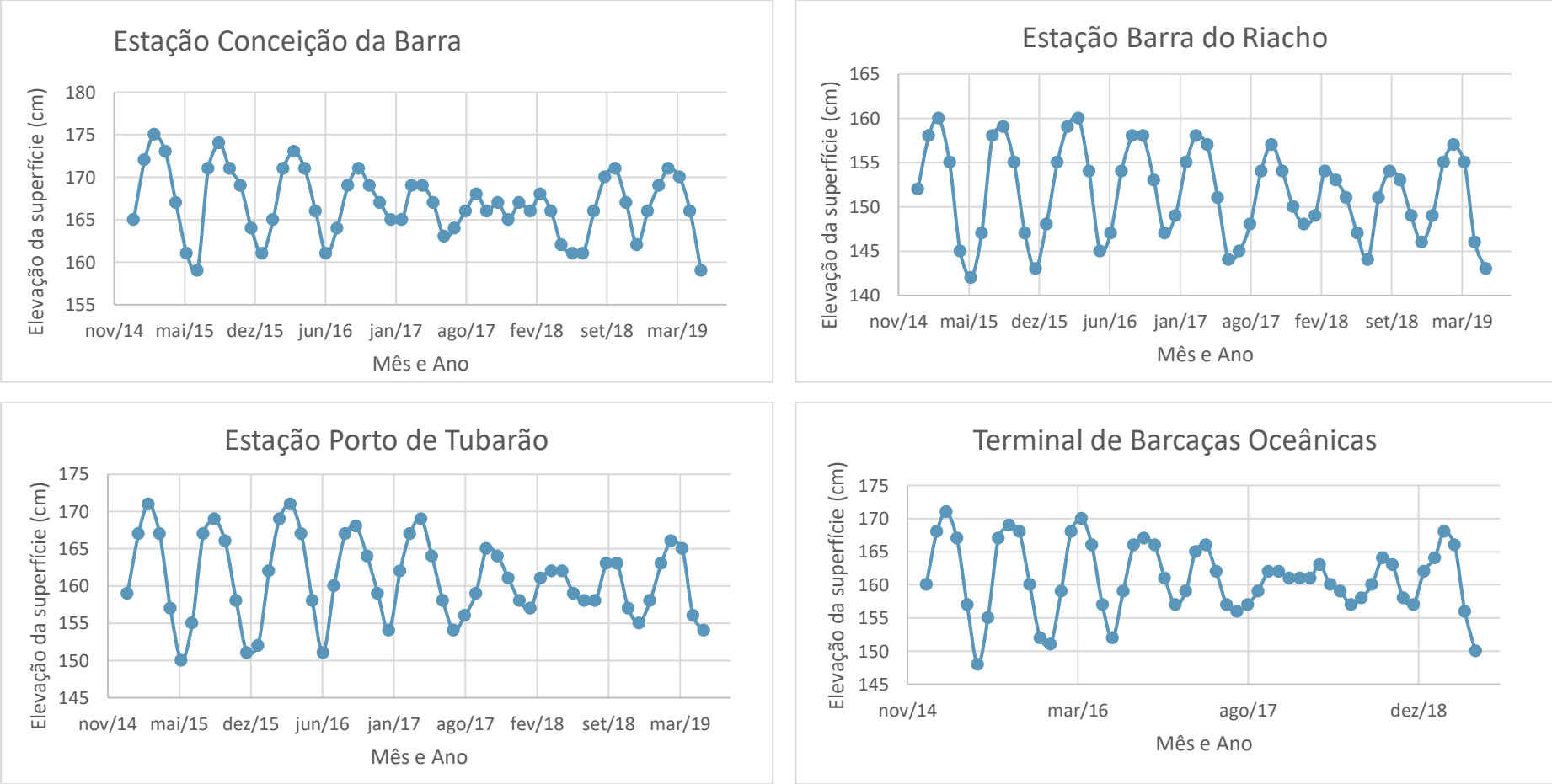


Figura 21. Máximas mensais de elevação da superfície da água nas estações maregráficas identificadas na costa do Espírito Santo.

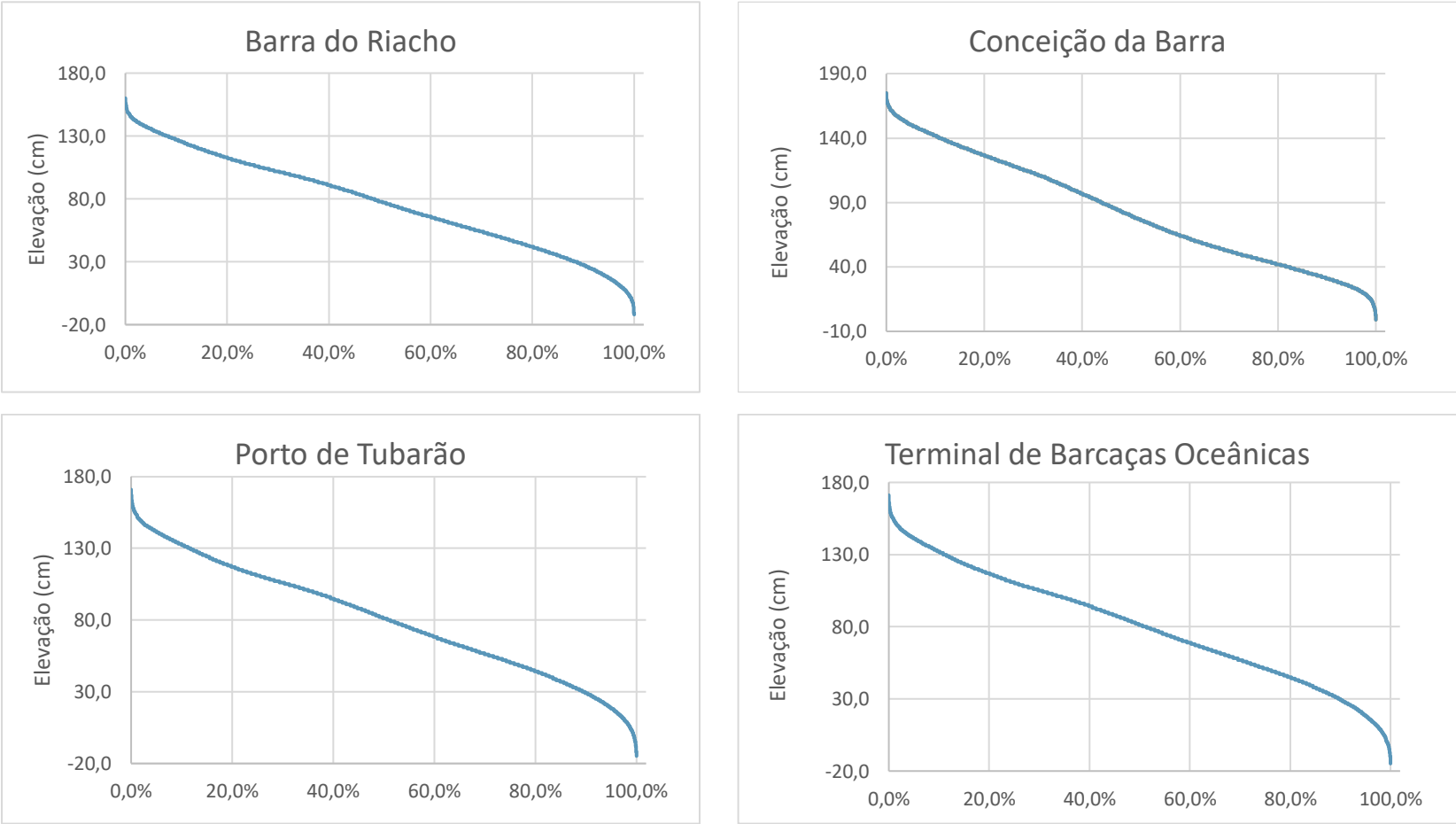


Figura 22. Curvas de permanência no tempo das elevações das estações maregráficas Barra do Riacho, Conceição da Barra, Porto de Tubarão e Terminal de Barcaças Oceânicas. O período de análise é de novembro de 2014 a maio de 2019.

Tabela 10. Permanência no tempo de algumas elevações do mar nas estações maregráficas identificadas.

Posto	Permanência[2] de elevações de maré (cm)				Elevação média em Sizígia (cm)	Elevação média em quadratura (cm)
	95%	90%	85%	80%		
Barra do Riacho	135	126	119	112	151,6	100,9
Porto de Tubarão	141	132	124	117	161,0	105,1
Conceição da Barra	150	142	133	126	166,9	117,9
Terminal de barcaças oceânicas	141	132	110	117	161,0	103,6

4.4 MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA

A rede de monitoramento de qualidade da água no Estado do Espírito Santo é operada principalmente pela AGERH-ES, CPRM e IEMA-ES, existindo ainda alguns postos operados pelo EDP, ENERGEST, IGAM e Santa Fé. Após o rompimento ocorrido em Fundão, a Fundação Renova implementou uma rede de monitoramento com diversos postos localizados na região costeira.

Foram localizadas 128 estações fluviométricas com dados de turbidez disponíveis no estado do Espírito Santo. Suas principais características são apresentadas no ANEXO G**.** Suas localizações estão na Figura 23.

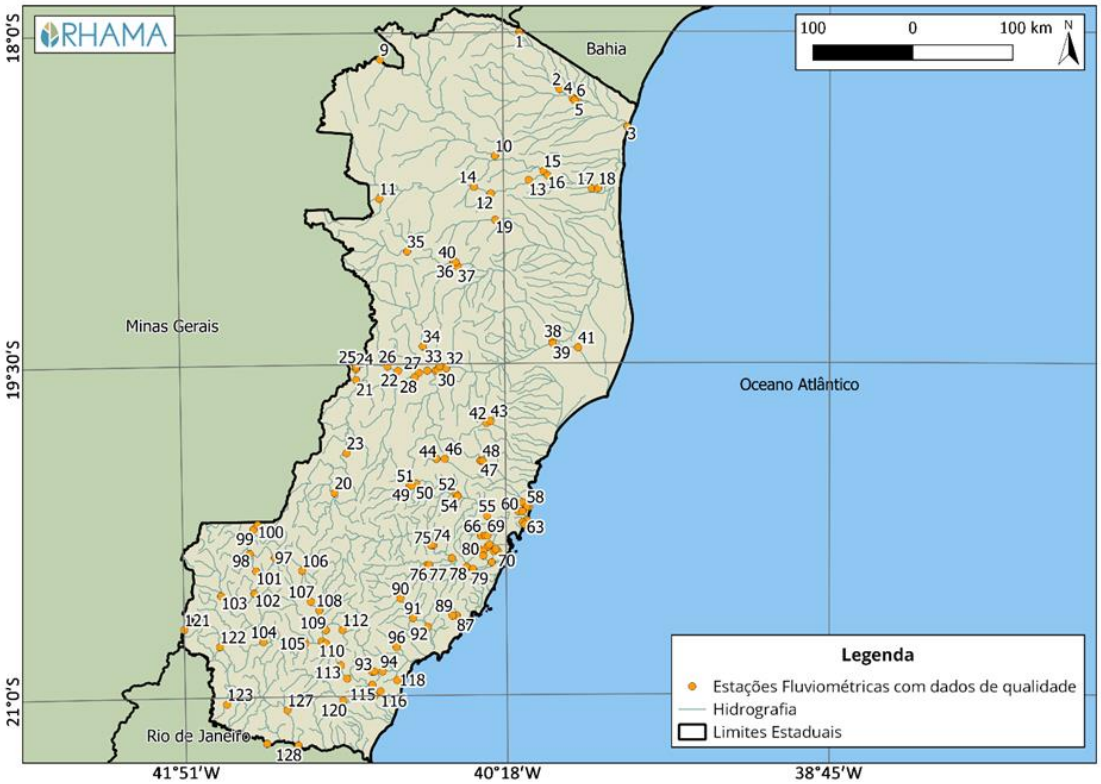


Figura 23. Localização dos postos com informações de turbidez na região de estudo.

[2] Probabilidade de não excedência dos valores.

4.4.1 Análise da relação vazão x turbidez

Foram identificados na região de interesse 38 estações fluviométricas que obtinham informações de turbidez e vazão. Destes, apenas 3 postos possuíam dados em datas coincidentes, permitindo a análise. As informações dos 3 postos são apresentadas na Tabela 11. As relações entre vazão e turbidez obtidas são apresentadas na Figura 24.

Tabela 11. Postos selecionados para a análise de correlação entre os dados de vazão e turbidez.

Código	Nome	Município	Operadora	Latitude	Longitude
55746000	Pedro Canário (Estância Pico)	Pedro Canário	CPRM	-18,26	-40,03
55990200	São Jorge da Barra Seca	Vila Valério	CPRM	-18,85	-40,34
56990990	Afonso Cláudio Montante	Afonso Cláudio	CPRM	-20,08	-41,12

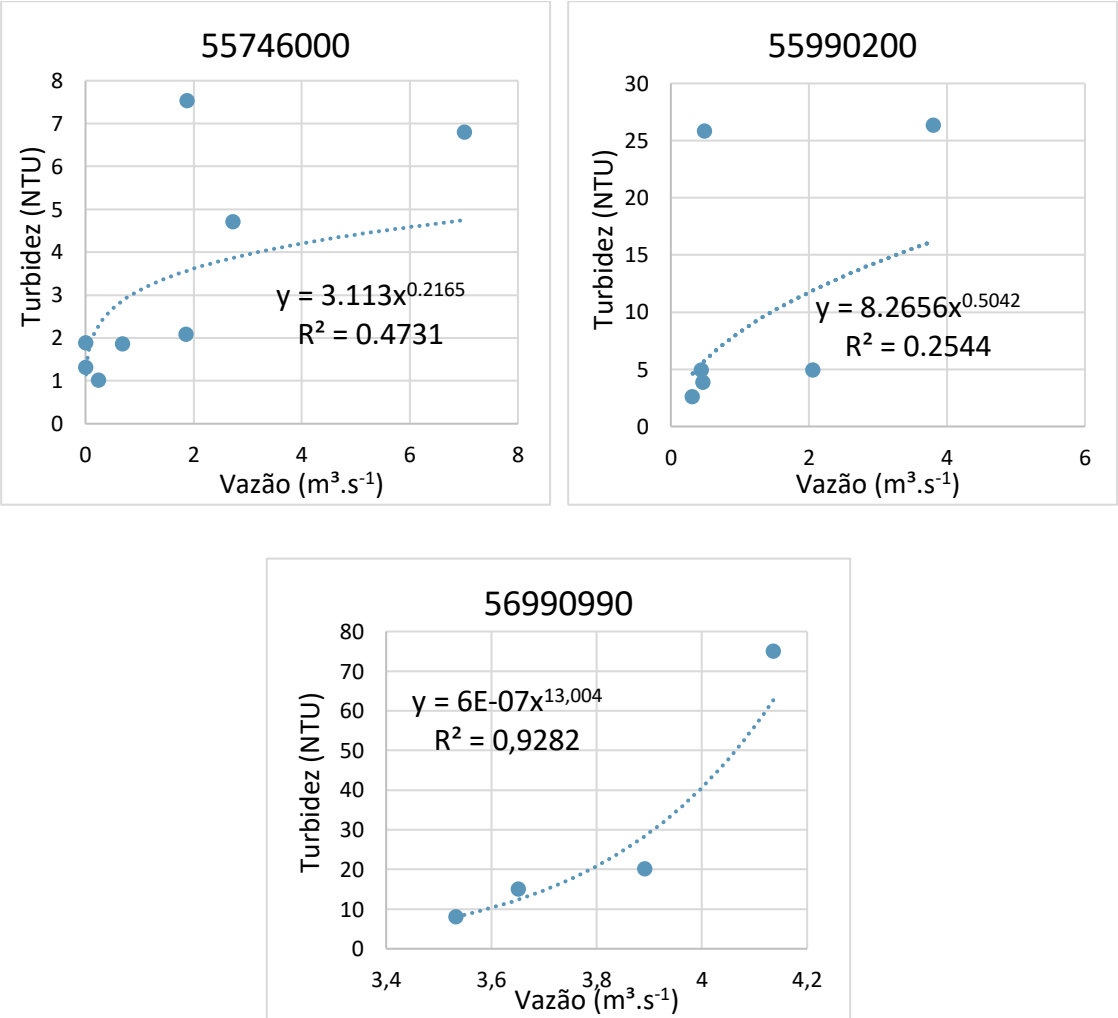


Figura 24. Correlação entre vazão e turbidez nos postos identificados.

4.4.2 Locais de monitoramento após o rompimento

Após o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana – MG, a Fundação Renova iniciou o Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) instalando postos de monitoramento da qualidade da água em diversos pontos ao longo da bacia do rio Doce e na costa dos estados de Espírito Santo e Bahia. Mais informações sobre a concepção do programa são apresentadas em detalhes em GOLDER ASSOCIATES (2017).

Foram identificados 36 postos costeiros com informações de turbidez no banco de dados do PMQQS. As localizações dos postos são apresentadas na Figura 25 e as suas principais características na Tabela 12. Apesar de constituir uma importante base de dados, este monitoramento foi iniciado apenas em 2017, após o rompimento da barragem de Fundão. Desta forma, não há como diagnosticar se houve o aumento da turbidez ou concentração de sedimentos em suspensão nos locais monitorados. Para tanto, seria necessário um monitoramento contínuo iniciado antes do rompimento e com coletas no período logo após o evento.

Figura 25. Postos de monitoramento com informações de turbidez na costa do Espírito Santo. Dados do PMQQS da Fundação Renova.

Tabela 12. Postos com informações de turbidez identificados na costa do ES no banco de dados do PMQQS da Fundação Renova.

ID	Código	Nome	Latitude	Longitude	Início	Fim	Turbidez mínima (NTU)	Turbidez máxima (NTU)	Turbidez média (NTU)
1	ZCS 03	Aracruz - Barra do Riacho	-19,823	-40,057	ago/17	2018	<0,1	47,0	7,6
2	ZCS 04	Aracruz - Comboios	-19,726	-39,969	ago/17	2018	<0,1	47,0	7,9
3	EPA 01	Aracruz - Estuário Piraque-Acu 01	-19,951	-40,153	ago/17	2018	<0,1	47,0	9,1
4	EPA 02	Aracruz - Estuário Piraque-Acu 02	-19,949	-40,174	ago/17	2018	<0,1	47,0	9,3
5	ERR 01	Aracruz - Estuário Rio Riacho 01	-19,831	-40,059	ago/17	2018	<0,1	81,0	13,3
6	ERR 02	Aracruz - Estuário Rio Riacho 02	-19,825	-40,059	ago/17	2018	<0,1	119,0	25,5
7	ZCS 02	Aracruz - Padres	-19,933	-40,125	ago/17	2018	<0,1	50,9	9,4
8	ZCS 01	Aracruz - Refúgio	-20,002	-40,148	ago/17	2018	<0,1	50,9	9,2
9	ERC 02	Caravelas - Estuário Rio Caravelas	-17,751	-39,226	ago/17	2018	0,65	226,0	14,3
10	ZCN 10	Caravelas - Ponta de Areia	-17,738	-39,187	ago/17	2018	<0,1	111,0	11,0
11	ECR 01	Conceição da Barra - Estuário Cricare 01	-18,6	-39,731	ago/17	2018	<0,1	159,0	12,3
12	ECR 02	Conceição da Barra - Estuário Cricare 02	-18,597	-39,753	ago/17	2018	2,80	157,0	14,8
13	EIT 01	Conceição da Barra - Estuário Itaunas 01	-18,535	-39,731	ago/17	2018	3,05	67,7	35,9
14	EIT 02	Conceição da Barra - Estuário Itaunas 02	-18,525	-39,732	ago/17	2018	2,50	80,2	14,4
15	ERM 01	Fundão - Estuário Reis Magos 01	-20,055	-40,192	ago/17	2018	1,70	27,6	13,7
16	ERM 02	Fundão - Estuário Reis Magos 02	-20,049	-40,194	ago/17	2018	2,70	78,0	14,2
17	ERD 01	Linhares - Estuário Rio Doce 01	-19,601	-39,802	ago/17	2018	0,20	511,0	19,5
18	ERI 01	Linhares - Estuário Rio Ipiranga 01	-19,108	-39,721	ago/17	2018	3,40	137,0	20,6
19	ERI 02	Linhares - Estuário Rio Ipiranga 02	-19,115	-39,725	ago/17	2018	3,20	153,0	21,5

ID	Código	Nome	Latitude	Longitude	Início	Fim	Turbidez mínima (NTU)	Turbidez máxima (NTU)	Turbidez média (NTU)
20	ZCN 03	Linhares - Pontal do Ipiranga	-19,195	-39,706	ago/17	2018	<0,1	100,0	19,5
21	ZCN 01	Linhares - Povoação	-19,584	-39,783	ago/17	2018	<0,1	128,0	19,5
22	ZCS 05	Linhares - Regência 01	-19,669	-39,869	ago/17	2018	<0,1	77,3	18,1
23	ZCS 06	Linhares - Regência 02	-19,666	-39,861	ago/17	2018	<0,1	196,0	18,5
24	ZCN 02	Linhares - Vila de Cacimbas	-19,371	-39,698	ago/17	2018	0,22	104,0	18,9
25	ZCN 07	Mucuri - Costa Dourada	-18,263	-39,645	ago/17	2018	<0,1	45,9	18,0
26	ERU 01	Mucuri - Estuário Rio Mucuri	-18,093	-39,548	ago/17	2018	2,93	72,8	18,8
27	ZCN 08	Mucuri - Mucuri	-18,083	-39,544	ago/17	2018	<0,1	35,9	17,8
28	ERC 01	Nova Viçosa - Estuário Rio Caravelas	-17,902	-39,36	ago/17	2018	3,40	423,0	22,4
29	ZCN 09	Nova Viçosa - Nova Viçosa	-17,914	-39,389	ago/17	2018	<0,1	43,0	19,1
30	EBN 01	São Mateus - Estuário Barra Nova 01	-18,953	-39,741	ago/17	2018	<0,1	93,0	19,7
31	EBN 02	São Mateus - Estuário Barra Nova 02	-18,954	-39,751	ago/17	2018	<0,1	57,0	19,9
32	ZCN 05	São Mateus - Guriri	-18,724	-39,746	ago/17	2018	<0,1	40,5	19,0
33	ZCN 06	São Mateus - Itaunas	-18,414	-39,698	ago/17	2018	<0,1	38,9	18,6
34	ZCN 04	São Mateus - Urussuquara	-19,011	-39,731	ago/17	2018	<0,1	97,0	18,8
35	ZCS 07	Serra - Jacaraipe	-20,135	-40,182	ago/17	2018	<0,1	115,0	18,4
36	ZCS 08	Serra - Manguinhos	-20,191	-40,191	ago/17	2018	<0,1	38,1	18,0

5 CONDICIONANTES DO ESCOAMENTO NOS MANANCIAIS

Este capítulo apresenta o levantamento hidrométrico dos mananciais onde foram identificados potenciais conflitos após o rompimento de Fundão (item seguinte). No segundo item, são determinadas as vazões afluentes aos mananciais obtidas pela regionalização. No terceiro item, para cada estação maregráfica identificada, foram calculados valores de maré que poderiam impactar as localidades avaliadas. No quarto item, é apresentado um resumo de estudos anteriores que analisa o impacto da pluma em contato com o litoral do Espírito Santo.

5.1 LEVANTAMENTOS HIDROMÉTRICOS DOS MANANCIAS

Os locais de mananciais superficiais foram definidos com base nas informações locais das visitas às localidades. Com base nestas informações, foram coletadas informações de perfil transversal e medições de vazão, no intuito de verificar o potencial hidráulico das águas oceânicas atingirem o local. As localizações dos pontos são apresentadas na Figura 26. Mais informações sobre os locais são apresentadas na Tabela 13.

Os levantamentos topobatimétricos foram realizados pela empresa Hidrogest Engenharia e Consultoria Ltda como subcontratada da RHAMA e Fundação Renova. Nessas localidades, foi realizado o levantamento de 33 seções topobatimétricas com registro fotográfico em cada seção com vistas para montante, jusante, margem esquerda e margem direita e caracterização visual do material do leito do rio. Para a localidade de Itaúnas, não foi possível fazer o levantamento da seção P0, visto que todo o trecho está localizado em área de proteção, a qual não foi possível obter acesso.

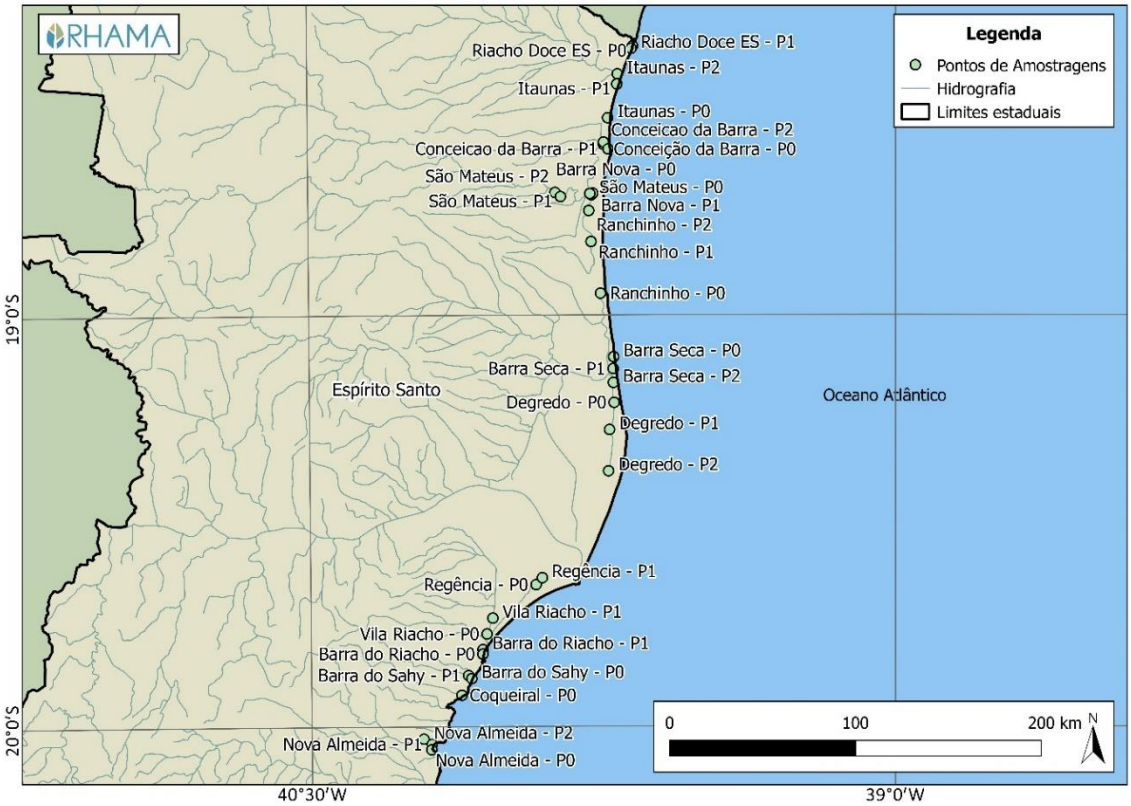


Figura 26. Pontos escolhidos para realização de levantamentos topobatimétricos.

Tabela 13. Características dos locais escolhidos para levantamento de informações adicionais.

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	MANANCIAL	OBSERVAÇÃO	N	SEÇÃO	COORDENADAS	
São Mateus	São Mateus (Guriri)	Rio Cricaré		1	P0	18°43'16,64"S	39°48'14,50"O
				2	P1	18°42'43,32"S	39°51'18,55"O
				3	P2	18°42'6,82"S	39°52'8,38"O
	Ranchinho	Rio Mariricu		4	P0	18°56'50,02"S	39°45'14,05"O
				5	P1	18°49'17,49"S	39°46'38,91"O
				6	P2	18°47'38,23"S	39°47'0,59"O
	Barra Nova	Rio Mariricu		7	P1	18°44'14,53"S	39°47'18,94"O
				8	P2	18°42'49,79"S	39°46'20,68"O
Linhares	Degredo	Rio Ipiranga	Área quilombola	9	P0	19°12'46,21"S	39°43'12,18"O
				10	P1	19°16'43,88"S	39°43'56,35"O
				11	P2	19°22'45,53"S	39°44'6,60"O
	Barra Seca	Rio Ipiranga		12	P0	19° 6'6,72"S	39°43'15,86"O
				13	P1	19° 7'50,35"S	39°43'20,07"O
				14	P2	19° 9'52,10"S	39°43'18,75"O
	Regência	Rio dos Comboios	Área indígena	15	P0	19°39'19,23"S	39°55'20,18"O
				16	P1	19°38'18,79"S	39°54'22,12"O
Aracruz	Vila Riacho	Rio Riacho		17	P0	19°46'29,21"S	40° 2'55,85"O
				18	P1	19°44'10,75"S	40° 2'1,80"O
	Barra do Riacho	Rio Riacho		19	P0	19°49'24,92"S	40° 3'36,09"O
				20	P1	19°48'45,14"S	40° 3'34,28"O
	Barra do Sahy	Córrego Guaxindiba		21	P0	19°52'58,17"S	40° 5'19,49"O
				22	P1	19°52'31,73"S	40° 5'48,95"O
	Coqueiral (Sauê)	Córrego do Sauê		23	P0	19°55'23,78"S	40° 6'51,33"O
Serra	Nova Almeida	Rio Reis Magos		24	P0	20° 3'19,92"S	40°11'33,83"O
				25	P1	20° 2'31,81"S	40°11'29,78"O
				26	P2	20° 1'46,51"S	40°12'45,54"O
Conceição da Barra	Conceição da Barra	Rio Cricaré		27	P0	18°35'48,02"S	39°44'0,17"O
				28	P1	18°35'7,42"S	39°44'41,28"O
				29	P2	18°34'46,76"S	39°44'40,58"O
	Itaúnas	Rio Itaúnas		30	P0	18°31'13,90"S	39°44'2,24"O
				31	P1	18°26'19,30"S	39°42'36,75"O
				32	P2	18°24'50,13"S	39°42'31,75"O
	Riacho Doce	Rio sem nome		33	P0	18°20'46,53"S	39°40'11,47"O
				34	P1	18°21'6,35"S	39°40'24,84"O

5.1.1 Transporte de cotas e coordenadas

Devido à falta de dados pretéritos confiáveis nas áreas de estudo, decidiu-se pela determinação das coordenadas geodésicas e cotas altimétricas de Pontos de Referência por meio do rastreamento estático com pós processamento do serviço online PPP (Posicionamento por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso) do IBGE. Essas coordenadas

denominadas de absolutas foram extraídas de arquivo RINEX, gerado a partir do rastreamento realizado com RTK Base.

O rastreamento estático teve duração mínima de 2 horas em cada localidade, atendendo as recomendações para levantamentos relativo estático – GPS do IBGE (2008), com um intervalo de coleta de dados de um segundo. Foi empregado 1 receptor/antena geodésicos *Hyper*.

Neste método de posicionamento, foram necessários apenas os dados brutos, gravados a cada 1 s e convertidos no formato RINEX. Esses arquivos foram enviados online para o serviço IBGE- PPP, o qual disponibiliza um relatório com informações sobre a observação processada, órbitas dos satélites empregadas, máscara de elevação, intervalo do processamento, modelo e altura da antena, coordenadas em SIRGAS 2000 com seus desvios padrão, altitude ortométrica e ondulação geoidal.

A saída do PPP é um relatório resumido sobre o processamento. Ele contém duas sessões:

a) Na primeira sessão, são apresentadas as informações mais relevantes utilizadas no processamento, tais como: identificador da estação, data e hora do início e término dos dados processados, modo de operação (estático ou cinemático), observações encontradas nos dados (código ou código e fase), modelo da antena segundo identificação adotada pelo IGS, tipo de órbita IGS utilizada no processamento (precisa ou rápida), observável processada, intervalo utilizado no processamento, desvio padrão da pseudodistância e portadora em metros, altura da antena em metros e os resíduos da pseudodistância e portadora em metros;
b) Na segunda sessão, são apresentadas as coordenadas SIRGAS 2000, em duas épocas distintas, ou seja, na época 2000.4 (data de referência do Sistema SIRGAS 2000) e na data que foi realizado o levantamento (época tomada no início do rastreio), assim como o desvio padrão destas coordenadas. Também são apresentadas as ondulações.

Definidas as cotas e coordenadas dos Pontos de Referência, utilizando um rover RTK GNSS onde realizou-se a transferência para as seções a serem levantadas. O rover RTK tem um alcance de até 2 km, assim se a distância a ser levantada for superior ao limite, novo Ponto de Referência é rastreado e determinado.

5.1.2 Metodologia e critérios adotados

Para o desenvolvimento dos trabalhos, foram traçadas as diretrizes com base em mapas, cartas oficiais disponíveis, imagens aéreas e pesquisa no Google *Earth*, identificando a área de estudo e melhores acessos. Também foi pesquisada a existência de marcos geodésicos implantados na área de interesse.

Para elaboração dos levantamentos das seções topobatimétricas no trecho de interesse, registro fotográfico e caracterização visual do material do leito ao longo de cada seção levantada foi utilizado rastreamento estático com pós processamento do serviço online PPP do IBGE.

5.1.3 Levantamento de seções topobatimétricas

O levantamento topobatimétrico consiste na medição de pontos topográficos na parte seca do terreno e profundidade em corpos d'água. O serviço de batimetria compreende somente o levantamento do leito submerso. A determinação dos pontos de início e fim das seções é efetuada através de levantamento geodésico. Para o levantamento das seções topobatimétricas, tanto na parte seca quanto na molhada, foi utilizado o método convencional utilizando Estação Total.

O levantamento das seções topobatimétricas nos trechos indicados no litoral foi feito em campo de maneira a realizar o levantamento de 33 linhas de perfis transversais ao curso d'água, no trecho pré-determinado, que deveriam atingir em todos os casos a maior cota em cada margem dos rios ou ribeirões.

Na realização do serviço de campo referente ao levantamento das seções topobatimétricas no trecho de interesse, que ocorreu entre os dias 14 de agosto a 25 de setembro de 2019, foram desenvolvias as seguintes etapas:

- Todo o levantamento foi referenciado planialtimetricamente ao Sistema Geodésico Brasileiro, coordenadas UTM e cotas, considerando o *datum* horizontal SIRGAS 2000 e o *datum* vertical marégrafo de Imbituba – SC, com altitudes do plano geográfico, sendo o meridiano central 45º WGr e fuso 24 Sul;
- Estação Total, com precisão de 3" angular e 1mm + 1ppm por km nas medidas lineares. Marca TOPCON, ES 65 TTOPBASIC YLO239;
- A distância máxima entre os pontos de medição (batimetria) foi de aproximadamente 3 metros e todas as variações bruscas de elevação ao longo da seção foram levantadas e registradas, como por exemplo: afloramentos rochosos, massas d'água, terrenos saturados, construções, etc. Nos casos de terreno íngreme, foram também levantados pontos cotados no pé e na crista do talude;
- Inicialmente, foram identificados e implantados pontos de apoio e marcos topográficos ao longo do trecho de interesse;
- Posteriormente, foi realizado o rastreamento com GPS RTK para transporte de cotas e coordenadas nos pontos de apoio e marcos topográficos instalados nos locais da realização dos levantamentos das seções topobatimétricas;
- Em seguida, foi realizado o levantamento topobatimétrico das seções indicadas até a cota visualmente mais alta observada em cada margem.

5.2 VAZÕES AFLUENTES

Os locais identificados dos mananciais possuem uma bacia hidrográfica e variação de vazão. Para estes locais, foram calculadas as áreas de drenagem da bacia, considerando os pontos de levantamento como exutórios (ver Figura 27 e Figura 28 para as bacias ao norte e sul, respectivamente). Com as áreas calculadas, foi possível estimar as vazões características Qmlp (vazão média de longo período) e Q_{95} (vazão com 95% da curva de permanência, que caracteriza que 95% das vazões são maiores ou iguais que esta vazão) a partir das curvas de regressão

obtidas para as porções norte e sul da região de interesse. A Tabela 14 apresenta as vazões calculadas para cada local de interesse.

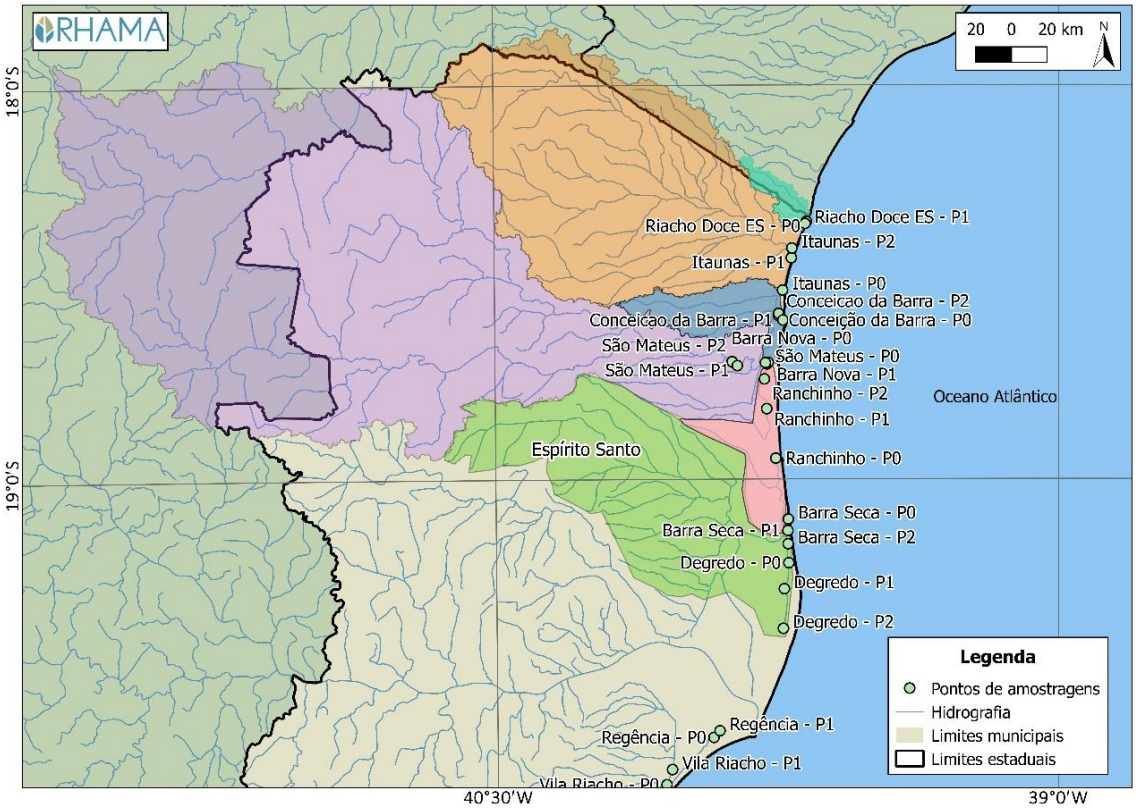


Figura 27. Áreas de drenagem delimitadas para os pontos de interesse.

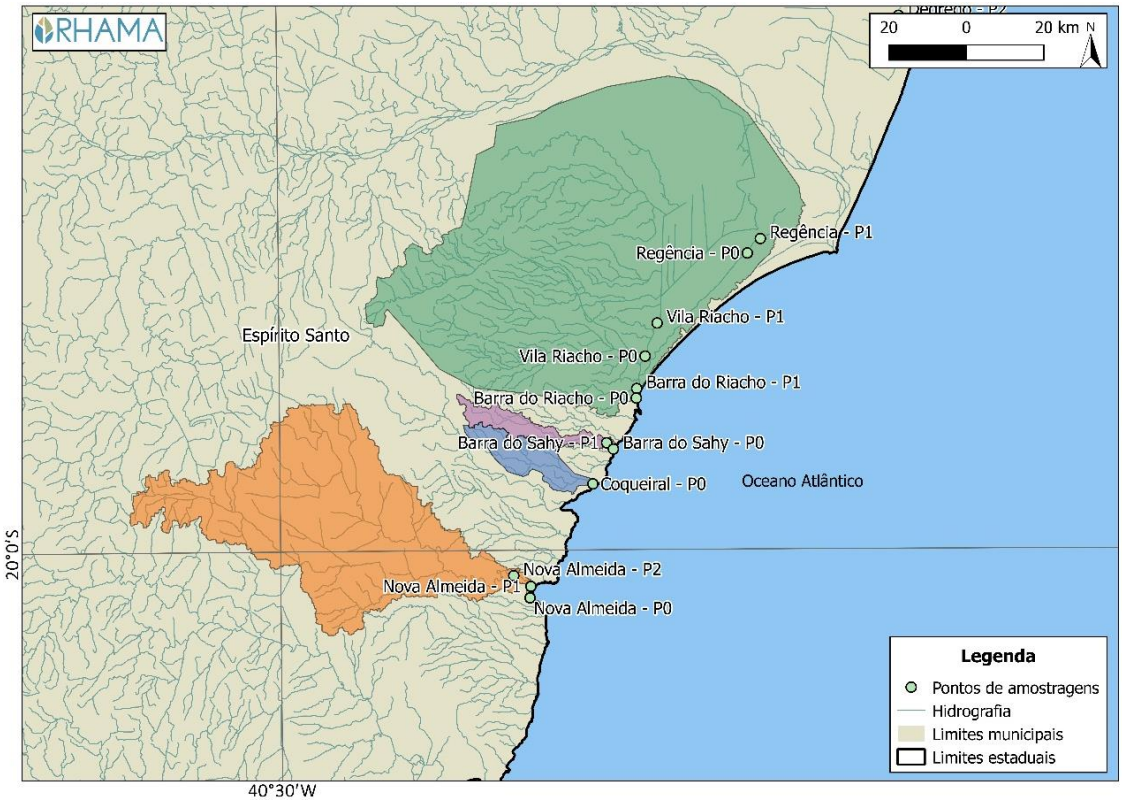


Figura 28. Áreas de drenagem delimitadas para os pontos de interesse.

Tabela 14. Áreas de drenagem e vazões características nos locais escolhidos para levantamentos de informações complementares.

Município	Localidade	Manancial	N	Seção do Manancial	Área de drenagem (km²)	Qmlp ($m^3.s^{-1}$)	Q95 ($m^3.s^{-1}$)
São Mateus	São Mateus (Guriri)	Rio Cricaré	1	P0	12696,6	74,88	11,46
			2	P1	12302,8	72,71	11,14
			3	P2	12292,8	72,65	11,13
	Ranchinho	Rio Mariricu	4	P0	145,2	1,15	0,22
			5	P1	61,2	0,51	0,10
			6	P2	16,9	0,15	0,03
	Barra Nova	Rio Mariricu	7	P0	503,1	3,66	0,66
			8	P1	502,4	3,66	0,66
			9	P0	161,2	1,26	0,24
Linhares	Degredo	Rio Ipiranga	10	P1	48,6	0,41	0,08
			11	P2	15,5	0,14	0,03
	Barra Seca	Rio Ipiranga	12	P0	3166,2	20,44	3,36
			13	P1	3162,2	20,41	3,35
			14	P2	204,2	1,58	0,30
	Regência	Rio dos Comboios	15	P0	11,2	0,19	0,04
			16	P1	8,5	0,14	0,03
Aracruz	Vila Riacho	Rio Riacho	17	P0	1043,7	16,52	4,78
	Vila Riacho		18	P1	1015,4	16,08	4,64
	Barra do Riacho	Rio Riacho	19	P0	1493,3	23,56	6,98
			20	P1	1459,3	23,03	6,81
	Barra do Sahy	Córrego Guaxindiba	21	P0	42,4	0,69	0,16
			22	P1	41,5	0,68	0,16
	Coqueiral (Sauê)	Córrego sem nome	23	P0	58	0,94	0,23
Serra	Nova Almeida	Rio Reis Magos	24	P0	656	10,43	2,93
			25	P1	654,7	10,41	2,92
			26	P2	651,6	10,36	2,91
Conceição da Barra	Conceição da Barra	Rio Cricaré	27	P0	525,7	3,81	0,69
			28	P1	470,9	3,44	0,62
			29	P2	268,2	2,03	0,38
	Itaúnas	Rio Itaúnas	30	P0	4820,3	30,28	4,87
			31	P1	4788,9	30,09	4,84
			32	P2	4751,7	29,87	4,81
	Riacho Doce	Rio sem nome	33	P0	122,4	0,98	0,19
			34	P1	22,5	0,20	0,04

5.3 EFEITO DA MARÉ

O potencial contato entre as águas do oceano com os locais de interesse foi analisado por meio das réguas de maré disponibilizadas pela Marinha, em estações espalhadas pela costa do Espírito Santo. A metodologia consistiu em: (a) analisar o referencial vertical das estações e corrigir para o mesmo referencial vertical utilizado nos levantamentos dos mananciais; (b) estimar a variabilidade dos níveis de maré para a série estudada junto ao oceano; (c) verificar as condições hidráulicas que permitiriam refluxo e potencial impacto do material transportado pelo oceano. O último item é analisado no capítulo seguinte.

5.3.1 Correção do referencial vertical

As estações maregráficas identificadas na costa do Espírito Santo possuem fichas técnicas que disponibilizam o layout da estação. A partir destas fichas, é possível determinar o marco topogeodésico mais próximo e as diferenças de altitude entre o topo da régua, do nível de medição e do nível de referência da estação. As fichas técnicas das estações maregráficas e do marco topogeodésico utilizado neste estudo são obtidas pelo site da Marinha[3].

Utilizando o software gratuito Google Earth Pro, foi possível determinar as elevações do terreno nos pontos de interesse. Todas as estações maregráficas identificadas na zona de estudo estão correlacionadas de alguma forma ao marco RN3 (DHN) da Marinha. Este marco está vinculado ao topo da régua da estação maregráfica de Conceição da Barra, e por meio dos layouts das estações é possível calcular seu deslocamento vertical com relação ao topo das réguas nas outras estações. A estação Terminal de Barcaças Oceânicas está vinculada a marcos operados pela empresa UMISAN, que não disponibilizou os dados em tempo hábil para a elaboração do estudo. A altitude dos níveis de referência utilizados na leitura das réguas de maré, vinculados ao RN3, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Conversões das estações maregráficas

Estação	Cota do topo da régua	Cota do nível de redução
Barra do Riacho	3,0 m	-0,9m
Porto de Tubarão	5,0 m	0,5 m
Conceição da Barra	4,3 m	1,6 m

* obtido utilizando o Google Earth Pro.

As seções transversais obtidas em cada localidade avaliada passaram pelo mesmo processo de conversão, utilizando como base o marco utilizado para calibração do RTK.

5.3.2 Estimativa das elevações de maré

Para avaliar o potencial impacto das elevações de maré, inicialmente, foram identificadas as médias das elevações máximas mensais das marés de sizígias[4] e marés de quadraturas[5] para cada estação maregráfica. Foram analisadas também as elevações referentes à probabilidade de excedência dos valores de permanência no tempo de 80%, 90% e 95% (ver Figura 22). A Tabela 16 apresenta as altitudes das marés de interesse, as quais foram corrigidas em relação ao NR de cada estação maregráfica.

Tabela 16. Altitudes das marés de interesse utilizadas no diagnóstico.

Posto	Permanência* de elevações de maré (m)			Altitude de Sizígia (m)	Altitude de Quadratura (m)
	95%	90%	80%		
Barra do Riacho	0,5	0,4	0,2	0,6	0,1
Porto de Tubarão	1,9	1,8	1,7	2,1	1,6
Conceição da Barra	3,1	3,0	2,9	3,3	2,8

* probabilidade de não-excedência desses valores.

[3] https://www.marinha.mil.br/chm/estacoes-maregraficas e https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-dados-topogeodesicos-lista
[4] Marés de maior amplitude, que ocorrem durante o período de lua cheia e lua nova.
[5] Marés de menor amplitude, que ocorrem durante o período de lua crescente e lua minguante.

5.4 PLUMA DE CONTAMINAÇÃO NO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO

As condições de contaminação depois do rompimento foram analisadas por vários autores considerando o deslocamento da pluma de sedimentos depois da chegada do escoamento com rejeitos na costa.

COPPETEC (2016) apresentou resultados da modelagem computacional da propagação dos sedimentos no oceano atlântico, próximo à foz do rio Doce. Foram avaliados apenas os sedimentos gerados após o rompimento na barragem de rejeitos de Fundão, isolando os sedimentos pré-existentes ou gerados por outras fontes. O cenário modelado foi de um período de quatro meses a partir da chegada da lama à costa, de 20/11/2015 a 20/03/2016. Os dados de sólidos suspensos totais e vazões utilizados no estudo foram fornecidos pela Vale S.A. (Contratante), sendo respectivamente das estações em Linhares e Colatina. O estudo contemplou a influência nas correntes oceânicas na dispersão da pluma decorrente do rompimento da barragem de Fundão.

Os resultados apresentados indicam que a carga de sedimentos alcançou o litoral do Espírito Santo e foi transportada predominantemente para o sul da foz do rio Doce. *As concentrações mais elevadas (maiores que 500 mg.L^{-1}) de sedimentos mantiveram-se restritas à região fluvial e ao estuário do rio Doce*, alcançando até o município de Regência. Com o tempo, o material se dispersou ao sul da foz do Rio Doce, cruzando as fronteiras de simulação do modelo utilizado. *De acordo com as simulações, a partir do mês de abril, na cidade de Linhares os valores de concentrações permaneceram abaixo de 20 mg.L^{-1}*. Na Figura 28 é possível observar as isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão obtidas pela modelagem utilizada no estudo.

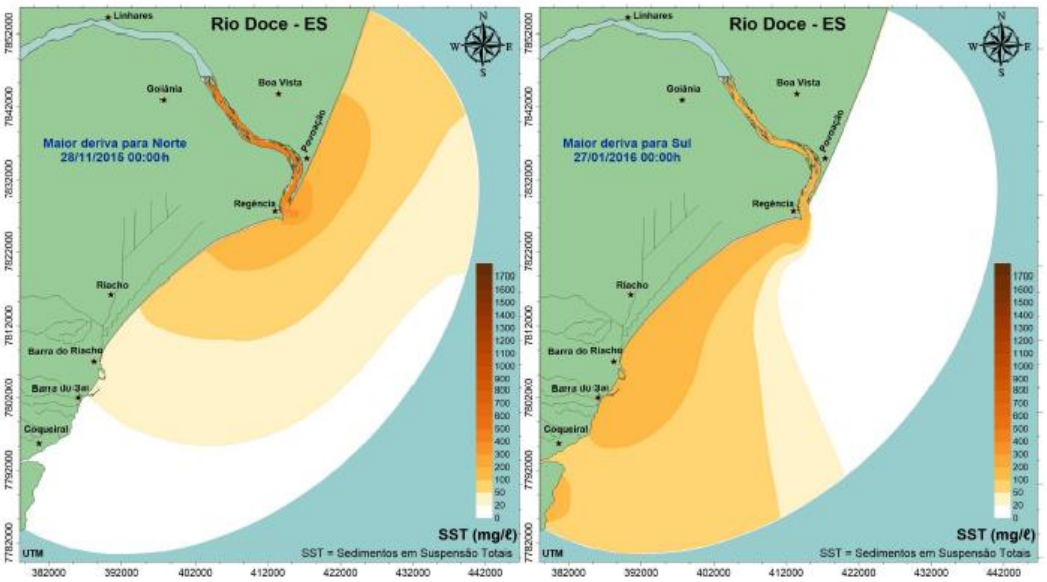


Figura 29. Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão para os instantes em que foram observadas a maior dispersão da pluma para o norte (mapa da esquerda) e para o sul (mapa da direita). Fonte: COPPETEC (2016).

Rosmann (2018) cita os resultados da COPPETEC e os resultados da simulação do comportamento dos sedimentos no delta e região estuarina do rio Doce. Especificamente, examinou o seguinte:

- Análise para o período crítico (20/11/2015 a 20/3/2016) do comportamento dos sedimentos finos do rompimento da barragem nas concentrações de sedimentos em suspensão e nos depósitos de fundo no Baixo Doce e na zona estuarina e costeira adjacente a foz;
- Avaliação dos limites de banimento de pesca na região mencionada;
- Simulação cobriu o período até o final de agosto para verificar os limites de influência dos sedimentos.

O estudo conclui pelo seguinte:

- **Quanto à abrangência:** as correntes costeiras tendem a transportar os sedimentos para o Sul da foz do rio Doce devido à influência dos ventos. Durante passagem de frentes frias, que trazem ventos de quadrante sudeste, há períodos com correntes que vão para norte. Esta tendência se mantém por poucos dias e nesse intervalo a pluma de sedimentos da foz do rio Doce é transportada para o norte. A chance de persistência de ventos para Norte por muitos dias é muito baixa e, mesmo que ocorra, a diluição das concentrações leva a valores menores que 15 $mg.L^{-1}$. A partir de 20 km da costa já ocorre uma diluição de pelo menos 10 vezes;
- **Quanto às concentrações no rio Doce e embocadura:** as concentrações de sedimentos mais elevadas (maiores que 500 $mg.L^{-1}$ de sedimentos) neste período (passagem do evento de rompimento) ficaram restritas à região fluvial e à parte costeira da embocadura, reduzindo-se depois de abril a valores menores que 20 $mg.L^{-1}$, que são valores usuais.

Magris et al. (2018) também utilizou ferramentas computacionais para avaliar a dispersão de sedimentos após o rompimento na costa do Espírito Santo. O estudo considerou a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Doce e a simulação oceânica das condições de maré. O objetivo foi avaliar o impacto sobre o ecossistema, definindo os lugares de maior prioridade para mitigação dos impactos e monitoramento ecológico.

Segundo o estudo, após seis meses ao rompimento da barragem houve um aumento de 88% na exportação de sedimentos ao longo do rio Doce. No entanto, foi observado o predomínio na dispersão da pluma em direção ao sul da foz do rio Doce. A Figura 30 apresenta o resultado da modelagem realizada pelo artigo.

Os trabalhos obtidos apresentam conclusões similares, com predomínio da dispersão dos sedimentos em direção ao sul da foz do rio Doce. O estudo de Magris et al (2018) apresentou cenários para um período de 14 meses após o rompimento, enquanto o estudo da COPPETEC apresentou os cenários até quatro meses. Nos cenários mais prolongados, observa-se um aumento de concentração na parte superior da foz do rio Doce no litoral Norte, indicando a predominância de fluxo para o Sul. Os estudos mostraram que as concentrações ao Norte da Foz do rio Doce, objeto deste estudo, são pequenas e com baixa probabilidade desta parte da costa ser afetada.

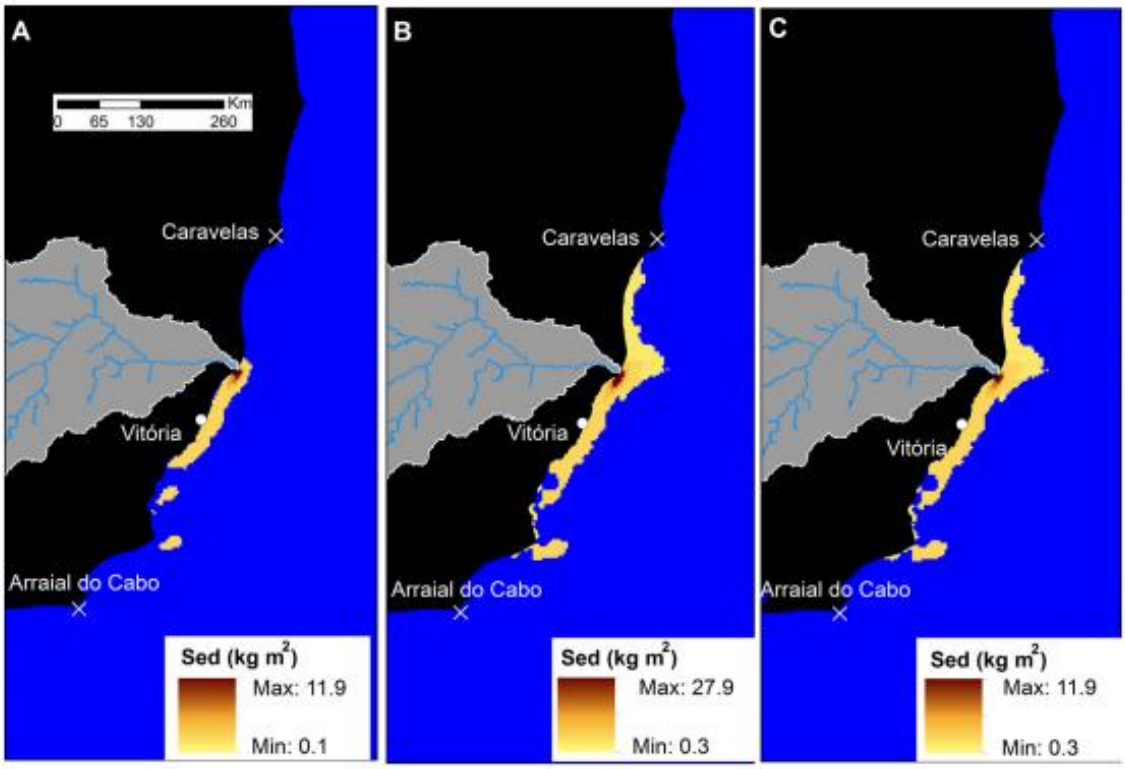


Figura 30. Carga de sedimentos no oceano e sua trajetória à medida que se afastam da foz do rio e submergem após o evento de colapso da barragem. As intensidades modeladas de sedimentos representam a diferença da carga mensal de sedimentos por unidade de área em $kg.m^{-2}$ com e sem o colapso. (A) Mapa de carga média mensal para fevereiro de 2016, quando a diferença atingiu o maior valor. (B) Mapa de carga média mensal resumido ao longo da série temporal (ou seja, 14 meses: novembro de 2015 a dezembro de 2016). (C) Carga máxima de sedimentos em cada pixel nos 14 meses. Fonte: Magris et al. (2018).

6 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL CONTATO DOS MANANCIAIS

Os mananciais de abastecimento de água podem ser impactados pelos resíduos do rompimento da barragem de Fundão quando as condições seguintes ocorrerem concomitantemente: (a) o escoamento na seção do manancial ser negativa (refluxo) no manancial devido ao efeito da maré no trecho entre o manancial e o mar; (b) as concentrações da água do mar no Oceano possuírem resíduos do rompimento que podem aumentar a turbidez ou contaminar a água do manancial.

Este estudo tem foco na análise do primeiro condicionante, que é a verificação da existência de refluxo hidráulico na seção do manancial devido à oscilação da maré, o que poderia permitir o potencial contato de jusante do mar com o manancial. As concentrações da água do mar não foram analisadas por falta de informações, mas foram analisados os estudos realizados sobre a distribuição da pluma no litoral.

As condições hidráulicas para que o fluxo do oceano chegue até uma seção montante (refluxo ou vazão negativa) pode ser estimado quando existem todos os dados disponíveis para esta avaliação. Para que isto ocorra, a vazão deve ser negativa na seção de escoamento do manancial. O sinal negativo indica que o fluxo é de jusante para montante em função principalmente da cota de jusante.

Para analisar o refluxo, no item seguinte deste relatório são apresentadas as condições de escoamento teóricas que regem este processo. No segundo item, são apresentados os trechos de conexão com o mar. No terceiro item, são identificados os locais que podem ser descartados, já que a cota de fundo da seção do canal de escoamento no manancial é superior aos níveis de maré frequentes na costa. No quarto item, são analisadas as demais seções e verificadas as que podem ter refluxo nas condições hidráulicas com os dados disponíveis. No quinto item, são apresentados resultados anteriores sobre a pluma de concentração de sedimentos resultados do acidente no mar junto a costa do Espírito Santo.

6.1 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE REFLUXO

A equação de escoamento de difusão pode ser usada para representar o escoamento num rio sujeito a efeito de jusante (TUCCI, 2005). Esta equação pode ser expressa por (Figura 31):

$$\frac{dy}{dx} = S_0 - S_f \qquad \text{Eq. 6.1}$$

onde y é a profundidade do escoamento, x é a distância longitudinal, S_f é a declividade da linha de fricção e S_o é a declividade do fundo.

Usando a equação de Manning para determinar a declividade da linha de fricção e usando a cota z (nível acima de um referencial entre os trechos), a equação se transforma em:

$$Q = \pm\, Q_0 \sqrt{\frac{\left|{dZ}/{dx}\right|}{S_0}} \qquad \text{Eq. 6.2}$$

onde Q é a vazão em $m^3.s^{-1}$, positiva quando o escoamento é de montante para jusante e negativa em caso contrário (para que a vazão seja negativa, Z_{mar} a jusante tem que ser maior que $Z_{manancial}$ a montante, ou seja $Z_{manancial} < Z_{mar}$); Q_o é a vazão de escoamento uniforme em $m^3.s^{-1}$, obtida pela equação de Manning a seguir:

$$Q = \frac{A.R^{2/3}So^{1/2}}{n} \qquad \text{Eq. 6.3}$$

onde A é a área molhada do escoamento em m^2; R é o raio hidráulico em m; S_o é a declividade do fundo do rio; n é o coeficiente de rugosidade; Dx é a distância entre as seções entre o manancial e o mar pelo rio.

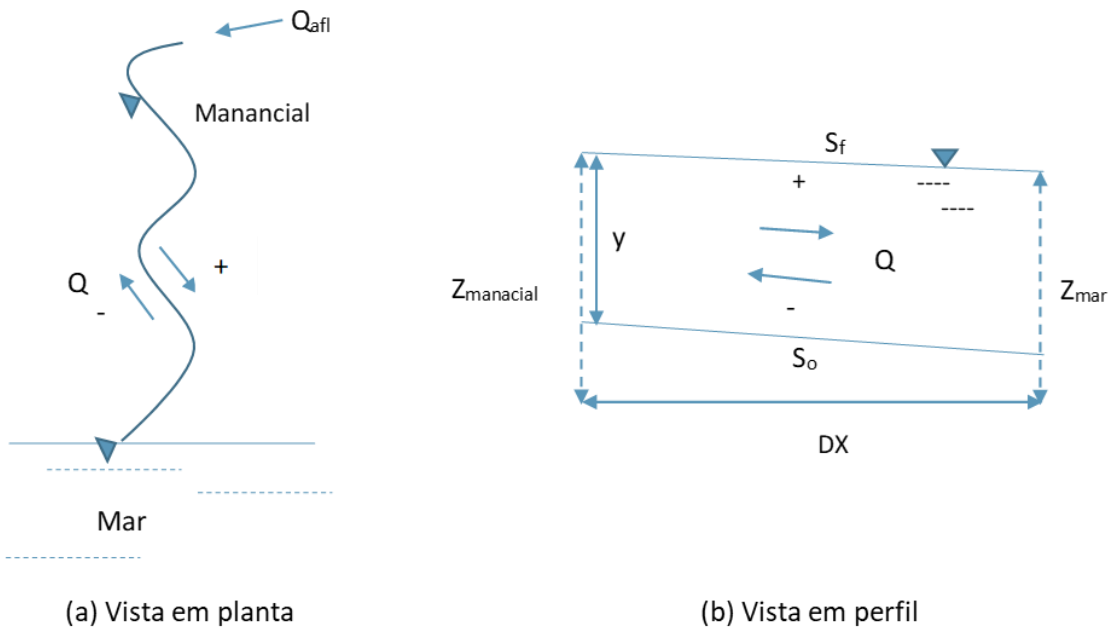


Figura 31. Caracterização do trecho de rio entre o manancial e o mar.

Estas condições variam no tempo em função da maré e da afluência no manancial. Para examinar estes condicionantes, foram adotados os seguintes critérios:

- *Batimetria da seção do manancial*: examinando-se a cota do fundo do local do manancial ($Z0_{manancial}$). Se esta cota for superior a cota do mar ($Z0_{manancial} > Z_{mar}$), é um indicativo que o manancial não sofre efeito de jusante (não há refluxo) por impossibilidade física.
- *Potencial hidráulico*: considerando um escoamento uniforme, examina-se a equação de escoamento com vazões afluentes de montante e cotas de maré. Em determinadas condições de vazões, é possível que o manancial tenha condições de manter seu fluxo e não sofrer efeito de jusante. Como informando anteriormente, basta que a cota do nível d'agua do manancial a montante em regime permanente $(y + Z_o)_{manancial}$ seja superior a cota do mar a jusante (Z_{mar}).

6.2 TRECHOS DE CONEXÃO DO MANANCIAL COM O MAR

Os trechos de conexão com o mar, entre o manancial e o mar, para cada um dos mananciais ou conjunto de mananciais são apresentados na Tabela 17. Além disso, é definida a

estação maregráfica mais próxima do trecho em estudo para análise das condições de escoamento nos mananciais em estudo. Um detalhamento da área e do trecho avaliado é apresentado no ANEXO M.

Tabela 17. Distância das localidades à estação maregráfica mais próxima.

Município	Localidades	Manancial	Seção do manancial	Distância ao mar (km)	Estação Maregráfica utilizada*
São Mateus	São Mateus (Guriri)	Rio Cricaré	P0	20,08	Conceição da Barra
			P1	37,42	Conceição da Barra
			P2	41,48	Conceição da Barra
	Ranchinho	Rio Mariricu	P0	3,24	Conceição da Barra
			P1	21,06	Conceição da Barra
			P2	33,00	Conceição da Barra
	Barra Nova	Rio Mariricu	P0	19,31	Conceição da Barra
			P1	19,89	Conceição da Barra
Linhares	Degredo	Rio Ipiranga	P0	7,70	Conceição da Barra
			P1	16,26	Conceição da Barra
			P2	28,13	Conceição da Barra
	Barra Seca	Rio Ipiranga	P0	0,91	Conceição da Barra
			P1	4,18	Conceição da Barra
			P2	1,00	Conceição da Barra
	Regência	Rio dos Comboios	P0	26,96	Terminal da Barra do Riacho
			P1	29,76	Terminal da Barra do Riacho
Aracruz	Vila Riacho	Rio Riacho	P0	7,30	Terminal da Barra do Riacho
			P1	11,98	Terminal da Barra do Riacho
	Barra do Riacho	Rio Riacho	P0	1,26	Terminal da Barra do Riacho
			P1	2,65	Terminal da Barra do Riacho
	Barra do Sahy	Córrego Guaxindiba	P0	0,50	Terminal da Barra do Riacho
			P1	2,22	Terminal da Barra do Riacho
	Coqueiral (Sauê)	Córrego do Sauê	P0	0,44	Terminal da Barra do Riacho
Serra	Nova Almeida	Rio Reis Magos	P0	0,31	Terminal da Barra do Riacho
			P1	2,30	Terminal da Barra do Riacho
			P2	5,35	Terminal da Barra do Riacho
Conceição da Barra	Conceição da Barra	Rio Cricaré	P0	1,00	Conceição da Barra
			P1	3,80	Conceição da Barra
			P2	5,27	Conceição da Barra
	Itaúnas	Rio Itaúnas	P1	13,24	Conceição da Barra
			P2	16,59	Conceição da Barra
	Riacho Doce	Rio sem nome	P0	0,55	Conceição da Barra
			P1	2,53	Conceição da Barra

*Mais próxima à foz do manancial.

6.3 DIAGNÓSTICO COM BASE NA COTA DE FUNDO DA SEÇÃO

A análise preliminar das seções levantadas em campo considerou o valor mínimo de cota obtido em cada seção e o comparou contra as elevações de maré na estação maregráfica mais

próxima da foz do manancial. A Tabela 18 apresenta os resultados qualitativos da comparação entre a cota de fundo do manancial com os níveis de maré e sua duração. A probabilidade apresentada indica que os níveis de maré são maiores ou iguais ao observado em porcentagem do tempo. Por exemplo, para 5%, significa que o nível de maré observado será maior ou igual ao utilizado somente em 5% do tempo, ou seja, 95% do tempo os níveis são menores ou iguais. Na tabela o "sim" significa que a cota de fundo do manancial fica abaixo do nível de maré comparado e, portanto, pode ter refluxo. O "não" significa que a cota de fundo da seção do manancial é maior que o nível de maré analisado e, portanto, não pode ter refluxo. Na coluna da sizígia, o valor comparado refere-se à média dos máximos de sizígia. Da mesma forma, na coluna de quadratura também o valor comparado é a média dos valores máximos de quadraturas.

Na Tabela 18, observa-se que existem 3 mananciais em que para todos os níveis de maré a avaliação é de que não há efeito de refluxo. Adicionalmente, existe 1 manancial onde apenas um dos níveis não atendem a condição "não" e outro onde dois níveis de maré não atendem. Na maioria dos postos, o efeito de refluxo pode ocorrer.

Tabela 18. Diagnóstico do potencial para impacto das águas do mar considerando apenas a topografia das seções.

Município	Localidade	Manancial	Seção do manancial	Elevação da maré[1 2]				
				5%	10%	20%	Sizígia	Quadratura
São Mateus	São Mateus (Guriri)	Rio Cricaré	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Ranchinho	Rio Mariricu	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	**Não**	Sim	**Não**
			P2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra Nova	Rio Mariricu	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Linhares	Degredo	Rio Ipiranga	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra Seca	Rio Ipiranga	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
			P2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Regência	Rio dos Comboios	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Aracruz	Vila Riacho	Rio Riacho	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra do Riacho	Rio Riacho	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra do Sahy	Córrego Guaxindiba	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Coqueiral (Sauê)	Córrego do Sauê	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Serra	Nova Almeida	Rio Reis Magos	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Conceição da Barra	Conceição da Barra	Rio Cricaré	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	**Não**	**Não**	**Não**	Sim	**Não**
			P2	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**

Município	Localidade	Manancial	Seção do manancial	Elevação da maré[1] [2]				
				5%	10%	20%	Sizígia	Quadratura
	Itaúnas	Rio Itaúnas	P1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Riacho Doce	Rio sem nome	P0	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
			P1	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**

[1]"Sim" significa que a localidade apresenta condições de sofrer refluxo devido à elevação do mar.
[2]"Não" significa que a localidade não apresenta condições de sofrer refluxo devido à elevação do mar.

6.4 POTENCIAL HIDRÁULICO DOS MANANCIAIS

Nessa segunda avaliação foi calculada a profundidade de escoamento em movimento uniforme (y). As vazões escolhidas foram: (a) vazão média de longo prazo (Q_{mlp}); (b) vazão com probabilidade de 95% do tempo (Q_{95}).

A profundidade do escoamento foi calculada utilizando as seções transversais medidas em campo e a Equação de Manning, que correlaciona diferentes características hidráulicas da seção transversal de um canal (Eq. 6.4). Nesta equação, conhecida a vazão, rugosidade e declividade do fundo, resulta na seguinte expressão:

$$A(y) \cdot R^{\frac{2}{3}} = \frac{Q \cdot n}{\sqrt{S_o}} \qquad \text{Eq. 6.4}$$

Onde o termo da esquerda depende apenas da profundidade do escoamento e para a seção existe uma relação entre profundidade Y e área A e outra entre profundidade e raio hidráulico R. Uma vez conhecidos os termos do lado direito da equação acima e as características da seção, é possível determinar a profundidade do escoamento que os termos do lado direito da equação dependem.

As características utilizadas na análise e os resultados obtidos para as seções levantadas são apresentados na Tabela 19 para Q_{mlp} e na Tabela 20 para Q_{95}. Considerando que $Q_{mlp} > Q_{95}$, os resultados para Q_{95} são mais conservadores. A análise destas tabelas segue as mesmas condições da Tabela 18, ou seja, "sim" significa que pode existir refluxo e "não" significa que não pode ocorrer refluxo para as condições representadas. Quanto ao nível do mar, foram identificados valores representativos de duração 5, 10 e 20% com valores maiores ou iguais aos usados e a cota máxima de sizígia e quadratura. Os valores mais restritivos foram a cota média dos máximos de sizígia que representam duração inferior a 5% de duração.

Tabela 19. Diagnóstico do potencial para impacto das águas do mar considerando as características hidráulicas das seções levantadas, utilizando a Q_{mlp}.

Localidade	Localidade	Seção do manancial	n	S (m/m)*	Elevação (Q_{mlp})	Elevação da maré				
						95%	90%	80%	Sizígia média	Quadratura média
São Mateus	São Mateus (Guriri)	P0	0,033	3,61E-06	-0,21	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	6,78E-05	1,87	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P2	0,033	1,32E-04	2,92	Sim	Sim	**Não**	Sim	**Não**
	Ranchinho	P0	0,033	3,94E-05	3,16	**Não**	**Não**	**Não**	Sim	**Não**
		P1	0,033	3,38E-05	3,09	Sim	**Não**	**Não**	Sim	**Não**
		P2	0,033	2,82E-05	1,83	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra Nova	P0	0,033	4,76E-04	-5,49	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	4,76E-04	-2,36	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Localidade	Localidade	Seção do manancial	n	S (m/m)*	Elevação (Q_{mlp})	Elevação da maré				
						95%	90%	80%	Sizígia média	Quadratura média
Linhares	Degredo	P0	0,033	1,40E-05	-0,56	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	5,69E-05	-0,73	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P2	0,033	9,98E-05	-0,13	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra Seca	P0	0,033	2,26E-05	1,32	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	3,23E-05	6,73	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
		P2	0,033	4,20E-05	2,76	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Regência	P0	0,033	3,22E-04	-3,29	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	3,22E-04	-2,46	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Aracruz	Vila Riacho	P0	0,033	3,44E-05	0,11	Sim	Sim	Sim	Sim	**Não**
		P1	0,033	3,44E-05	-1,25	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra do Riacho	P0	0,033	1,21E-04	-1,02	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	1,21E-04	-0,88	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra do Sahy	P0	0,033	5,08E-04	-3,22	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	5,08E-04	0,36	Sim	Sim	**Não**	Sim	**Não**
	Coqueiral (Sauê)	P0	0,033	1,00E-05	-2,39	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Serra	Nova Almeida	P0	0,033	8,51E-05	-1,78	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	1,39E-04	-2,19	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P2	0,033	1,94E-04	-1,87	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Conceição da Barra	Conceição da Barra	P0	0,033	1,04E-04	-1,01	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	2,05E-04	3,88	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
		P2	0,033	3,05E-04	4,67	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
	Itaúnas	P1	0,033	4,45E-05	3,97	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
		P2	0,033	4,45E-05	1,78	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Riacho Doce	P0	0,033	2,35E-04	2,97	Sim	Sim	**Não**	Sim	**Não**
		P1	0,033	2,35E-04	4,3	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**

* a declividade foi calculada com base na diferença entre a cota do nível d'água e a distância ao longo do manancial.

Tabela 20. Diagnóstico do potencial para impacto das águas do mar considerando as características hidráulicas das seções levantadas, utilizando a Q_{95}.

Localidade	Localidade	Seção do manancial	n	S (m/m)*	Elevação (Q_{95})	Elevação da maré				
						95%	90%	80%	Sizígia média	Quadratura média
São Mateus	São Mateus (Guriri)	P0	0,033	3,61E-06	-2,54	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	6,78E-05	0,19	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P2	0,033	1,32E-04	1,52	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Ranchinho	P0	0,033	3,94E-05	2,68	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	3,38E-05	2,95	Sim	Sim	**Não**	Sim	**Não**
		P2	0,033	2,82E-05	1,67	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra Nova	P0	0,033	4,76E-04	-5,94	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	4,76E-04	-2,75	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Linhares	Degredo	P0	0,033	1,40E-05	-1,17	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	5,69E-05	-1,14	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P2	0,033	9,98E-05	-0,2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra Seca	P0	0,033	2,26E-05	0,58	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	3,23E-05	5,77	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
		P2	0,033	4,20E-05	2,41	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Regência	P0	0,033	3,22E-04	-3,4	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	3,22E-04	-2,57	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Aracruz	Vila Riacho	P0	0,033	3,44E-05	-1,32	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	3,44E-05	-2,22	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Localidade	Localidade	Seção do manancial	n	S (m/m)*	Elevação (Q_{95})	Elevação da maré				
						95%	90%	80%	Sizígia média	Quadratura média
	Barra do Riacho	P0	0,033	1,21E-04	-1,51	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	1,21E-04	-1,55	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Barra do Sahy	P0	0,033	5,08E-04	-3,37	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	5,08E-04	0,08	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Coqueiral (Sauê)	P0	0,033	1,00E-05	-3,25	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Serra	Nova Almeida	P0	0,033	8,51E-05	-2,25	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	1,39E-04	-2,52	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P2	0,033	1,94E-04	-2,35	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Conceição da Barra	Conceição da Barra	P0	0,033	1,04E-04	-1,11	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	2,05E-04	3,52	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
		P2	0,033	3,05E-04	4,39	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**
	Itaúnas	P1	0,033	4,45E-05	2,28	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P2	0,033	4,45E-05	-0,93	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Riacho Doce	P0	0,033	2,35E-04	2,6	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		P1	0,033	2,35E-04	4,24	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**	**Não**

* a declividade foi calculada com base na diferença entre a cota do nível d'água e a distância ao longo do manancial.

6.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 21 apresenta um resumo dos resultados obtidos para os mananciais nos três cenários analisados: (a) somente pela cota de fundo do manancial; (b) com base na condições de escoamento na seção do manancial, combinado com as cotas de maré e dois cenários de vazão (Q_{mlp} e Q_{95}).

Tabela 21. Resumo dos resultados apresentando o número de localidades com potencial de refluxo e sem refluxo.

Tipo de resultado	Cenários		
	Independente da vazão de montante no manancial	Q_{mlp}	Q_{95}
Com potencial para refluxo para todos os níveis de maré	28	22	28
Sem refluxo para todos os níveis de maré	3	5	4
Pelo menos um valor de maré sem refluxo	2	6	1
Total de seções analisadas	33	33	33

Observa-se que o número de mananciais que pode ter efeito de refluxo varia de 22 a 28, enquanto o número de mananciais que não podem ter refluxo varia de 3 a 5. Mananciais que se encontram entre os dois cenários variam de 1 a 6. Como esperado, grande parte destes mananciais que se encontram próximo do mar podem estar sujeitos, em algum momento, ao efeito de refluxo com vazão negativa e alguma salinização.

Quando isto ocorre seria necessário simular cada um destes trechos com base na batimetria dos rios, variação de vazão de montante e variação dos níveis de maré para se obter a porcentagem do tempo que estes locais poderiam ter refluxo. Estes resultados permitem obter uma análise identificando os mananciais que não estão sujeitos ao refluxo. Deve-se ressaltar,

também, que mesmo que os locais possam estar sujeitos a refluxo, o escoamento de refluxo deve estar contaminado para exercer a influência de contaminação no manancial.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

Antecedentes

O rompimento da barragem de Fundão permitiu o deslocamento dos rejeitos retidos na barragem para jusante, deslocando-se até o litoral do Espírito Santo. Considerando que neste trajeto de cerca de 604 km a granulometria dos sedimentos que chegaram ao Oceano é de partículas finas de argila e silte, já que as parcelas de areia ficaram retidas no leito dos rios e reservatórios. Esta pluma de rejeitos e sedimentos finos aumentou a turbidez da água com importante concentração de material sólido. Esta carga excedente se dispersou pela costa do Espírito Santo, deslocando principalmente ao sul da foz do rio Doce devido à predominância das correntes no período de verão e ao longo do ano.

Algumas localidades próximas do litoral ao norte da foz do rio Doce apresentaram demandas à Fundação Renova quanto ao impacto da qualidade da água de seus mananciais, tendo como hipótese o efeito do rompimento da barragem.

Objetivo e Metodologia

O objetivo deste estudo foi de avaliar de forma preliminar, com dados limitados, as potenciais condições dos mananciais das localidades serem impactados pela qualidade da água do mar após o referido rompimento.

Para desenvolver este diagnóstico, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Identificação das localidades dentro dos municípios e dos mananciais de água que potencialmente poderiam ser impactos na região;
2. Visita local para entrevista a população, prestadores de serviços e representantes de comunidades para obter informações sobre a percepção sobre os potenciais impactos nos mananciais;
3. Levantamento de dados hidrométricos dos mananciais para análise e verificação das premissas sobre os potenciais impactos e avaliação técnica destas informações para uma conclusão preliminar sobre os mananciais.

Análise das informações das localidades e mananciais

Para desenvolver as duas primeiras etapas acima foram elaboradas as seguintes etapas do estudo e obtidos os seguintes resultados:

- A Fundação Renova identificou 16 localidades de cinco municípios, sendo 4 localidades no município de São Mateus, 4 no município de Linhares, 3 no município de Conceição da Barra e uma localidade do município de Serra. As localidades foram visitadas, uma não foi encontrada (Palmeira, em Linhares), resultando em 15 localidades. Para estas localidades, foram coletados dados com base em informações disponíveis e outras obtidas nas visitas as localidades;
- Para cada localidade, foi identificado o manancial principal entre: superficial e subterrâneo (por meio de poços individuais ou coletivos). Das localidades, 9

usam predominantemente água subterrânea, 5 superficial e 1 usa dos dois tipos. Em todas as localidades foram identificados mananciais superficiais para análise, mesmo que o predominante seja subterrâneo. Desta forma, resultaram 33 mananciais em 14 localidades, já que a localidade de Povoação foi descartada;

- Para as localidades atendidas por concessionárias de serviço de água, as respostas a avaliação da qualidade foram que os mananciais de abastecimento utilizados apresentaram pouca ou nenhuma alteração na qualidade da água após novembro de 2015. As Localidades onde o abastecimento de água utilizava o rio Doce como manancial de captação tiveram sua captação deslocada para outros mananciais ou se tornaram dependentes de caminhões-pipa. A Fundação Renova vem trabalhando nas melhorias do sistema de abastecimento onde é possível, mantendo o abastecimento por caminhão-pipa para as localidades sem outra opção.
- A pesquisa *in-loco* realizada com os moradores das diversas comunidades avaliadas apresentou poucos locais com alterações após novembro de 2015. Vila Riacho, Regência e Povoação sofreram impactos diretos quanto à água de abastecimento por usarem água do rio Doce, alterando seu sistema para a utilização de caminhões pipa. As outras comunidades não comentaram sobre impactos na água usada no abastecimento. A exceção foi Degredo, onde a população realiza captação por poços profundos e alega que a qualidade das águas dos poços se deteriorou após o rompimento. A probabilidade de que água subterrânea tenha sido contaminada pelos rejeitos do rompimento é muito pequena. A análise de águas subterrâneas está fora do escopo deste trabalho.

Condicionantes Hidráulicos de refluxo

O estudo considerou que para que o manancial seja contaminado pela água do mar é necessário que concomitantemente ocorra o seguinte:

- Refluxo de água do mar na seção do manancial utilizado pela população;
- A concentração de sedimentos da água do mar é suficientemente alta para aumentar turbidez e contaminar os mananciais.

Para cada localidade, foram definidos mananciais superficiais (mesmo para localidades que usam água subterrânea) para avaliação do potencial de contato com a água do mar com este manancial por meio de refluxo do escoamento. O refluxo ocorre quando o nível do mar é superior ao nível de água no manancial quando existe conexão entre o mar e o manancial para um rio. Esta condição de refluxo pode indicar, dentre outras coisas, que material em suspensão nas águas oceânicas tem potencial para ser transportado para os mananciais.

Para avaliar estas condições foram realizados levantamentos em todos os mananciais definidos para verificar a seção de escoamento e a vazão no momento do levantamento. Com os dados da seção, das vazões afluentes das bacias dos mananciais obtidas por regionalização e das informações de variação de maré disponíveis na costa do Espírito Santo foi possível identificar os mananciais que não poderiam ser afetados pela água do mar e aqueles que

potencialmente poderiam ter refluxo. Os resultados mostraram que de acordo com a metodologia existem 5 mananciais que dificilmente poderiam ser afetados pela água do mar, 22 que provavelmente podem ter refluxo e 6 que podem ser afetados, mas por períodos curtos. Este é um resultado hidráulico preliminar com dados limitados. Para uma avaliação detalhada, seriam necessárias mais informações.

Este resultado que indica que pode existir refluxo não certifica que o material em suspensão foi transportado pelo manancial e atingiu as localidades avaliadas, nem mesmo que existiam concentrações críticas no litoral para que isto ocorresse. Os estudos desenvolvidos de simulação na costa do Espírito Santo mostraram que as concentrações maiores de sedimentos, resultados do rejeito do rompimento, se deslocaram para o Sul da foz do rio Doce e não para o litoral Norte (onde estão as localidades analisadas). Mesmo que tenham ocorrido correntes para o Norte, estas eram de duração curta e com concentração muito baixas.

7.2 RECOMENDAÇÕES

Para que se possa dirimir as incertezas e avaliar se os mananciais estão contaminados, é recomendável o seguinte:

- Monitoramento dos níveis e vazões nos mananciais de interesse visando conhecer a vazão de montante da bacia e as condições de refluxos. A régua deve estar nivelada a um datum regional;
- Monitoramento dos níveis de maré próximo da foz dos rios que escoam para o mar junto à costa do Espírito Santo;
- Monitoramento da qualidade da água dos mananciais e junto à costa do Espírito Santo, para os parâmetros que limitam o uso da água como resultado da concentração potencial de rejeitos, como a turbidez e metais que possam ter sido transportado pelos rejeitos como o ferro;
- Levantamento das características hidrobatimétricas dos trechos de rio que conectam o mar aos mananciais de interesse específico.

Estas informações com monitoramento por um período de pelo menos um ano permitiria dirimir qualquer dúvida quanto à contaminação por rejeitos dos locais que ainda podem ter refluxo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas. Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos - Hidroweb. Disponível em http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf. Acesso em 15 mai. 2019.

COBRAPE – COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. (2018). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (PERH/ES). Macroproduto 5 – Documento consolidado do Plano estadual de Recursos Hídricos. Caderno Diagnóstico. Revisão Final – 231p. Novembro 2018.

COPETEC - FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS. Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana nove meses após o desastre. Cap. 4 - Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente. Rio de Janeiro. Novembro 2016.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (2019). Rochas. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Rochas-1107.html. Acesso em 13 jun. 2019.

GOLDER ASSOCIATES. Qualidade da água e do sedimento na zona costeira próxima à Foz do rio Doce e na APA Costa das Algas - atualização de maio/2017.

IBGE – Instituo Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil: Informações Ambientais. Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra (2016). Disponível em https://www.ibge.gov.br/nformações/cartas-e-mapas/nformações-ambientais/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?=&t=o-que-e. Acesso em 29 abr. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa de Solos do Brasil. (2001). Rio de Janeiro. Escala 1:5.000.000. Disponível em http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php. Acesso em 23 abr. 2019.

MAGRIS, Rafael A. et al. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). *Science Of The Total Environment*, v. 659, p.828-840, 2019.

MARINHA DO BRASIL – CENTRO DE HIDROGRAFIA [s.d.]. Tábuas das Marés. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-publicacoes/tabuas-das-mares. Acesso em 15 mai. 2019.

PINTO, C.S. (2006). Curso básico de mecânica dos solos. 3ª ed. São Paulo, oficina de textos. ISBN 978-85-86238-51-2. 367 p. PREFEITURA MUNICIPAL DE CONCEIÇÃO DA BARRA. Informações Geográficas. Disponível em: https://conceicaodabarra.es.gov.br/informacoes-geograficas. Acesso em 09 mai. 2019.

TOPODATA – Banco de dados geomorfométricos do Brasil. (2011). disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/. Acesso em 15 de junho 2019.

TUCCI, C.E.M. (2002). Regionalização de vazões. 1ª ed. Porto Alegre, Editora da UFRGS. ISBN 85-7025-615-9. 256 p.

TUCCI, C.E.M. (2005). Modelos Hidrológicos. 2ª ed. Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH. ISBN 85-7025-823-2. 680 p.

TUCCI, C.E.M. (2009). Hidrologia: Ciência e aplicação. 4ª ed. Porto alegre, Editora da UFRGS/ABRH. ISBN 978-85-7025-924-0. 944 p.

ANEXO A. QUESTIONÁRIO DE INFORMAÇÕES LOCAIS

Tabela 22. Questionário para localidades com prestador de serviço.

INFORMAÇÕES – COM PRESTADOR DE SERVIÇO DE ABASTECIMENTO
1. Nome da localidade
2. Localização (1)
3. População atendida
4. Tipo de fonte de água (2)
5. Localização do ponto de captação (3)
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total
7. Prestador de serviço (4)
8. Vazão captada
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte (5)
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)
11. Existe rede de distribuição?
12. Quais as condições da rede de distribuição?
13. Existem conflitos identificados? (6)
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas
15. Quanto é cobrado pela água?
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio (7)
18. Nome do rio
19. Local de conexão com o mar
Informações complementares
(a) mapa de localização da cidade com pontos de captação de água, Estação de Tratamento de água e mancha urbana da localidade.
(b) arquivo excel com as amostras de qualidade da água da fonte de abastecimento de água, preferencialmente com dados de turbidez

(1) - coordenadas geográficas da cidade (usar duas colunas);
(2) - podem ser superficial (rios) e subterrânea (poços);
(3) - coordenadas do ponto de captação do rio e no caso de poços identificar os postos por numeração e para cada um encontrar as coordenadas, usando quantas colunas forem necessárias;
(4) - se existir prestador de serviço colocar o nome e nas colunas a direita colocar o endereço, fone, site e nome de contato usando quantas colunas forem necessárias. Quando não houver prestador de serviço identificar a pessoa que opera e entrevistá-la sobre a qualidade da água. Ver perguntas na planilha sem prestador;
(5) - a qualidade da água desejada é antes do tratamento da água, usada nos relatórios para ANVISA se for um prestador de serviço. Caso não exista, afirmar sem dados;
(6) - caso existam conflitos identificados, descrever nas colunas, usando uma coluna para cada assunto;
(7) - com os dados de localização, será calculado.

Tabela 23. Questionário para localidades sem prestador de serviço.

INFORMAÇÕES – SEM PRESTADOR DE SERVIÇO DE ABASTECIMENTO
1. Quanto tempo opera a coleta de água para abastecimento?
2. Qual é a população atendida?
3. Qual a vazão ou volume de água de abastecimento diário ou mensal?
4. Existe reservatório?
5. Se existe qual o volume?
6. Existe rede de distribuição ou a distribuição é feita por volumes individuais?
7. Existe controle da qualidade da água do reservatório?

8. Existe medida da qualidade da água retirada do manancial?
9. Existe tratamento da água para entrega a comunidade?
10. Qual é o aspecto da água retirada do manancial?
11. Você observou alguma diferença desta água nos últimos três anos?
12. Existe alguma reclamação de doença para quem é abastecido ou de qualquer tipo?
13. Observações e fotografias do local de retirada de água do manancial, reservatório e local de distribuição.
14. Introduzir mapa de localização com coordenadas geográficas
15. Nome da pessoa entrevistada, telefone, endereço, emprego se tiver ou atividade de sobrevivência.
16. Comentários da pessoa entrevistada

Tabela 24. Questionário com informações complementares dos mananciais e localidades.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
1. Área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km^2)
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)
3. Declividade média do rio ($m.km^{-1}$)
4. Vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)
5. Vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)
6. Plano de abastecimento de água
7. Plano de Saneamento Básico
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira
9. Pontos PMQQS ao longo da costa
10. Dados de maré
11. Dados hidrológicos
12. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos
13. Plano de bacia hidrográfica

ANEXO B. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DAS LOCALIDADES

Tabela 25. Características do sistema de abastecimento de água de São Mateus-Guriri.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	São Mateus - Guriri	
2. Localização	18°43'43"S	39°46'28"O
3. População atendida	20.000	
4. Tipo de fonte de água	6 Poços Artesianos profundos	
5. Localização do ponto de captação	1 poços artesiano profundos (186m), 18°43'43"S, 39°46'28"O; 1 poços artesiano profundos (186m), 18°43'39"S, 39°46'22"O; 3 poço artesiano do rio Preto (114 m), 18°44' 14"S, 39°47' 45"O; 1 poço artesiano da Pedra d'Água (114 m), 18°43'46"S, 39°48'59"O.	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	50 (apenas para lavagem de filtros)	
7. Prestador de serviço	SAAE - São Mateus	
8. Vazão captada	220 $m^3.h^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA	220 $m^3.h^{-1}$	
11. Existe rede de distribuição?	Sim	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Razoável - Necessidade de expansão da rede de distribuição.	
13. Existem conflitos identificados?	Não.	
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Entrevistados: Priscila Paiva (27) 3761-3137 Deusdete Fabri: (27) 99988-0168 Chales Henrique Rosario Jr (27) 99794-8247 Segundo eles a qualidade da água é boa para beber, tomar banho, cozinhar, lavar roupas e que não tem coceira na pele após banho. Relatam ainda que não sentiram nenhuma diferença na água após de rompimento da Barragem de Mariana.	
15. Quanto é cobrado pela água?	Valor médio cobrado R$ 3,10 por m^3.	
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Há problemas de salinidade, mas há 5 anos não há captação no rio Mariricu. Optou-se pelos poços artesianos.	
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	Não se aplica.	
18. Nome do rio	Poços localizados na margem do rio Cricaré e rio Preto.	
19. Local de conexão com o mar	Não se aplica.	
20. Bombeamento	2 x 50 CV e 1 x 75 CV	

Tabela 26. Informações complementares da localidade São Mateus – Guriri.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. Área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km²)	Abastecimento por poços profundos
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	Não se aplica
3. Declividade média do rio (m/km)	Não se aplica
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não possui
7. Plano de Saneamento Básico	Não possui
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Não há
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Não possui
10. Dados de maré	Em anexo
11. Dados hidrológicos	
12. Outorga de direito de uso da água	Não tem outorga
13. Cobrança pelo uso da água	Não
14. Enquadramento	Captação por poços
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Tem plano estadual de recursos hídricos/plano de bacia (?)
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	SAAE - São Mateus: Av. João XXIII, 2204 - Boa Vista, São Mateus - ES, CEP:29931-910. tel (27) 3313-1444. Técnico do SAAE que acompanhou a visita: Deusdete Fabris.

Tabela 27. Características do sistema de abastecimento de água de Ranchinho.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	Ranchinho	
2. Localização	18°47’18" S	31°46'1" O
3. Quanto tempo opera a coleta de água para abastecimento?	Operação em poços individuais, com no máximo 12 m de profundidade. Ligam-se as bombas quando as caixas estão vazias.	
4. Qual é a população atendida?	150 pessoas.	
5. Qual a vazão ou volume de água de abastecimento diário ou mensal?	Estima-se um consumo de 20 m³ por mês de água por residência.	
6. Existe reservatório?	Caixas d`água individuais.	
7. Se existe qual o volume?	1000 L.	
8. Existe rede de distribuição ou a distribuição é feita por volumes individuais?	Não há rede de distribuição. Cada residência possui seu próprio poço.	
9. Existe controle da qualidade da água do reservatório?	Não.	
10. Existe medida da qualidade da água retirada do manancial?	Não.	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
11. Existe tratamento da água para entrega a comunidade?	Não.
12. Qual é o aspecto da água retirada do manancial?	Segundo os moradores a água dos poços é salobra. Adicionalmente, é observado que está na cor amarela, imprópria para consumo humano.
13. Você observou alguma diferença desta água nos últimos três anos?	O pescador Elton do Rosário, informou que houve redução de peixes após o rompimento da barragem de Mariana.
14. Existe alguma reclamação de doença para quem é abastecido ou de qualquer tipo?	Não.
15. Nome da pessoa entrevistada, telefone, endereço, emprego se tiver ou atividade de sobrevivência.	Elton do Rosário (27) 999-286131 - Pescador; e sua esposa Rosângela Santana da Silva, doméstica.
16. Comentários da pessoa entrevistada	Ambos disseram que água de seus poços estão ok, tanto para banho, como para lavar roupas e regar horta. E que, após o rompimento de Mariana, água não mudou em nada.
17. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	SAAE - São Mateus: Av. João XXIII, 2204 - Boa Vista, São Mateus - ES, CEP:29931-910. tel (27) 3313-1444. Técnico do SAAE que acompanhou a visita, Deusdete Fabris

Tabela 28. Características do sistema de abastecimento de água de Degredo

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	Degredo	
2. Localização	19°19'6"S	39°43'17"O
3. Quanto tempo opera a coleta de água para abastecimento?	Operação de poços individuais, com profundidade de 6 m.	
4. Qual é a população atendida?	150 famílias.	
5. Qual a vazão ou volume de água de abastecimento diário ou mensal?	Cada residência consome em média uma caixa de 500 L de um a dois dias.	
6. Existe reservatório?	Sim	
7. Se existe qual o volume?	Caixas de 500 L por residência.	
8. Existe rede de distribuição ou a distribuição é feita por volumes individuais?	Não.	
9. Existe controle da qualidade da água do reservatório?	Não.	
10. Existe medida da qualidade da água retirada do manancial?	Não.	
11. Existe tratamento da água para entrega a comunidade?	Não.	
12. Qual é o aspecto da água retirada do manancial?	Amarelado.	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
13. Você observou alguma diferença desta água nos últimos três anos?	Sim.
14. Existe alguma reclamação de doença para quem é abastecido ou de qualquer tipo?	Não.
15. Nome da pessoa entrevistada, telefone, endereço, emprego se tiver ou atividade de sobrevivência.	1) Mônica Siva de Jesus Pazinatto, (27) 99817-5748, agente comunitária de saúde; 2) Adeildo de Jesus Santos, (27) 99514-1468, comerciante; 3) Pedro Leite Costa, (27) 99907-6781, pescador; 4) Maria Raimunda de Jesus Brito, (27) 99621-8899, doméstica; 5) Magno Silva da Conceição, (27)99862-1967, pedreiro; 6) José leite Costa, (27) 99826-0027 ou 99740-1610, agricultor.
16. Comentários da pessoa entrevistada	Mônica Siva de Jesus Pazinatto, agente comunitária de saúde, (27) 99817-5748, afirmou que seu poço está próximo do rio Ypiranga e tem 6 m de profundidade. Disse que a água do poço está piorando a partir de 2016, data de perfuração do mesmo. Relata que na comunidade existem queixas de coceiras, dor no estômago e problemas renais; Adeildo de Jesus Santos, comerciante, tel (27) 99514-1468, afirmou se o poço ultrapassar 7 m, que o poço vai "puxar" a água que vem do rio, que está toda contaminada de ferro "pesado". Diz que a análise da água da região foi feita, e que a água está toda contaminada; Pedro Leite Costa, pescador, tel (27) 99907-6781, contou que a água era 100% saudável antes do desastre de Mariana, e que a água foi piorando após o rompimento. Afirmou que a água sai limpa de seu poço (6 m) e que após algumas horas a água fica na cor de ferrugem. Relatou que ao sair do banho sente coceiras no corpo. Bebe água mineral (7 galões/semana) fornecida pela Fundação Renova (FR). Disse ainda que a água está dando infecção urinária nas mulheres. Afirmou que o mar ainda está com ferrugem e sem peixes. E para terminar disse que até as plantas que regadas com a água do poço "morrem"; Maria Raimunda de Jesus Brito, doméstica, tel (27) 99621-8899, disse que a água era boa e que "sai amarela" do poço (6 m). Usa a água mineral fornecida pela FR e que são 7 galões/semana e considera a quantidade insuficiente para sua família. Queixou-se de coceiras após o banho e forte cheiro de "ovo podre"; Magno Silva da Conceição, pedreiro, (27)99862-1967,

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
	possui um poço de 6 m de profundidade, onde a água "saia clara" e 9 meses após o rompimento de Mariana a água do mesmo piorou. relatou que bebe a água mineral fornecida pela FR (9 galões/semana). Relatou micoses, infecções urinárias e coceiras após o banho (fato que não ocorria antes), contou também que os ventos sul levantam a lama do mar; José leite Costa, agricultor, tel (27) 99826-0027 ou 99740-1610, afirmou que em seu poço antes tinha água "clarinha" que agora está amarelada, disse que a água espuma razoavelmente no banho e sem coceiras. Recebe 7 galões/semana, para beber e cozinhar. Disse também que o vento sul deixa a água na cor de barro.
17. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	Sem concessionária de Saneamento - Visita realizada com apoio da Fundação Renova e IEMA.

Tabela 29. Características do sistema de abastecimento de água de Barra Nova.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	Barra Nova	
2.Localização	18°56'57" S	31°44'42" O
3. Quanto tempo opera a coleta de água para abastecimento?	Operação em poços individuais, de 3 a 7 m de profundidade. Ligam-se as bombas quando as caixas estão vazias.	
4. Qual é a população atendida?	300 pessoas.	
5. Qual a vazão ou volume de água de abastecimento diário ou mensal?	2 a 6 caminhões pipas por semana, vindos de São Mateus.	
6. Existe reservatório?	Caixas d'água individuais.	
7. Se existe qual o volume?	Volumes de 250 a 1000 L.	
8. Existe rede de distribuição ou a distribuição é feita por volumes individuais?	Não.	
9. Existe controle da qualidade da água do reservatório?	Não.	
10. Existe medida da qualidade da água retirada do manancial?	Não.	
11. Existe tratamento da água para entrega a comunidade?	Não.	
12. Qual é o aspecto da água retirada do manancial?	Amarelada.	
13. Você observou alguma diferença desta água nos últimos três anos?	Sim.	
14. Existe alguma reclamação de doença para quem é abastecido ou de qualquer tipo?	Sim. Segundo os moradores que após o banho (chuveiro) sentem coceira na pele.	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
15. Nome da pessoa entrevistada, telefone, endereço, emprego se tiver ou atividade de sobrevivência.	Mateus Gomes, funcionário da Pousada, (27) 99579-6839; Elimar Silva de Oliveira, pescador, (27) 99859-0017; Cláudia Monteiro Teixeira, representante da associação dos pescadores, tel (27)99914-2618; Leuzenor Monteiro, tel (27) 997177887;
16. Comentários da pessoa entrevistada	1) Mateus Gomes, relata que tem pouca saponificação no banho, após rompimento de Mariana; 2) Cláudia Monteiro Teixeira, afirma que a água tem de gosto e cheiro de ferrugem, e também coceira após o banho; 3) Elimar Silva de Oliveira; 4) Leuzenor Monteiro, os dois dizem só beberem água mineral. A água não espuma bem, dificuldade em lavar roupas brancas (amareladas).
17. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	SAAE - São Mateus Av. João XXIII, 2204 - Boa Vista, São Mateus - ES, CEP:29931-910. tel (27) 3313-1444 Técnico do SAAE que acompanhou a visita, Deusdete Fabris.
20. Local tem contato com o rio	A localidade está na Foz do rio Mariricu.

Tabela 30. Características do sistema de abastecimento de água de Barra Seca.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	Barra Seca	
2. Localização	19°5'59" S	39°43'22" O
3. População atendida	1500	
4. Tipo de fonte de água	Captação subterrânea: Poços de até 7 m de profundidade e sem outorga.	
5. Localização do ponto de captação	Poços individuais nas residências.	
6. Plano de abastecimento de água	Não há.	
7. Prestador de serviço	Não.	
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Sim, segundo Izaias Silva Santos, a zona costeira foi fortemente impactada.	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Não	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	Não	
11. Existe rede de distribuição?	Não	
12. Outorga de direito de uso da água	Sem outorga	
13. Nome do rio	Rio Ipiranga	
14. Local de conexão com o mar	Foz do rio Ipiranga	
15. Quanto tempo opera a coleta de água para abastecimento?	Quando o nível da caixa d'água abaixa, liga-se a bomba do poço	
16. Qual a vazão ou volume de água de abastecimento diário ou mensal?	500 L/dia	
17. Existe reservatório?	caixa individual	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
18. Se existe qual o volume?	caixa de 500 L a 5000 L (poucas)
19. Existe rede de distribuição ou a distribuição é feita por volumes individuais?	Não
20. Existe controle da qualidade da água do reservatório?	Não
21. Existe medida da qualidade da água retirada do manancial?	Não
22. Existe tratamento da água para entrega a comunidade?	Não
23. Qual é o aspecto da água retirada do manancial?	Poços acima de 7 m, a água tem a cor amarelada. Segundo o técnico da SAAE, a cor amarela é devido à presença do ferro (geologia do solo)
24. Existe alguma reclamação de doença para quem é abastecido ou de qualquer tipo?	Não
28. Comentários da pessoa entrevistada	Entrevistados: 1) Izaias Silva Santos, comerciante, tel (27) 998088562, segundo ele, a qualidade da água captada é boa, mesmo antes e após o rompimento da Barragem de Mariana; 2) Joselina Anselmo de Oliveira, doméstica, tel (27) 992237839, afirmou que há 3 anos a água de seu poço está mais amarela, o banho tem boa espuma e sem coceira, a lavagem das roupas sem problemas. bebe apenas água mineral; 3) Aparecida Pereira de Oliveira, doméstica, tel (27) 997970326, disse que após o rompimento, a água ficou mais amarelada e cheiro de ferrugem, bebe apenas água mineral, lava apenas roupas de cor com a água de seu poço, terminou dizendo para o banho a água está boa; 4) Zélio Alves Carvalho, comerciante, tel (27) 992885876, contou que bebe somente água mineral, para o banho água está ok, notou que água ficou mais amarela, e uso cloro para lavar as roupas; 5) Marcos David Mariano Simões (27)99984-5933 e Eneida Batista Barcelos (27)99966-3100, Proprietários da Pousada Lua Nua, afirmaram entraram na justiça contra a Renova alegando que o movimento da pousada sofreu redução devido porque a pesca acabou no local. Eles alegam ainda dificuldade para lavar roupa, uma vez que a água piorou depois do rompimento.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
	Izaias e Marcos confirmam o aumento da lama na embocadura do rio Ipiranga, o fim da pesca e redução do número de pessoas que visitam o local.
29. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	Saae - São Mateus Av. João XXIII, 2204 - Boa Vista, São Mateus - ES, CEP:29931-910. tel (27) 3313-1444 Técnico do Saae que acompanhou a visita, Deusdete Fabris

Tabela 31. Características do sistema de abastecimento de água de Povoação.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	POVOAÇÃO	
2. Localização	19°47'33"S	39°47'33"O
3. População atendida	2 320	
4. Tipo de fonte de água	Captação em poço ou cisterna rasa com profundidade de 7,0 m	
5. Localização do ponto de captação	39°47'33"O; 19°47'33"S	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Enterrado: 45 m^3; Elevado: 100 m^3.	
7. Prestador de serviço	SAAE Linhares	
8. Vazão captada ($L.s^{-1}$)	5.5	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	5,5-20	
11. Existe rede de distribuição?	Sim.	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Razoáveis.	
13. Existem conflitos identificados?	Produção insuficiente.	
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Entrevistados: Marcelo Franco dos Santos; Honario Pereira Monteiro; João Benedito de Sousa. Para eles a água está boa. Para os operadores da ETA a produção é insuficiente e há necessidade de retornar à captação no rio Doce.	
15. Quanto é cobrado pela água?	R$1,70 a R$3,608 por m^3	
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não.	
17.Distância do Ponto de Captação ao mar, ao longo do rio	-	
18. Nome do Rio	-	
19. Local de Conexão com o mar	-	
20. Bombeamento	Captação: 2 x 2,2 kW Distribuição: 2 x 5CV	

Tabela 32. Informações complementares da localidade Povoação.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. Área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km2)	-
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	-
3. Declividade média do rio (m/km)	-
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não há
7. Plano de Saneamento Básico	Município com plano
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Segundo os próprios operadores da ETA houve aumento na turbidez
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Os pontos de análise foram feitos pela fundação renova
10. Dados de maré	Ministério da marinha
11. Dados hidrológicos	-
12. Outorga de direito de uso da água	Sem outorga
13. Cobrança pelo uso da água	Não há cobrança
14. Enquadramento	Classe II para o rio doce.
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	há ambos os planos para a bacia do rio doce
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	Rua Cap. José Maria, 1732 - centro, Linhares - ES, 29900-170. telefone: (27) 2103-1311responsável pelo acompanhamento da visita, Marcos Antônio de Lima

Tabela 33. Características do sistema de abastecimento de água de Regência.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	REGÊNCIA	
2. Localização	19°38'44" S	39°49'30" O
3. População atendida (hab)	1 400	
4. Tipo de fonte de água	Água da ETA Linhares (50%) fornecida por caminhões pipas + Captação poço artesiano profundo (50%)	
5. Localização do ponto de captação	39°49'30" O; 19°38'44" S Poço artesiano profundo (130m) Profundidade da sucção: 82 m	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Apoiados: 4 x 10 m^3 e 3 x 15 m^3 Enterrados: 1 x 40 m^3 Elevados: 1 x 40 m^3	
7. Prestador de serviço	SAAE LINHARES	
8. Vazão captada ($L.s^{-1}$)	13 $L.s^{-1}$ Tempo de recalque no poço: 6 horas/dia	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	sim	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	13 $L.s^{-1}$
11. Existe rede de distribuição?	Sim.
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Boa.
13. Existem conflitos identificados?	A Fundação Renova distribuiu 160 caixas d`água de 500 litros para a comunidade. Esse número é considerado ainda insuficiente pela localidade
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	1) Maria das Graças Meireles (doméstica), afirmou que o sabão não espuma, amaciante para roupas não tem ação, a pele do esposo após banho apresenta coceira, a água apresenta cheiro de ferrugem. Antes do rompimento de Mariana, a população usava a água do rio Doce que era ""boa"" e que agora não o fazem mais. Esta pessoa avalia que nem o uso da água com blend de 50/50 está funcionando para melhorar a água. 2) Milas Alves Santos (motorista caminhão), segundo ele a água após ser filtrada está boa para beber, sem problemas de coceiras após banho (coceira), a saponificação é boa Ele diz ainda que antes do rompimento de Mariana, a água era salobra e que agora está muito melhor. 3) José Almeida (pequeno comerciante), este afirma que a água antes do rompimento de Mariana tinha um de pouco de salinidade. Diz também que a água era melhor antes do rompimento. Sente coceira após banho. Para ele a água tem forte cheiro de ferrugem, e que só consome água mineral; 4) Raimundo Evaldo Moura, diz que antes do rompimento a água era salgada. Está tendo problemas com a saponificação e sem coceiras após banho. Sente cheiro de ferrugem na água; 5) Diego Ramos Santos, (vigia do poço da SAAE, tel 27 99956-5768), diz que a água tem boa saponificação, não tem problemas para lavar as roupas pois não ficam amareladas. Afirma que filtra a água e a toma sem a necessidade de água mineral. E encerrou seu relato afirmando que a água era boa antes e mesmo depois do rompimento de Mariana.
15. Quanto é cobrado pela água?	R$1,70 a R$3,608 por m^3
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	-
18. Nome do rio	-
19. Local de conexão com o mar	-
20. Bombeamento:	Poço se sucção (água bruta): 15 CV Bombeamento de água tratada: 2 x 15 CV

Tabela 34. Informações complementares da localidade Regência.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. Área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km^2)	-
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	-
3. Declividade média do rio (m/km)	-
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não há
7. Plano de Saneamento Básico	Existe
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Segundo os próprios operadores da ETA houve aumento na turbidez
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Os pontos de análise foram feitos pela fundação renova
10. Dados de maré	Ministério da marinha
11. Dados hidrológicos	-
12. Outorga de direito de uso da água	Sem outorga
13. Cobrança pelo uso da água	Não há cobrança
14. Enquadramento	Classe II para o rio Doce e rio Pequeno. A ETA Linhares fornece caminhões pipas para a localidade de Regência
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Há ambos os planos para a Bacia do rio Doce
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	"Rua Cap José Maria, 1732 - Centro, Linhares - ES, 29900-170. Telefone: (27) 2103-1311
17. Turbidez da água bruta (UNT)	0,76 - 1,44

Tabela 35. Características do sistema de abastecimento de água de Vila Riacho.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	VILA RIACHO	
2. Localização	19°44'59"S	40°2'34''O
3. População atendida	6000	
4. Tipo de fonte de água	Superficial no rio Riacho	
5. Localização do ponto de captação	19°45'4" S; 40°2'29" O	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Elevado: 1 x 100 m^3 Apoiado: 1 x 150 m^3	
7. Prestador de serviço	SAAE ARACRUZ	
8. Vazão captada	16-18 $L.s^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	40 $L.s^{-1}$	
11. Existe rede de distribuição?	SIM	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Boa
13. Existem conflitos identificados?	Não
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Gustavo Lopes Pandolfe (27) 99832-1870, operador de ETA, relata que logo após o rompimento de Mariana, havia excesso de alumínio na água. No tratamento da água, a floculação necessitava de grande quantidade de NaOH para remoção do alumínio, mas que agora se faz como antes, com polímeros e PAC (Policloreto de Alumínio); Jandir Rodrigues Lepaus (27)99802-7943, operador de ETA, afirma que a água é otima, com boa saponificação, sem cheiro ou gosto de ferrugem. filtra e bebe a água normalmente; Maria de Fátima Lucas , doméstica, (27) 998725041, disse que a água continua ótima ou seja não alterou em nada nem antes e nem após o rompimento da Barragem de Mariana. Yasmim Caldino, desempregada, (27) 996975118, relata que a água é boa para o banho, lavar roupas. Mas que água para beber, busca no poço do bairro Céu Azul; José Antônio Del Carro, mecânico, (27) 999527402, diz que busca água para beber no Córrego do Ouro, onde tem um poço de 160 m.
15. Quanto é cobrado pela água?	Não fornecido
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	10 km
18. Nome do rio	rio Riacho
19. Local de conexão com o mar	Barra do Riacho
20. Bombeamento	2 x 10 CV
21. Turbidez da água bruta (UNT)	0,19 - 0,36 UNT (valores observados no dia da visita 13/06/19)

Tabela 36. Informações complementares da localidade Vila Riacho.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km²)	-
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	-

3. Declividade média do rio (m/km)	-
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não
7. Plano de Saneamento Básico	Existe
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Não há relatos de impactos de turbidez. Segundo o técnico da SAAE (Paulo Guidoline) o excesso de alumínio (geologia) e o pH baixo da água a torna límpida, o que provocou a mortandade de peixes na desembocadura do rio Riacho
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Os pontos de análse foram feitos pela Fundação Renova
10. Dados de maré	Ministério da Marinha
11. Dados hidrológicos	-
12. Outorga de direito de uso da água	Tem outorga
13. Cobrança pelo uso da água	Não
14. Enquadramento	Classe II
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Tem plano estadual e não tem plano de bacia.
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	Endereço: Rua José dos Santos Lopes, 45 - De Carli, Aracruz - ES, 29194-017; técnico da visita a SAAE Vila do Riacho, Jandir Rodrigues Lespaus, (27) 99802-7943.
17. Turbidez da água bruta (UNT)	0,19 - 0,36 UNT (valores observados no dia da visita 13/06/19)

Tabela 37. Características do sistema de abastecimento de água de Barra do Riacho.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	BARRA DO RIACHO	
2. Localização	19°49'28” S	40°4'2" O
3. População atendida	10000	
4. Tipo de fonte de água	SUPERFICIAL-CÓR. ST. JOANA	
5. Localização do ponto de captação	40°3'51” O	19°48'50,38" S
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	ELEVADO JUNTO DA ETA Apoiado: 1x 100 m^3 Enterrado: 1 x 150 m^3	
7. Prestador de serviço	SAAE ARACRUZ	
8. Vazão captada	24 $L.s^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	24 $L.s^{-1}$	
11. Existe rede de distribuição?	Sim	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Boas	
13. Existem conflitos identificados?	Sim. Existe uma Barragem da Empresa SUZANO, localizada no Rio Riacho que recebe o córrego Sta Joana. Quando as	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
	comportas estão fechados os níveis de jusante são insuficientes para a navegação o que gera insatisfação com os pescadores em Barra do Riacho
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Paulo Afonso Guidoline (27) 99946-9956, operador de ETA . Sem queixas da população, quanto a qualidade da água. Após o rompimento da barragem de Mariana, a empresa FIBRA fez um pré-tratamento da água do Canal Caboclo Bernardo, que liga o rio Doce. Fato que não impactou a água da localidade. Na região costeira, não houve impacto na turbidez, o que se observou foi um Ph baixo e alta concentração de alumínio devido à geologia local, o que teria provocado mortandade de peixes.
15. Quanto é cobrado pela água?	R$0,59 a R$0,95/m³
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	3km
18. Nome do rio	CÓRREGO ST. JOANA
19. Local de conexão com o mar	BARRA DO RIACHO
20. Bombeamento	2 conj.15CV
21. Turbidez da água bruta (UNT)	0,19 - 0,36 UNT (valores observados no dia da visita 13/06/19)

Tabela 38. Informações complementares da localidade Barra do Riacho.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km²)	-
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	-
3. Declividade média do rio (m/km)	-
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não
7. Plano de Saneamento Básido	Existe
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Não há relatos
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Os pontos de análise foram feitos pela Fundação Renova

10. Dados de maré	Ministério da marinha
11. Dados hidrológicos	-
12. Outorga de direito de uso da água	Tem outorga
13. Cobrança pelo uso da água	Não
14. Enquadramento	Classe ii
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Tem plano estadual e não tem plano de bacia
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	SAAE BARRA DO RIACHO - Av. Zamperlini Vieira Machado 560 Barra do Riacho
17. Turbidez da água bruta (UNT)	2 a 3 (Não varia excessivamente em períodos chuvosos)
18. Outros comentários	"Após o rompimento da barragem de Mariana, a empresa FIBRA fez um pré tratamento da água no Canal Cabloco Bernardo, que liga o rio Doce. Fato que não impactou a água da localidade. Na região costeira, não houve impacto na turbidez o que se observou foi um ph baixo e alta concentração de alumínio (geologia), gerando uma mortandade de peixes."

Tabela 39. Características do sistema de abastecimento de água de Barra do Sahy.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	BARRA SO SAHY	
2. Localização	19°52'32"S	40°5'5" O
3. População atendida	4000	
4. Tipo de fonte de água	SUPERFICIAL E POÇO	
5. Localização do ponto de captação	Superficial: 40°5'11” O; 19°52'40” S Poço: 40° 5'43"O; 19°52'23"S	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Reservatório Elevado 150 m3	
7. Prestador de serviço	SAAE ARACRUZ	
8. Vazão captada	Superficial: Córrego Guaxindiba 40 $L.s^{-1}$ Poço: 10 $L.s^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	60 $L.s^{-1}$	
11. Existe rede de distribuição?	Sim	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	boas	
13. Existem conflitos identificados?	Não	
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Amarildo Gomes da Silva, operador ETA (27) 99915-0807, relata problemas eventuais de salinidade. Mas a água é de boa qualidade.	
15. Quanto é cobrado pela água?	R$0,59 a R$0,95/m³	
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não	
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	3 km	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
18. Nome do rio	Córrego Guaxindiba
19. Local de conexão com o mar	Barra do Sahy
20. Bombeamento	Superf. 2 x 20C V - Poços 20 CV
21. Turbidez da água bruta (UNT)	1,27 a 10,2 (leituras de 14/06/2019. A turbidez máxima registrada é de 250 a 300 UNT. Esses valores resultam das condições da própria bacia não tendo, portanto, relação com o rompimento de Mariana

Tabela 40. Informações complementares da localidade Barra do Sahy.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km^2)	-
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	-
3. Declividade média do rio (m/km)	-
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não
7. Plano de Saneamento Básido	Tem
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Não foram relatados impactos de turbidez. O excesso de alumínio na água a torna límpida e tem relatos de mortandade de peixes na desembocadura do rio Riacho
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Os pontos de análse foram feitos pela Fundação Renova
10. Dados de maré	Ministério da Marinha
11. Dados hidrológicos	-
12. Outorga de direito de uso da água	Sim
13. Cobrança pelo uso da água	Não
14. Enquadramento	Classe II
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Tem plano estadual e não tem plano de Bacia
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	Não informado
17. Turbidez da água bruta (UNT)	1,27 a 10,2 (leituras de 14/06/2019. A turbidez máxima registrada é de 250 a 300 UNT. Esses valores resultam das condições da própria bacia não tendo, portanto, relação com o rompimento de Mariana

Tabela 41. Características do sistema de abastecimento de água de Coqueiral.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	COQUEIRAL	
2. Localização	19°52'39" S	40°5'9" O
3. População atendida	7000	
4. Tipo de fonte de água	Captação superficial Lagoa do Santur	
5. Localização do ponto de captação	40°7'53" O; 19°55'7" S	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Reservatório elevado de Coqueiral- 10 m^3 Reservatório elevado de Mar Azul- 5 m^3 Reservatório do Sauê - 35 m^3	
7. Prestador de serviço	SAAE ARACRUZ	
8. Vazão captada	80 $L.s^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	110 $L.s^{-1}$	
11. Existe rede de distribuição?	sim	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Boas	
13. Existem conflitos identificados?	Não	
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	José Antônio da Sila Correia. Operador da ETA (27) 99893-8770, segundo ele a qualidade da água da lagoa do Santur é otima	
15. Quanto é cobrado pela água?	R$0,59 a R$0,95/m^3	
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não	
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	2900 m	
18. Nome do rio	Lagoa do Santur	
19. Local de conexão com o mar	Próxima a Praia do Sauê	
20. Bombeamento	2 conjuntos motobomba na captação: 1 x 20CV e 1 de 25 CV	
21. Turbidez da água bruta (UNT)	Captação em lago com bastante estabilidade nos dados de turbidez. No dia da visita (14/06/19) a variação da turbidez foi de 2,9 a 3,41 UNT. Segundo relato do operador a turbidez máxima se situa entre 6 e 7 UNT	

Tabela 42. Informações complementares da localidade Coqueiral.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km^2)	-
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	-

3. Declividade média do rio (m/km)	-
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não
7. Plano de Saneamento Básido	Existe
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Não há relatos
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Os pontos de análise foram feitos pela Fundação Renova
10. Dados de maré	Ministério da Marinha
11. Dados hidrológicos	-
12. Outorga de direito de uso da água	Tem licença ambiental
13. Cobrança pelo uso da água	Não
14. Enquadramento	Classe ii
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Tem plano estadual e não tem plano de bacia
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	SAAE BARRA DO RIACHO - Av. Zamperlini Vieira Machado 560 Barra do Riacho. Técnico que acompanhou a visita José Antônio da Silva, (27) 998938770
17. Turbidez da água bruta (UNT)	Captação em lago com bastante estabilidade nos dados de turbidez. No dia da visita (14/06/19) a variação da turbidez foi de 2,9 a 3,41 UNT. Segundo relato do operador a turbidez máxima se situa entre 6 e 7 UNT

Tabela 43. Características do sistema de abastecimento de água de Conceição da Barra.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	CONCEIÇÃO DA BARRA	
2. Localização	18°34'22" S	39°44'09" O
3. População atendida	12844 habitantes	
4. Tipo de fonte de água	Captação superficial: Rio Cricaré; Captação subterrânea: 5 poços artesianos	
5. Localização do ponto de captação	39°52'5" O; 18°41'40" S	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Apoiado 1 x 1700 m^3	
7. Prestador de serviço	CESAN	
8. Vazão captada	54,85 $L.s^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	120	
11. Existe rede de distribuição?	Sim	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Excelentes	
13. Existem conflitos identificados?	Não	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Ayres da Silva Monteiro (27) 3762-1252, afirmou que houve problemas de Salinidade excessiva no ponto de captação superficial entre 2015 a 2017
15. Quanto é cobrado pela água?	R$ 1,29 - R$7,92 por m³ (Tarifa Social e Residencial)
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	22 km
18. Nome do rio	Rio Cricaré = São Mateus
19. Local de conexão com o mar	Conceição da Barra
20. Bombeamento	Captação superficial rio Cricaré 2 x 100 CV
21. Turbidez da água bruta (UNT)	A Turbidez em 12/06/19 da água bruta captada no rio Cricaré foi de 10 UNT. Essa turbidez varia em função do período chuvoso. A turbidez não sofreu influência, após o rompimento da Barragem de Mariana. Os poços profundos normalmente apresentam turbidez baixa.

Tabela 44. Informações complementares da localidade Conceição da Barra.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km²)	
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	
3. Declividade média do rio (m/km)	
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	
6. Plano de abastecimento de água	Não
7. Plano de Saneamento Básico	Existe
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Náo há relatos
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Apenas os estudos realizados pela Renova
10. Dados de maré	
11. Dados hidrológicos	
12. Outorga de direito de uso da água	Existe
13. Cobrança pelo uso da água	Não há
14. Enquadramento	Classe II
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Existem o plano estadual e plano de Bacia do rio Cricaré (rio São Mateus)

16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	"Rua Nova Venêcia,112. Conceição da Barra-ES. tel (27) 37621338. técnico responsável pela visita: Ayres da Silva Monteiro
17. Turbidez da água bruta (UNT)	A Turbidez em 12/06/19 da água bruta captada no rio Cricaré foi de 10 UNT. Essa turbidez varia em função do período chuvoso. A turbidez não sofreu influência, após o rompimento da Barragem de Mariana. Os poços profundos normalmente apresentam turbidez baixa.

Tabela 45. Características do sistema de abastecimento de água de Itaúnas.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	ITAÚNAS	
2. Localização	18°25'14" S	39°42'32" O
3. População atendida	905	
4. Tipo de fonte de água	4 poços artesianos profundos (120 m)	
5. Localização do ponto de captação	Poço da chegada: 39°42'47"O; 18°25'24"S Poço da elevatória: 39°42'54"O; 18°25'22"S Poço da quadra: 39°42'44" O; 18°25'21"S Poço da ETA: 39°42'32" O; 18°25'14" S	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Semi-enterrado: 75, 1 x 115 m^3 Elevado: 40, 1 x 40 m^3	
7. Prestador de serviço	CESAN	
8. Vazão captada	27 $L.s^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA ($L.s^{-1}$)	30	
11. Existe rede de distribuição?	Sim	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Boa	
13. Existem conflitos identificados?	Não	
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Cássio Ferreira Gonçalves, Tel: (27) 99935-1695, Operador da ETA. Água de boa qualidade	
15. Quanto é cobrado pela água?	R$ 1,29 - R$7,92 por m^3 (Tarifa Social e Residencial)	
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não existe	
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	-	
18. Nome do rio	Poços na bacia do rio Itaúnas	
19. Local de conexão com o mar	-	
20. Bombeamento	Chegada: 14 CV Elevatória: 16 CV Quadra: 12 CV ETA: 12 CV	

Tabela 46. Informações complementares da localidade Itaúnas.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km²)	-
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	-
3. Declividade média do rio (m/km)	-
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	-
6. Plano de abastecimento de água	Não
7. Plano de Saneamento Básido	Sim
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Sem relatos
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	Apenas os estudos realizados pela Renova
10. Dados de maré	-
11. Dados hidrológicos	-
12. Outorga de direito de uso da água	Existe
13. Cobrança pelo uso da água	Não há
14. Enquadramento	Classe II
15. Plano Estadual / Plano de Bacia	Existem o plano estadual e o plano de Bacia do rio Cricaré (rio São Mateus)
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	Rua Nova Venêcia,112. Conceição da Barra-ES. tel (27) 37621338. técnico responsável pela visita: Ayres da Silva Monteiro

Tabela 47. Características do sistema de abastecimento de água de Nova Almeida.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	Nova Almeida	
2. Localização	20°11'8"S	40°23'8"O
3. População atendida	864 habitantes	
4. Tipo de fonte de água	Superficial	
5. Localização do ponto de captação	40°11'49.14"O 20° 2'37.80"S	
6. Existe reservatório? Quantos? Volume total (m^3)	Semi-enterrado: 2 x 10000 m^3 Elevado: 1 x 1500 m^3	
7. Prestador de serviço	CESAN	
8. Vazão captada	1767 $L.s^{-1}$	
9. Existe monitoramento da qualidade da água da fonte	Sim	
10. Capacidade de Tratamento da ETA (l/s)	2400	
11. Existe rede de distribuição?	Sim	
12. Quais as condições da rede de distribuição?	Boa	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
13. Existem conflitos identificados?	Não
14. Comentários sobre o local e pessoas entrevistadas	Foi perguntado se houve impacto de turbidez na região costeira, e a resposta foi unâmine: não houve impacto. Os entrevistadados são: Cinara Ferreira Bastos, comerciante, tel (27)99965-6261; Roni Lima, comerciante, tel (27) 99867-7828; Wilson Borges Haagensen, pescador, tel (27) 99839-0554, acrescentou ainda que vendeu muita rede de pesca na época; Darlan de Vaz de Jesus, pescador, tel (31) 98776-0816
15. Quanto é cobrado pela água?	R$1,29 a R$9,73/m3
16. Existem observações sobre a qualidade da água ou sobre doenças nos últimos 3 anos?	Não existe
17. Distância do ponto de captação ao mar, ao longo do rio	8,6 km da Baía de Vitória 25,7 km do Mar
18. Nome do rio	Rio Santa Maria da Vitória
19. Local de conexão com o mar	Vitória
20. Bombeamento	6 Conjuntos moto-bomba

Tabela 48. Informações complementares da localidade Nova Almeida.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	DADOS COLETADOS
1. área da bacia hidrográfica da fonte de abastecimento superficial (km²)	1.387,54 km² (área de drenagem da captação)
2. Comprimento do rio principal da bacia de contribuição (km)	Informação disponível no Plano de Bacia
3. Declividade média do rio (m/km)	Informação disponível no Plano de Bacia
4. vazão média de longo período da bacia ($m^3.s^{-1}$)	Informação disponível no Plano de Bacia
5. vazão mínima de 95% da bacia ($m^3.s^{-1}$)	Informação disponível no Plano de Bacia
6. Plano de abastecimento de água	
7. Plano de Saneamento Básico	sim (disponível em: http://www.serra.es.gov.br/site/download/201606-plano-municipal-de-saneamento-de-serra-final-audifax.pdf)
8. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Não
9. Pontos PMQQS ao longo da costa	
10. Dados de maré	Ministério da Marinha
11. Dados hidrológicos	

12. Outorga de direito de uso da água	Sim
13. Cobrança pelo uso da água	Não
14. Enquadramento	Classe II
15. Plano Estadual/Plano de Bacia	Plano Estadual e Plano de Bacia disponível em https://agerh.es.gov.br/cbh-smv
16. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	

Tabela 49. Características do sistema de abastecimento de água de Riacho Doce.

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS	
1. Nome da localidade	RIACHO DOCE	
2. Localização	18°21'7" S	39°40'52" O
3. Quanto tempo opera a coleta de água para abastecimento?	Operação de poços individuais, com profundidades entre 4 e 13 m	
4. Qual é a população atendida?	40	
5. Qual a vazão ou volume de água de abastecimento diário ou mensal?	Consumo individual baixo, cerca de 30 L/pessoa dia	
6. Existe reservatório?	sim,	
7. Se existe qual o volume?	Caixas de 500 l por residência, exceto a pousado do Sr. Celso que possui duas caixas de 5000 l	
8. Existe rede de distribuição ou a distribuição é feita por volumes individuais?	Não	
9. Existe controle da qualidade da água do reservatório?	Não	
10. Existe medida da qualidade da água retirada do manancial?	Não	
11. Existe tratamento da água para entrega a comunidade?	Não	
12. Qual é o aspecto da água retirada do manancial?	Amarelado	
13. Você observou alguma diferença desta água nos últimos três anos?	Embora não tenha sido denotada diferenças nesse período foi identificado queixas quanto ao teor de sal.	
14. Existe alguma reclamação de doença para quem é abastecido ou de qualquer tipo?	Não	
15. Nome da pessoa entrevistada, telefone, endereço, emprego se tiver ou atividade de sobrevivência.	Sinvaldo Fernando de Oliveira; Celso Lacerda Soares (27) 99951-9834 (celsaoriachodoce@hotmail.com); Maria Antonia Rodrigues dos Santos; Iris de Souza; Amauri Rodrigues dos Santos, (27) 99629-866.	
16. Comentários da pessoa entrevistada	Sinvaldo Fernando de Oliveira, 30 anos, diz que não tem caixa d`água nem instalações sanitárias e que sua	

INFORMAÇÕES	DADOS COLETADOS
	família toma banho de bacia. Segundo Sinvaldo, a água está como sempre esteve, ou seja, não houve alteração por causa do rompimento de Mariana; Iris de Souza e Maria Antônia Rodrigues (domésticas) dizem que é difícil lavar as roupas brancas, devido a cor amarela da água de seus poços. Relatam coceira após o banho; Celso Lacerda Soares (proprietário da pousada, possui 1 poço artesiano de 40 que possui água salina e no poço raso 4 m a água é de melhor qualidade; Amauri Rodrigues dos Santos , pescador , afirmou que a água de seu poço é amarelada.
17. Endereço da concessionária de água e responsável pela visita as localidades	A localidade de Riacho Doce pertence ao município de Conceição da Barra, mas não tem nenhuma assistência da CESAN. Durante a visita técnica não houve acompanhamento por parte da CESAN.
18. Relatos de impactos de turbidez na zona costeira	Não foram relatados impactos de turbidez.

ANEXO C. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NA REGIÃO DE ESTUDO.

ID	Código estação	Nome	Estado	Munícipio	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
1	1839000	MORRO D'ANTA (PEDRO CANÁRIO)	ES	Conceição da Barra	CPRM	-18,30	-39,96	1951	2018
2	1839001	CONCEIÇÃO DA BARRA	ES	Conceição da Barra	CPRM	-18,56	-39,75	1930	2019
3	1839002	FAZENDA VIRAÇÃO	ES	Conceição da Barra	ANA	-18,42	-39,72	1958	1982
4	1839004	FAZENDA KLABIN	ES	Pedro Canário	ANA	-18,23	-39,90	1960	1983
5	1839006	BARRA NOVA	ES	São Mateus	CPRM	-18,95	-39,76	1971	2019
6	1839007	FAZENDA CIA PAULISTA (DNOS)	ES	Conceição da Barra	ANA	-18,20	-39,92	1959	1968
7	1839008	SÃO MATEUS	ES	São Mateus	DNOS	-18,72	-39,87	1947	1967
8	1839013	CONCEIÇÃO DA BARRA	ES	Conceição da Barra	INMET	-18,58	-39,73	1930	1968
9	1839020	CONCEIÇÃO DA BARRA	ES	Conceição da Barra	SUDENE	-18,57	-39,73	1999	2000
10	1840000	ÁGUIA BRANCA	ES	Águia Branca	CPRM	-18,99	-40,75	1969	2019
11	1840001	BARRA SECA	ES	São Mateus	ANA	-18,98	-40,13	1947	1977
12	1840002	FAZENDA ALEGRIA	ES	Boa Esperança	ANA	-18,52	-40,32	1947	1990
13	1840003	ITAUNINHAS	ES	São Mateus	CPRM	-18,49	-40,09	1947	2019
14	1840004	BARRA DE SÃO FRANCISCO	ES	Barra de São Francisco	CPRM	-18,76	-40,89	1947	2019
15	1840005	NOVA VENÉCIA	ES	Nova Venécia	ANA	-18,72	-40,42	1947	1976
16	1840006	MUCURICI	ES	Mucurici	ANA	-18,08	-40,58	1969	1994
17	1840007	ÁGUA DOCE	ES	Água Doce do Norte	CPRM	-18,55	-40,98	1959	2019
18	1840008	PONTE NOVA (BR-101)	ES	Linhares	CPRM	-18,98	-39,99	1972	2018
19	1840010	CEDROLÂNDIA	ES	Nova Venécia	CPRM	-18,81	-40,69	1970	2019
20	1840011	COTAXE	ES	Ecoporanga	ANA	-18,19	-40,72	1970	2010
21	1840012	FAZENDA LIMOEIRO	ES	Montanha	CPRM	-18,15	-40,14	1970	2018
22	1840013	ECOPORANGA	ES	Ecoporanga	CPRM	-18,37	-40,84	1970	2019
23	1840014	JOAÇUBA	ES	Ecoporanga	ANA	-18,40	-40,69	1970	1999

ID	Código estação	Nome	Estado	Munícipio	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
24	1840015	PATRIMÔNIO SANTA LUZIA DO NORTE	ES	Ecoporanga	CPRM	-18,21	-40,60	1970	2019
25	1840016	PATRIMÔNIO XV	ES	Nova Venécia	CPRM	-18,49	-40,46	1970	2019
26	1840017	SÃO JOÃO DO SOBRADO	ES	Pinheiros	CPRM	-18,32	-40,41	1970	2019
27	1840019	CÓRREGO DA BOA ESPERANÇA	ES	Nova Venécia	CPRM	-18,70	-40,44	1976	2019
28	1840020	SÃO JOÃO DA CACHOEIRA GRANDE	ES	São Mateus	CPRM	-18,56	-40,34	1981	2019
29	1840021	BARRA DO RIO PRETO	ES	Barra De São Francisco	ANA	-18,69	-40,88	1981	1999
30	1840023	ECOPORANGA	ES	Ecoporanga	INMET	-18,37	-40,87	1979	1998
31	1840026	BOCA DA VALA	ES	São Mateus	CPRM	-18,66	-40,09	1992	2019
32	1840027	PINHEIROS	ES	Pinheiros	IEMA-ES	-18,42	-40,22	1999	2000
33	1840029	PONTO BELO	ES	Ponto Belo	SUDENE	-18,12	-40,53	1999	1999
34	1840030	ÁGUA DOCE DO NORTE	ES	Água Doce do Norte	SUDENE	-18,53	-40,97	1999	2000
35	1840031	VILA PAVÃO	ES	Vila Pavão	SUDENE	-18,62	-40,60	1999	2000
36	1840032	JAGUARÉ	ES	Jaguaré	SUDENE	-18,90	-40,07	1999	2000
37	1840033	VILA VALÉRIO	ES	Vila Valério	SUDENE	-18,98	-40,38	1999	2000
38	1841010	SANTO AGOSTINHO	ES	Barra de São Francisco	CPRM	-18,41	-41,04	1970	2019
39	1939000	REGÊNCIA	ES	Linhares	ANA	-19,62	-39,83	1967	1974
40	1939001	FAZENDA CAPORANGA	ES	Linhares	ANA	-19,52	-39,87	1969	1972
41	1939002	POVOAÇÃO	ES	Linhares	CPRM	-19,58	-39,79	1974	2019
42	1940000	ITARANA	ES	Itarana	CPRM	-19,87	-40,87	1947	2019
43	1940001	SÃO JOÃO DE PETRÓPOLIS	ES	Santa Teresa	CPRM	-19,81	-40,68	1947	2019
44	1940002	SANTA CRUZ - LITORAL	ES	Aracruz	CPRM	-19,96	-40,15	1947	2019
45	1940003	RIACHO	ES	Aracruz	CPRM	-19,75	-40,04	1947	2019
46	1940004	LINHARES CAIS DO PORTO	ES	Linhares	CPRM	-19,42	-40,08	1947	1978
47	1940005	CAVALINHO	ES	Ibiraçu	CPRM	-19,69	-40,40	1948	2019
48	1940006	COLATINA - CORPO DE BOMBEIROS	ES	Colatina	CPRM	-19,53	-40,62	1967	2019
49	1940007	FUNDÃO	ES	Fundão	CPRM	-19,94	-40,40	1948	2019

ID	Código estação	Nome	Estado	Munícipio	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
50	1940008	SANTA MARIA	ES	Colatina	ANA	-19,60	-40,62	1948	1967
51	1940009	PANCAS	ES	Pancas	CPRM	-19,22	-40,85	1957	2019
52	1940010	VALSUGANA VELHA - MONTANTE	ES	Santa Teresa	CPRM	-19,95	-40,55	1956	2019
53	1940011	SÃO GABRIEL DA PALHA	ES	São Gabriel da Palha	ANA	-19,02	-40,57	1971	1983
54	1940012	ITAIMBÉ	ES	Itaguaçu	CPRM	-19,66	-40,84	1957	2019
55	1940013	NOVO BRASIL	ES	Colatina	CPRM	-19,24	-40,59	1969	2019
56	1940014	PEDRA ALEGRE	ES	Itarana	ANA	-19,87	-40,75	1966	1983
57	1940016	BARRA DE SÃO GABRIEL	ES	São Gabriel da Palha	CPRM	-19,06	-40,52	1968	2019
58	1940017	ITAGUAÇU	ES	Itaguaçu	ANA	-19,80	-40,85	1967	1979
59	1940018	SANTA TEREZA - MUSEU DE BIOLOGIA	ES	Santa Teresa	ANA	-19,93	-40,60	1947	1977
60	1940019	MASCARENHAS	ES	Baixo Guandu	ANA	-19,50	-40,90	1970	1983
61	1940020	CALDEIRÃO	ES	Santa Teresa	CPRM	-19,96	-40,74	1970	2019
62	1940021	ARACRUZ	ES	Aracruz	CPRM	-19,83	-40,27	1970	2019
63	1940022	JACUPEMBA	ES	Aracruz	CPRM	-19,59	-40,20	1970	2019
64	1940023	RIO BANANAL	ES	Linhares	CPRM	-19,27	-40,32	1970	2019
65	1940024	SÃO SEBASTIÃO DA TERRA ALTA	ES	Linhares	ANA	-19,43	-40,40	1970	1983
66	1940025	SERRARIA (ALTO DO MOACIR)	ES	Colatina	ANA	-19,30	-40,52	1970	2010
67	1940026	CACHOEIRA DO OITO	ES	Colatina	ANA	-19,47	-40,63	1964	1965
68	1940030	SERRA DO LIMOEIRO	ES	Itaguaçu	ANA	-19,80	-40,83	1952	1954
69	1940031	FAZENDA CONTENDAS	ES	Linhares	CEPLAC	-19,45	-40,20	1970	1978
70	1940033	FAZENDA BOA ESPERANÇA	ES	Colatina	CEPLAC	-19,30	-40,67	1973	1980
71	1940034	ESFIP	ES	Linhares	CEPLAC	-19,40	-40,07	1967	1980
72	1940035	FAZENDA CALIFORNIA (PMA)	ES	Linhares	CEPLAC	-19,40	-40,07	1971	1977
73	1940036	LINHARES (ESTAÇÃO EXPERIMENTAL)	ES	Linhares	INMET	-19,40	-40,07	1970	1998
74	1940039	SANTA TERESA	ES	Santa Teresa	INMET	-19,85	-40,60	1976	1998
75	1940040	FAZENDA TIRA TEIMA (CEPEC)	ES	Linhares	CEPLAC	-19,33	-40,10	1974	1978

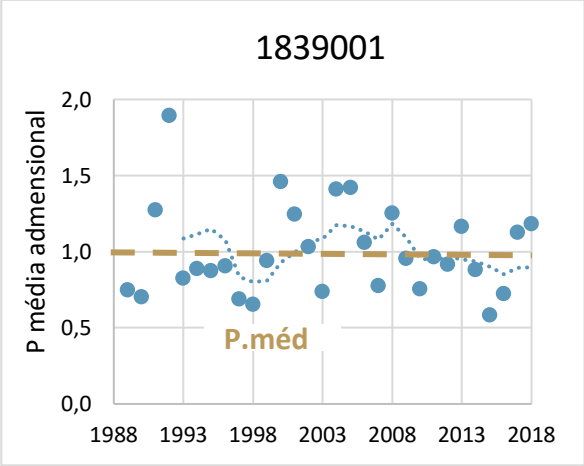
ID	Código estação	Nome	Estado	Munícipio	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
76	1940042	ARACRUZ	ES	Aracruz	INMET	-19,82	-40,25	1976	1997
77	1940043	ITARANA	ES	Itarana	INMET	-19,87	-40,88	1979	1998
78	1940044	MARILÂNDIA (COLATINA)	ES	Colatina	INMET	-19,55	-40,52	1976	2000
79	1940045	SÃO GABRIEL DA PALHA	ES	São Gabriel da Palha	INMET	-19,02	-40,57	1976	1995
80	1940046	SÃO JOÃO DE PETRÓPOLIS	ES	Santa Teresa	INMET	-19,88	-40,68	1988	1998
81	1940047	UHE MASCARENHAS JUSANTE	ES	Colatina	ENERGEST	-19,51	-40,86	2002	2013
82	1940048	SÃO DOMINGOS DO NORTE	ES	São Domingos do Norte	SUDENE	-19,13	-40,62	1999	2000
83	1940049	SOORETAMA	ES	Sooretama	SUDENE	-19,18	-40,08	1999	2000
84	1940050	COLATINA	ES	Colatina	SUDENE	-19,53	-40,63	1999	1999
85	1941003	BAIXO GUANDU	ES	Baixo Guandu	CPRM	-19,53	-41,02	1941	2019
86	1941008	LARANJA DA TERRA	ES	Afonso Cláudio	CPRM	-19,90	-41,06	1947	2019
87	1941009	IBITUBA	ES	Baixo Guandu	CPRM	-19,69	-41,02	1967	2019
88	1941012	ALTO RIO NOVO	ES	Pancas	CPRM	-19,06	-41,03	1970	2019
89	1941023	UHE MASCARENHAS MONTANTE 1	ES	Baixo Guandu	ENERGEST	-19,53	-41,01	2002	2013
90	2040000	DOMINGOS MARTINS (DNOS)	ES	Domingos Martins	ANA	-20,36	-40,66	1947	1999
91	2040001	FAZENDA JUCURUABA	ES	Viana	CPRM	-20,42	-40,49	1951	2019
92	2040002	ALFREDO CHAVES (DNOS)	ES	Alfredo Chaves	ANA	-20,63	-40,75	1947	1980
93	2040003	FAZENDA FONTE LIMPA (DNOS)	ES	Serra	CPRM	-20,19	-40,32	1947	2019
94	2040004	GUARAPARI (DNOS)	ES	Guarapari	CPRM	-20,65	-40,51	1947	2018
95	2040005	ICONHA - MONTANTE	ES	Iconha	CPRM	-20,78	-40,83	1947	2019
96	2040006	USINA PAINEIRAS	ES	Itapemirim	CPRM	-20,95	-40,95	1947	2019
97	2040007	SANTA MARIA DO JETIBÁ	ES	Santa Maria de Jetibá	CPRM	-20,03	-40,74	1947	2019
98	2040008	GARRAFÃO (DNOS)	ES	Santa Leopoldina	CPRM	-20,14	-40,98	1947	2019
99	2040009	ANCHIETA (DNOS)	ES	Anchieta	CPRM	-20,80	-40,66	1948	2019
100	2040010	SANTA LEOPOLDINA	ES	Santa Leopoldina	CPRM	-20,10	-40,53	1949	2019
101	2040011	MATILDE (DNOS)	ES	Alfredo Chaves	CPRM	-20,56	-40,81	1949	2019

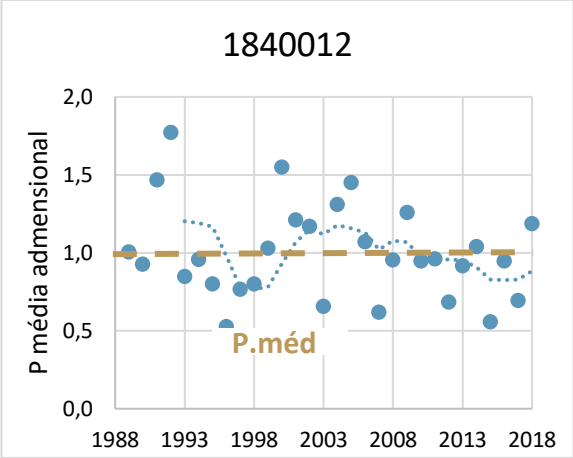
ID	Código estação	Nome	Estado	Munícipio	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
102	2040012	MARECHAL FLORIANO (DNOS)	ES	Domingos Martins	CPRM	-20,41	-40,68	1949	2019
103	2040013	RIO NOVO DO SUL	ES	Rio Novo do Sul	ANA	-20,88	-40,94	1969	2010
104	2040014	DUAS BOCAS (DNOS)	ES	Cariacica	CPRM	-20,26	-40,48	1952	2018
105	2040015	PEROBINHA (DNOS)	ES	Domingos Martins	CPRM	-20,28	-40,78	1971	2017
106	2040016	SÃO TORQUATO (DNOS)	ES	Vila Velha	ANA	-20,33	-40,28	1971	1977
107	2040017	DUAS BARRAS (DNOS)	ES	Iconha	CPRM	-20,73	-40,88	1957	2019
108	2040018	CACHOEIRA SUIÇA (DNOS)	ES	Santa Leopoldina	CPRM	-20,08	-40,61	1959	2019
109	2040019	GRANJA SÃO JERÔNIMO (DNOS)	ES	Domingos Martins	ANA	-20,38	-40,72	1962	1983
110	2040020	VILA NOVA MARAVILHA	ES	Alfredo Chaves	CPRM	-20,59	-40,95	1964	2019
111	2040021	VITÓRIA - BENTO FERREIRA	ES	Vitória	ANA	-20,30	-40,33	1969	1977
112	2040022	PONTA DA FRUTA	ES	Vila Velha	CPRM	-20,52	-40,36	1970	2019
113	2040023	SÃO RAFAEL	ES	Domingos Martins	CPRM	-20,30	-40,93	1970	2019
114	2040026	VITÓRIA (ESCOLA DE ENGENHARIA)	ES	Vitória	DNOS	-20,28	-40,30	1955	1968
115	2040030	VITÓRIA (MARUIPE)	ES	Vitória	DNOS	-20,30	-40,30	1952	1965
116	2040031	SOIDO	ES	Domingos Martins	DNOS	-20,33	-40,72	1963	1968
117	2040035	VITÓRIA	ES	Vitória	INMET	-20,52	-40,52	1925	2017
118	2040038	CÓRREGO DO GALO (DNOS)	ES	Domingos Martins	ANA	-20,30	-40,67	1955	1968
119	2040039	CANAÃ	ES	Viana	ANA	-20,38	-40,45	1977	1999
120	2040042	ALFREDO CHAVES	ES	Alfredo Chaves	INMET	-20,63	-40,75	1979	1998
121	2040045	CÓRREGO DO GALO	ES	Domingos Martins	CPRM	-20,32	-40,65	1999	2019
122	2040046	PCH JUCU JUSANTE	ES	Domingos Martins	EDP	-20,39	-40,56	2002	2013
123	2040047	PCH RIO BONITO MONTANTE 1	ES	Santa Maria de Jetibá	EDP	-20,05	-40,75	2003	2013
124	2040055	PCH RIO BONITO JUSANTE	ES	Santa Maria de Jetibá	EDP	-20,06	-40,62	2010	2013
125	2041000	ATÍLIO VIVACQUA	ES	Atílio Vivacqua	CPRM	-20,91	-41,20	1944	2019
126	2041001	GUAÇUÍ	ES	Guaçuí	CPRM	-20,77	-41,68	1939	2019
127	2041002	CASTELO	ES	Castelo	CPRM	-20,61	-41,20	1939	2019

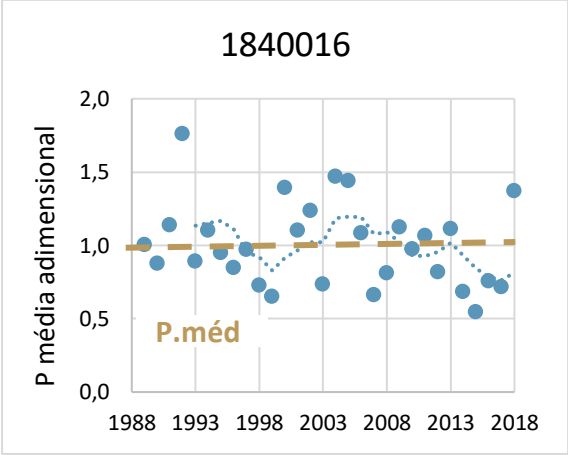
ID	Código estação	Nome	Estado	Munícipio	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
128	2041003	RIVE	ES	Alegre	CPRM	-20,75	-41,47	1939	2018
129	2041004	CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM (DNOS)	ES	Cachoeiro do Itapemirim	ANA	-20,85	-41,10	1939	1972
130	2041010	JACIGUA (DNOS)	ES	Vargem Alta	CPRM	-20,70	-41,02	1947	2019
131	2041011	CONCEIÇÃO DO CASTELO (DNOS)	ES	Conceição do Castelo	CPRM	-20,35	-41,24	1948	2019
132	2041012	MUNIZ FREIRE (DNOS)	ES	Muniz Freire	ANA	-20,45	-41,40	1948	1994
133	2041013	IÚNA	ES	Iúna	CPRM	-20,35	-41,54	1954	2019
134	2041015	FAZENDA MONTE ALEGRE	ES	Muqui	CPRM	-20,94	-41,40	1952	2019
135	2041016	IBITIRAMA	ES	Alegre	CPRM	-20,54	-41,67	1954	2019
136	2041017	SANTA CRUZ - CAPARAÓ	ES	Iúna	CPRM	-20,32	-41,70	1956	2019
137	2041018	USINA FORTALEZA	ES	Muniz Freire	CPRM	-20,37	-41,41	1956	2019
138	2041019	ITAICI	ES	Muniz Freire	CPRM	-20,53	-41,51	1961	2019
139	2041020	ARACE (FAZENDA MODELO)	ES	Domingos Martins	CPRM	-20,37	-41,06	1963	2019
140	2041021	BURARAMA	ES	Cachoeiro do Itapemirim	CPRM	-20,68	-41,35	1964	2019
141	2041022	USINA SÃO MIGUEL	ES	Venda Nova Do Imigrante	ANA	-20,33	-41,12	1941	1965
142	2041023	AFONSO CLAÚDIO - MONTANTE	ES	Afonso Cláudio	CPRM	-20,08	-41,12	1967	2019
143	2041024	TERRA CORRIDA (DNOS)	ES	Muniz Freire	ANA	-20,43	-41,48	1957	1968
144	2041030	IÚNA	ES	Iúna	DNOS	-20,37	-41,53	1948	1965
145	2041031	MUQUI	ES	Muqui	DNOS	-20,97	-41,35	1951	1968
146	2041032	PACOTUBA	ES	Cachoeiro do Itapemirim	DNOS	-20,78	-41,25	1964	1968
147	2041036	ALTO JUCU	ES	Domingos Martins	DNOS	-20,30	-41,10	1952	1968
148	2041045	CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM	ES	Cachoeiro do Itapemirim	INMET	-20,85	-41,10	1928	1991
149	2041047	CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM	ES	Cachoeiro do Itapemirim	DNOS	-20,85	-41,12	1928	1968
150	2041049	ALEGRE	ES	Alegre	INMET	-20,77	-41,47	1975	1997
151	2041050	MUNIZ FREIRE	ES	Muniz Freire	INMET	-20,47	-41,40	1979	1998
152	2041051	VENDA NOVA	ES	Venda Nova do Imigrante	INMET	-20,32	-41,17	1976	1998
153	2041055	PCH SÃO JOÃO JUSANTE	ES	Castelo	EDP	-20,57	-41,24	2002	2013

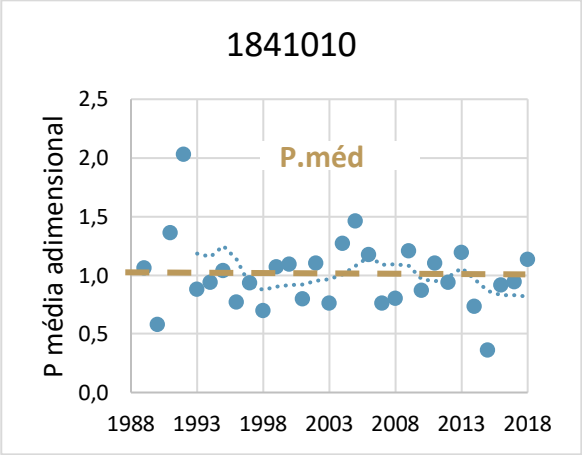
ID	Código estação	Nome	Estado	Munícipio	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
154	2041056	PCH VIÇOSA JUSANTE	ES	Conceição Do Castelo	EDP	-20,41	-41,27	2002	2013
155	2041057	PCH ALEGRE JUSANTE	ES	Alegre	EDP	-20,76	-41,52	2002	2013
156	2041058	PCH FRUTEIRAS JUSANTE	ES	Cachoeiro do Itapemirim	EDP	-20,70	-41,09	2003	2013
157	2041141	SANTA RITA DO PRATA	RJ	Varre-Sai	CPRM	-20,86	-41,74	2017	2019
158	2140000	BARRA DO ITAPEMIRIM (DNOS)	ES	Itapemirim	CPRM	-21,01	-40,84	1947	2019
159	2141014	PONTE DO ITABAPOANA	ES	Mimoso do Sul	CPRM	-21,21	-41,46	1937	2019
160	2141015	MIMOSO DO SUL	ES	Mimoso do Sul	CPRM	-21,06	-41,36	1964	2019
161	2141016	SÃO JOSÉ DO CALÇADO	ES	São José do Calçado	CPRM	-21,02	-41,66	1952	2019
162	2141017	SÃO JOSÉ DAS TORRES	ES	Mimoso do Sul	CPRM	-21,07	-41,24	1969	2019
163	2141098	CESAN	ES	Bom Jesus do Norte	DCES	-21,12	-41,67	2016	2018

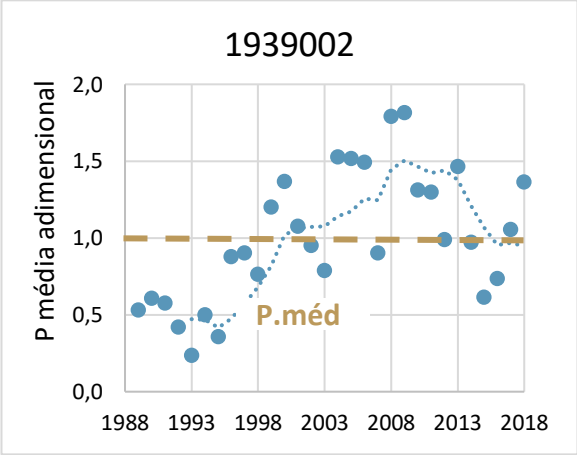
ANEXO D. ANÁLISE INTERANUAL DAS PRECIPITAÇÕES

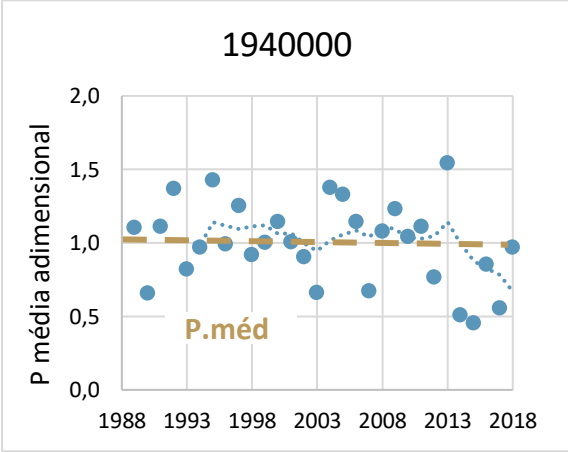


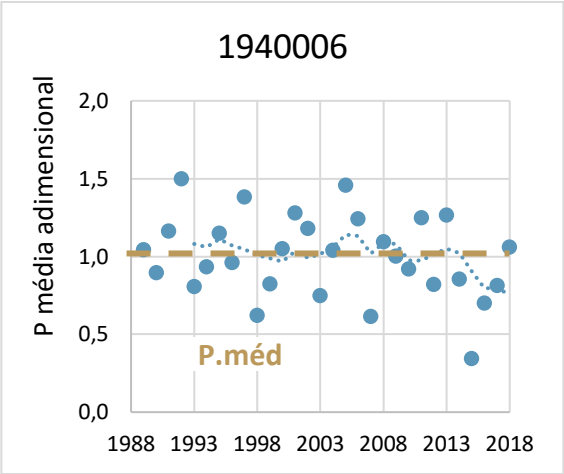


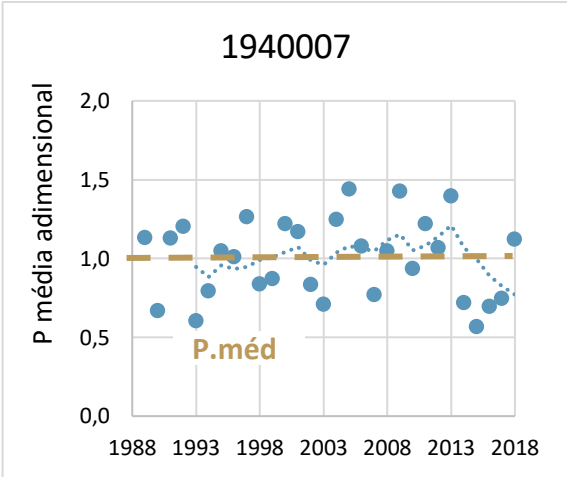


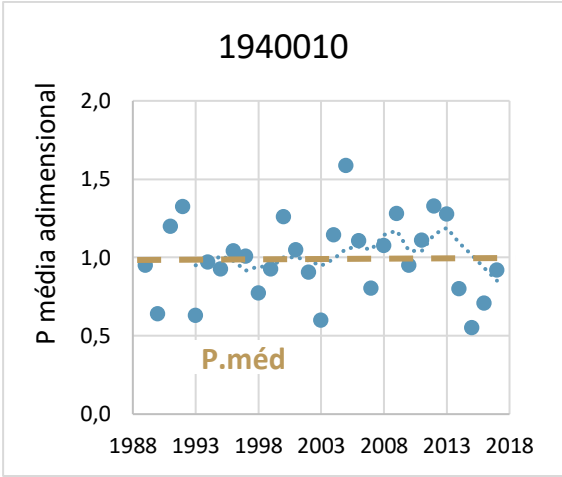


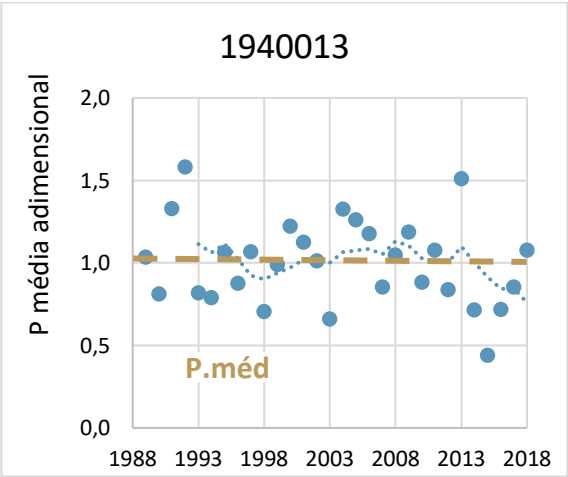


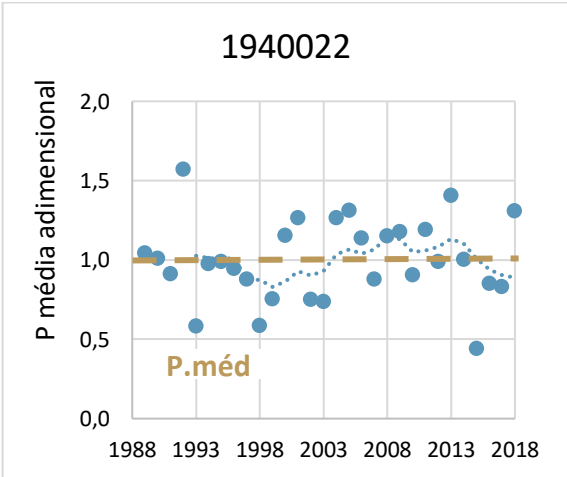


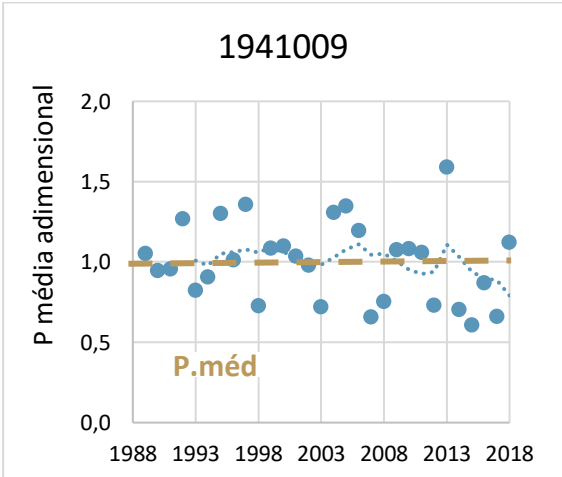

1940006
P média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988 1993 1998 2003 2008 2013 2018

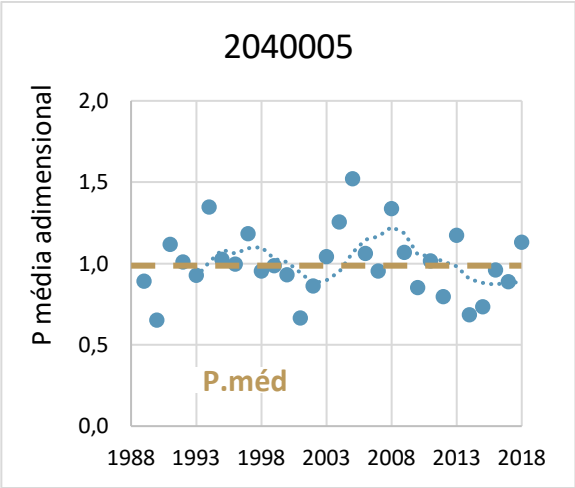

1940007
P média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988 1993 1998 2003 2008 2013 2018

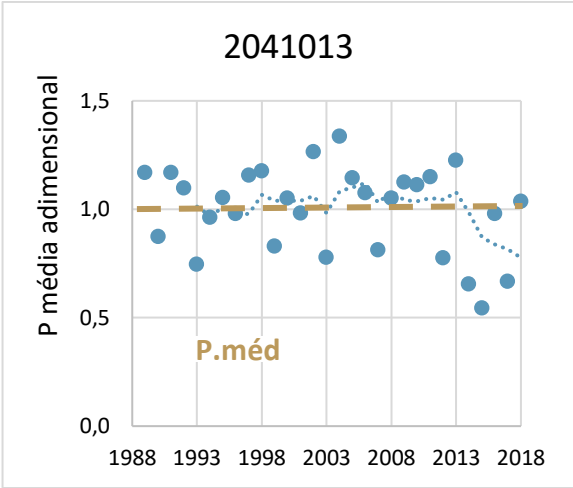

1940010
P média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988 1993 1998 2003 2008 2013 2018

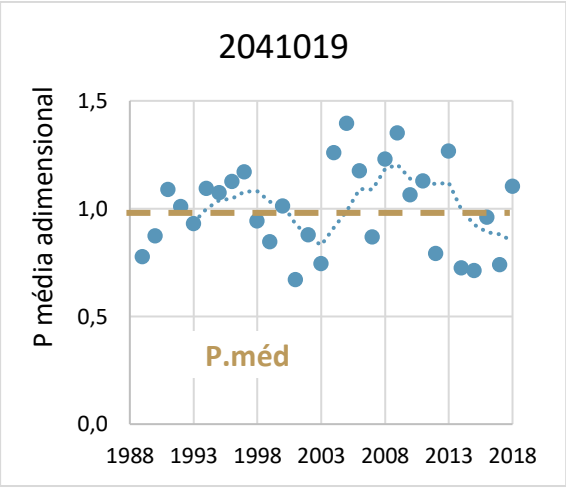

1940013
P média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988 1993 1998 2003 2008 2013 2018

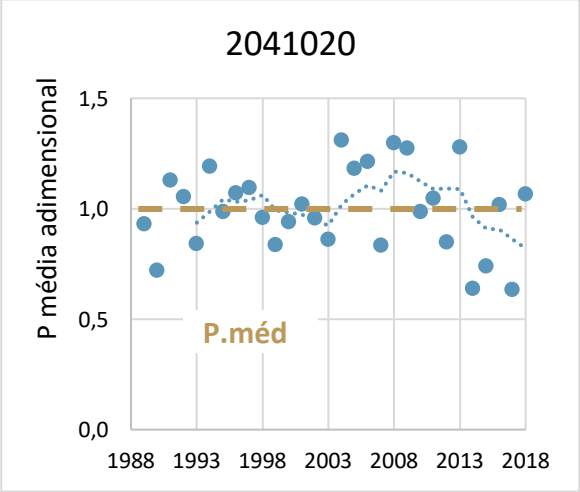

1940022
P média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988 1993 1998 2003 2008 2013 2018


1941009
P média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988 1993 1998 2003 2008 2013 2018


2040005
P média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988
1993
1998
2003
2008
2013
2018


2041013
P média adimensional
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988
1993
1998
2003
2008
2013
2018


2041019
P média adimensional
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988
1993
1998
2003
2008
2013
2018


2041020
P média adimensional
1,5
1,0
0,5
0,0
P.méd
1988
1993
1998
2003
2008
2013
2018

ANEXO E. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS COM DADOS DE COTA IDENTIFICADAS NA REGIÃO DE ESTUDO.

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Área (km²)	Início	Fim
1	55744000	Cristal	Rio Itaúnas	ES	ANA	-18,09	-40,11	1280	2000	2009
2	55746000	Pedro Canário (Estância Pico)	Rio Itaúnas	ES	CPRM	-18,26	-40,03	1670	2000	2017
3	55747000	Itauninhas (BR-101)	Rio Preto ou Itauninha	ES	CPRM	-18,41	-39,94	597	2000	2017
4	55749000	Itaúnas	Rio Itaúnas	ES	DNOS	-18,31	-39,94	2810	1974	1982
5	55750000	Ponte de Itaúnas	Rio Itaúnas	ES	DNOS	-18,31	-39,92	3220	1950	1964
6	55795000	Fazenda Cachoeira Bonita	Rio Dois de Setembro	ES	ANA	-18,32	-40,78	132	2000	2009
7	55800000	Fazenda São Mateus	Rio São Mateus / Braço Norte	MG	CEMIG	-18,13	-40,88	4170	1978	1979
8	55850000	São João da Cachoeira Grande	Rio São Mateus / Braço Norte	ES	CPRM	-18,56	-40,34	6930	1962	2018
9	55895000	Barra do Rio Preto	Rio São Mateus / Braço Sul	ES	ANA	-18,69	-40,88	2500	1962	2009
10	55900000	Barra de São Francisco	Rio São Francisco	ES	CPRM	-18,76	-40,92	214	1967	2018
11	55920000	Córrego da Boa Esperança	Rio São Mateus / Braço Sul	ES	CPRM	-18,70	-40,44	4190	1962	2017
12	55940000	Nova Venécia	Rio São Mateus / Braço Sul	ES	ANA	-18,71	-40,40	4210	1948	1964
13	55960000	Boca da Vala	Rio São Mateus	ES	CPRM	-18,65	-40,09	12000	1973	2018
14	55970000	Fazenda Piaunas	Rio São Mateus	ES	ANA	-18,65	-40,00	12100	1950	1973
15	55971000	Ponte São Mateus	Rio São Mateus	ES	DNOS	-18,71	-39,88	-	1964	1967
16	55990000	Ponte Barra Seca	Rio Barra Seca	ES	DNOS	-18,83	-40,83	-	1963	1967
17	55990200	São Jorge da Barra Seca	Rio Barra Seca	ES	CPRM	-18,85	-40,34	454.5	2000	2018
18	55991000	Lagoa do Cupido	Lagoa do Cupido	ES	DNOS	-19,05	-39,95	-	1963	1974
19	55991500	Ipiranga (Lagoinha)	Rio Ipiranga	ES	DNOS	-19,12	-39,72	-	1963	1980
20	55992000	Suruaca	Lagoa Suruaca	ES	DNOS	-19,14	-39,74	-	1964	1979
21	55993000	Lagoa Zacarias - Sobra	Lagoa Zacarias	ES	DNOS	-19,18	-39,77	-	1964	1981
22	55994000	Fazenda Braizinho	Lagoa do Pau Atravessado	ES	DNOS	-19,32	-39,87	-	1964	1966
23	56990990	Afonso Claúdio Montante	Rio Guandu	ES	CPRM	-20,08	-41,12	435	1977	2018
24	56991000	Afonso Claúdio	Rio Guandu	ES	ANA	-20,07	-41,05	491	1964	1975
25	56991500	Laranja da Terra	Rio Guandu	ES	CPRM	-19,90	-41,06	1330	1966	2018
26	56992000	Baixo Guandu	Rio Guandu	ES	CPRM	-19,52	-41,01	2130	1937	2018
27	56992005	Baixo Guandu	Rio Guandu	ES	DNOS	-19,52	-41,02	2130	1961	1967
28	56992380	UHE Mascarenhas Montante 1	Rio Guandu	ES	ENERGEST	-19,53	-41,01	2130	2001	2012

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Área (km²)	Início	Fim
29	56992480	UHE Mascarenhas Jusante	Rio Doce	ES	ENERGEST	-19,51	-40,86	74000	2001	2012
30	56992500	Barra do Mutum	Rio Mutum Preto	ES	ANA	-19,50	-40,90	215	1951	1964
31	56992700	Mutum Preto	Rio Mutum Preto	ES	ANA	-19,47	-40,89	206	2000	2009
32	56992900	Itarama	Rio Santa Joana	ES	DNOS	-19,88	-40,87	255	1951	1967
33	56993000	Itaguaçu	Rio Santa Joana	ES	ANA	-19,78	-40,85	480	1964	1976
34	56993002	Itaguaçu - Jusante	Rio Santa Joana	ES	ANA	-19,78	-40,85	481	1975	2009
35	56993005	Itaguaçu	Rio Santa Joana	ES	DNOS	-19,80	-40,87	423	1951	1967
36	56993300	Boa Vista	Rio Santa Joana	ES	DNOS	-19,78	-40,87	477	1951	1967
37	56993550	Barra Do Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	ES	ANA	-19,53	-40,73	903	1966	1974
38	56993551	Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	ES	CPRM	-19,56	-40,73	893	1973	2018
39	56993600	Santa Joana	Rio Santa Joana	ES	ANA	-19,55	-40,72	897	1938	1965
40	56994000	Santa Maria	Rio Santa Maria	ES	ANA	-19,58	-40,58	872	1940	1966
41	56994500	Colatina	Rio Doce	ES	CPRM	-19,53	-40,63	76400	1937	2018
42	56994502	Colatina - Jusante	Rio Doce	ES	ANA	-19,53	-40,63	76400	1975	1982
43	56994505	Colatina	Rio Doce	ES	DNOS	-19,53	-40,63	76400	1959	1985
44	56994510	Colatina Corpo de Bombeiros	Rio Doce	ES	CPRM	-19,53	-40,62	76400	1984	2018
45	56995000	Cachoeira do Oito	Rio Pancas	ES	ANA	-19,43	-40,62	1160	1943	1965
46	56995500	Ponte do Pancas	Rio Pancas	ES	CPRM	-19,42	-40,69	920	1964	2018
47	56996000	Vila Verde	Rio São José	ES	ANA	-19,97	-40,88	437	1973	1975
48	56997200	Cachoeira da Onça	Rio São José	ES	DNOS	-19,03	-40,53	1030	1956	1966
49	56998000	Linhares	Rio Doce	ES	ANA	-19,41	-40,06	82100	1937	1993
50	56998005	Linhares	Rio Doce	ES	DNOS	-19,40	-40,08	79600	1959	1967
51	56998100	Linhares	Rio Doce	ES	ANA	-19,42	-40,08	82100	2001	2007
52	56998200	Linhares Cais do Porto	Rio Doce	ES	CPRM	-19,42	-40,08	82100	2002	2018
53	56998400	Barra de São Gabriel	Rio São José	ES	CPRM	-19,04	-40,53	1070	1966	2018
54	56999000	Fazenda Caporanga	Rio Doce	ES	ANA	-19,52	-39,87	82100	1968	1971
55	56999005	Fazenda California	Rio Doce	ES	DNOS	-19,52	-39,87	82100	1964	1967
56	56999050	Lagoa do Martins	Lagoa do Martins	ES	DNOS	-19,52	-39,82	32	1963	1980
57	57040000	Santa Teresa	Rio Timbui	ES	ANA	-19,94	-40,59	43	1955	1968
58	57040002	Santa Teresa	Rio Timbui	ES	DNOS	-19,93	-40,62	27.6	1951	1967
59	57040005	Valsugana Velha	Rio Timbui	ES	ANA	-19,97	-40,53	94	1959	1974
60	57040008	Valsugana Velha Montante	Rio Timbui	ES	CPRM	-19,96	-40,54	88	1982	2018
61	57040010	Valsugana Velha - Jusante	Rio Timbui	ES	ANA	-19,92	-40,53	96	1976	1981

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Área (km²)	Início	Fim
62	57050000	Fazenda Licínio	Rio Timbui	ES	DNOS	-19,95	-40,55	89.5	1951	1951
63	57060000	Cachoeira Santa Lúcia	Rio Timbui	ES	DNOS	-19,97	-40,53	110	1951	1953
64	57080000	Ponte Soanha	Rio Timbui	ES	DNOS	-20,02	-40,42	172	1952	1958
65	57118080	PCH Rio Bonito Montante 1	Rio Santa Maria da Vitória	ES	EDP	-20,05	-40,75	414	2002	2012
66	57119500	PCH Rio Bonito Jusante	Rio Santa Maria da Vitória	ES	EDP	-20,06	-40,62	673	2009	2012
67	57120000	Cachoeira Suiça	Rio Santa Maria da Vitória	ES	ANA	-20,08	-40,58	832	1953	1964
68	57120001	Barragem Da Suiça	Rio Santa Maria da Vitória	ES	DNOS	-20,10	-40,57	898	1953	1964
69	57120080	UHE Suíça Jusante	Rio Santa Maria da Vitória	ES	EDP	-20,10	-40,52	1020	2001	2012
70	57130000	Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória	ES	CPRM	-20,10	-40,53	929	1948	2018
71	57134000	Barra do Mangarai	Rio Mangarai	ES	DNOS	-20,13	-40,43	1130	1950	1967
72	57135000	Estação de Capitania	Rio Santa Maria da Vitória	ES	DNOS	-20,20	-40,37	1460	1945	1966
73	57165000	Ponte do Jucu	Rio Jucu - Braço Norte	ES	IEMA-ES	-20,36	-40,59	1120	1946	1966
74	57170000	Córrego do Galo	Rio Jucu - Braço Norte	ES	CPRM	-20,32	-40,65	980	1954	2018
75	57190000	Marechal Floriano	Rio Jucu - Braço Sul	ES	ANA	-20,41	-40,68	321	1948	1990
76	57200000	PCH Jucu Jusante	Rio Jucu - Braço Sul	ES	EDP	-20,39	-40,56	388	2001	2012
77	57230000	Fazenda Jucuruaba	Rio Jucu	ES	CPRM	-20,42	-40,49	1690	1967	2018
78	57230100	Jabaete	Rio Santo Agostinho	ES	DNOS	-20,38	-40,50	38.3	1951	1964
79	57230500	Jucuruaba	Rio Jucu	ES	DNOS	-20,42	-40,50	1610	1946	1967
80	57230800	Aracatiba	Rio Jucu	ES	DNOS	-20,43	-40,47	1880	1946	1967
81	57230900	Jucupitanga	Rio Jucu	ES	DNOS	-20,42	-40,40	1920	1950	1964
82	57231000	Jaguaraçu	Rio Jucu	ES	DNOS	-20,40	-40,38	99.5	1949	1963
83	57231400	Caçaroca	Rio Jucu	ES	DNOS	-20,41	-40,37	1940	1949	1958
84	57235000	Formate	Rio Formate	ES	IEMA-ES	-20,38	-40,40	91.5	1949	1965
85	57240000	Marinho (Caçaroca)	Rio Marinho	ES	DNOS	-20,37	-40,37	2.3	1949	1965
86	57240002	Fazenda Santa Catarina	Rio Marinho	ES	DNOS	-20,38	-40,37	-	1953	1964
87	57245000	Vala Dos Neves (Jacupitanga)	Rio Vala do Neves	ES	DNOS	-20,42	-40,38	-	1953	1962
88	57250000	Matilde	Rio Benevente	ES	CPRM	-20,56	-40,81	206	1948	2018
89	57260000	ES-146 - Alfredo Chaves	Rio Benevente	ES	IEMA-ES	-20,65	-40,75	596	1967	1979
90	57270005	Jabaquara	Rio Benevente	ES	DNOS	-20,72	-40,67	887	1947	1966
91	57280000	Ponte Salinas	Rio Salinas	ES	DNOS	-20,75	-40,65	56.9	1946	1964
92	57290000	Fazenda Baixo Pongal	Rio Pongal	ES	DNOS	-20,77	-40,67	61.7	1962	1967
93	57300000	Pau D'alho	Rio Novo	ES	CPRM	-20,89	-40,95	304	1955	2017
94	57300500	Ponte Rio Novo	Rio Novo	ES	DNOS	-20,81	-40,98	226	1947	1964

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Área (km²)	Início	Fim
95	57302000	Itaputanga	Rio Novo	ES	DNOS	-20,80	-40,78	169	1947	1958
96	57320000	Iconha Montante	Rio Iconha	ES	CPRM	-20,78	-40,83	152	1940	2018
97	57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	-20,37	-41,41	205	1967	2018
98	57360000	Iúna	Rio Pardo	ES	CPRM	-20,35	-41,53	412	1951	2018
99	57370000	Terra Corrida Montante	Rio Pardo	ES	CPRM	-20,43	-41,50	566	1967	2018
100	57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	-20,53	-41,51	1010	1960	2018
101	57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	ES	CPRM	-20,54	-41,67	337	1951	2018
102	57440000	PCH Alegre Jusante	Rio Alegre	ES	EDP	-20,76	-41,52	180	2001	2012
103	57450000	Rive	Rio Itapemirim	ES	CPRM	-20,75	-41,47	2180	1934	2017
104	57460000	Pacotuba	Rio Itapemirim	ES	ANA	-20,76	-41,27	2720	1983	2009
105	57472000	Valão	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,87	-41,13	6.4	1955	1964
106	57474000	PCH Viçosa Jusante	Rio Castelo	ES	EDP	-20,41	-41,27	351	2001	2012
107	57476500	Fazenda Lajinha	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,43	-41,28	410	1983	2018
108	57477000	Laginha	Rio Castelo	ES	DNOS	-20,42	-41,28	66.6	1956	1967
109	57480000	PCH São João Jusante	Rio Castelo	ES	EDP	-20,57	-41,24	718	2001	2012
110	57490000	Castelo	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,61	-41,20	972	1936	2018
111	57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,70	-41,17	1420	1967	2018
112	57552000	PCH Fruteiras Jusante	Rio Fruteira	ES	EDP	-20,70	-41,09	215	2002	2012
113	57555000	Coutinho	Rio Itapemirim	ES	ANA	-20,76	-41,17	4510	1956	2009
114	57560000	Cachoeiro do Itapemirim	Rio Itapemirim	ES	ANA	-20,87	-41,10	4890	1934	1979
115	57560100	Fazenda União	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,85	-41,10	4880	1957	1964
116	57560200	Fazenda Vista Alegre	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,87	-41,10	4920	1957	1964
117	57570000	Safra	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,90	-41,10	4950	1946	1967
118	57571000	Fazenda Ouvidor	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,93	-41,03	5040	1961	1964
119	57571100	Fazenda Ribeira de Cima	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,93	-40,98	5110	1961	1964
120	57571200	Fazenda Airizes	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,95	-40,98	5110	1961	1964
121	57571300	Fazenda Poço Grande	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,92	-40,98	5100	1961	1964
122	57571400	Fazenda Coqueiro	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,96	-40,98	5150	1961	1964
123	57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim	ES	CPRM	-20,95	-40,95	5170	1967	2018
124	57583000	Barra Seca	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-20,98	-40,88	5210	1956	1964
125	57585000	Fazenda da Lancha	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-21,00	-40,87	5220	1956	1964
126	57587000	Coroa da Onça	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-21,02	-40,85	5220	1956	1969
127	57590000	Barra do Itapemirim	Rio Itapemirim	ES	DNOS	-21,02	-40,83	5900	1972	1980

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Área (km²)	Início	Fim
128	57610000	Fazenda da Glória	Rio Muqui do Norte	ES	DNOS	-21,02	-41,12	462	1946	1967
129	57620000	Muqui	Rio Muqui do Norte	ES	DNOS	-20,97	-41,35	18.6	1950	1951
130	57630000	Atílio Vivacqua	Rio Muqui do Norte	ES	ANA	-20,91	-41,19	286	1934	1979
131	57650000	Fazenda Cacheta	Rio Muqui do Norte	ES	CPRM	-21,02	-41,09	478	1983	2018
132	57660000	Ponte Paraíso	Rio Muqui do Norte	ES	DNOS	-21,00	-40,93	591	1951	1967
133	57665000	Caixa D'água Muqui	Rio Muqui do Norte	ES	DNOS	-21,02	-40,90	637	1956	1964
134	57680000	Canal do Pinto	Canal do Pinto ou Córrego Comporta	ES	DNOS	-20,97	-40,82	-	1947	1953
135	57725000	Divisa	Rio Preto	ES	DNOS	-20,69	-41,85	222	1959	1964
136	57740000	Guaçuí	Rio do Veado	ES	CPRM	-20,77	-41,68	408	1936	2018
137	57750000	Santa Rita do Prata	Rio Itabapoana	RJ	CPRM	-20,86	-41,74	1598	2016	2018
138	57770000	São José do Calçado	Rio Calçado	ES	CPRM	-21,03	-41,65	153	1951	2018
139	57880000	Mimoso do Sul	Rio Muqui do Sul	ES	CPRM	-21,06	-41,36	365	1952	2018
140	57880005	Biquinha	Rio Muqui do Sul	ES	DNOS	-21,07	-41,37	305	1952	1964
141	57890000	Caixa D'água - Mimoso do Sul	Rio Muqui do Sul	ES	DNOS	-21,07	-41,36	371	1952	1964
142	57900000	Inhuma	Rio Muqui do Sul	ES	DNOS	-21,13	-41,33	444	1964	1964
143	57930000	Santa Cruz	Rio Itabapoana	ES	CPRM	-21,22	-41,31	3620	1956	2017
144	57940000	Barra dos Guarulhos	Rio Itabapoana	ES	DNOS	-21,23	-41,17	4170	1964	1964
145	57950000	Fazenda Júlio Rocha	Rio Preto	ES	DNOS	-21,15	-41,20	156	1949	1967

ANEXO F. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS COM DADOS DE VAZÃO IDENTIFICADAS NA REGIÃO DE ESTUDO.

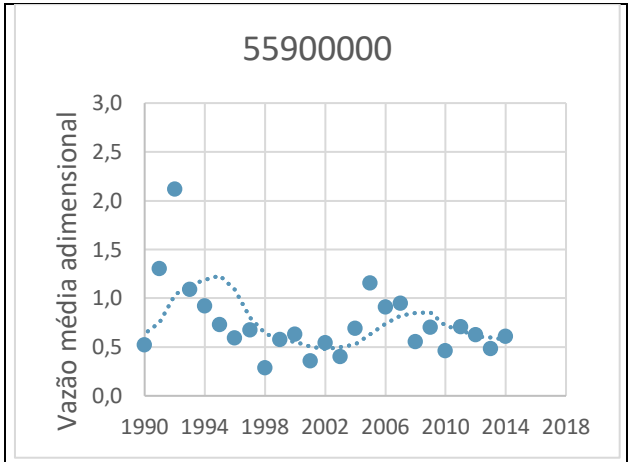
ID	Código Estação	Nome	Rio	UF	Operadora	Lat.	Long.	Área (km²)	Qmlp (m³/s)	Q7,10 (m³/s)	Q95 (m³/s)	Qesp (l/s/km²)	Curva-Chave	Ínicio	Fim
1	55744000	Cristal	Rio Itaúnas	ES	ANA	-18,09	-40,11	1280,0	8,4	1,4	3,1	6,6	Sim	2001	2010
2	55746000	Pedro Canário (Estância Pico)	Rio Itaúnas	ES	CPRM	-18,26	-40,03	1670,0	11,1	0,6	1,8	6,6	Sim	2001	2018
3	55747000	Itauninhas (BR-101)	Rio Preto ou Itauninha	ES	CPRM	-18,41	-39,94	597,0	4,6	0,001	0,02	7,7	Sim	2001	2018
4	55795000	Fazenda Cachoeira Bonita	Rio Dois de Setembro	ES	ANA	-18,32	-40,78	132,0	2,1	0,2	0,4	16,2	Sim	2001	2010
5	55800005	Fazenda São Mateus	Rio São Mateus / Braço Norte	ES	CPRM	-18,12	-40,88	4170,0	20,8	0,5	1,7	5,0	Sim	1963	2019
6	55850000	São João da Cachoeira Grande	Rio São Mateus / Braço Norte	ES	CPRM	-18,56	-40,34	6930,0	38,5	0,4	3,1	5,6	Sim	1963	2019
7	55895000	Barra do Rio Preto	Rio São Mateus / Braço Sul	ES	ANA	-18,69	-40,88	2500,0	18,9	1,7	3,2	3,1	Sim	1963	2010
8	55900000	Barra de São Francisco	Rio São Francisco	ES	CPRM	-18,76	-40,92	214,0	2,5	0,2	0,4	11,7	Sim	1968	2019
9	55920000	Córrego da Boa Esperança	Rio São Mateus / Braço Sul	ES	CPRM	-18,70	-40,44	4190,0	32,2	2,0	4,2	7,7	Sim	1963	2018
10	55960000	Boca da Vala	Rio São Mateus	ES	CPRM	-18,65	-40,09	12000,0	77,7	2,0	8,2	6,5	Sim	1974	2019
11	55970000	Fazenda Piaunas	Rio São Mateus	ES	ANA	-18,65	-40,00	12100,0	26,9	5,7	3,1	9,0	Não	1952	1974
12	55990200	São Jorge da Barra Seca	Rio Barra Seca	ES	CPRM	-18,85	-40,34	454,5	3,3	26,9	0,03	7,3	Sim	2001	2019
13	56990990	Afonso Claúdio Montante	Rio Guandu	ES	CPRM	-20,08	-41,12	435,0	6,4	1,0	1,5	14,6	Sim	1978	2019
14	56991000	Afonso Claúdio	Rio Guandu	ES	ANA	-20,07	-41,05	491,0	5,6	1,2	1,5	11,4	Sim	1965	1976
15	56991500	Laranja da Terra	Rio Guandu	ES	CPRM	-19,90	-41,06	1330,0	16,1	3,1	4,3	12,1	Sim	1967	2019
16	56992000	Baixo Guandu	Rio Guandu	ES	CPRM	-19,52	-41,01	2130,0	21,1	4,3	5,9	9,9	Sim	1938	2019
17	56992400	UHE Mascarenhas Barramento	Rio Doce	ES	ENERGEST	-19,50	-40,92	73700,0	722,3	195,0	253,0	9,8	Não	1995	2015

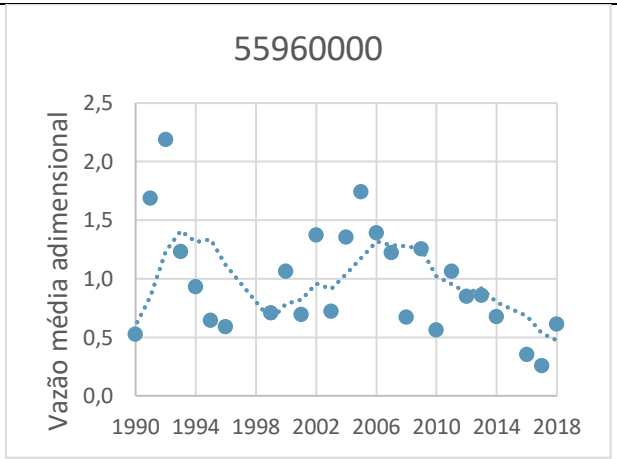
ID	Código Estação	Nome	Rio	UF	Operadora	Lat.	Long.	Área (km²)	Qmlp (m³/s)	Q7,10 (m³/s)	Q95 (m³/s)	Qesp (l/s/km²)	Curva-Chave	Ínicio	Fim
18	56992500	Barra do Mutum	Rio Mutum Preto	ES	ANA	-19,50	-40,90	215,0	1,7	0,3	0,5	7,8	Sim	1952	1965
19	56993000	Itaguaçu	Rio Santa Joana	ES	ANA	-19,78	-40,85	480,0	3,6	0,5	0,9	7,4	Sim	1965	1977
20	56993002	Itaguaçu - Jusante	Rio Santa Joana	ES	ANA	-19,78	-40,85	481,0	6,3	0,2	1,0	13,2	Sim	1976	2010
21	56993551	Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	ES	CPRM	-19,56	-40,73	893,0	8,0	0,2	0,7	8,9	Sim	1974	2019
22	56993600	Santa Joana	Rio Santa Joana	ES	ANA	-19,55	-40,72	897,0	7,7	1,1	1,6	8,6	Sim	1939	1965
23	56994000	Santa Maria	Rio Santa Maria	ES	ANA	-19,58	-40,58	872,0	6,4	0,1	0,5	7,3	Sim	1941	1967
24	56994500	Colatina	Rio Doce	ES	CPRM	-19,53	-40,63	76400,0	868,1	218,1	279,4	11,4	Sim	1938	2019
25	56994502	Colatina - Jusante	Rio Doce	ES	ANA	-19,53	-40,63	76400,0	1083,9	341,7	410,7	14,2	Sim	1976	1983
26	56994510	Colatina Corpo de Bombeiros	Rio Doce	ES	CPRM	-19,53	-40,62	76400,0	902,1	453,3	500,2	11,8	Sim	1985	2015
27	56995000	Cachoeira do Oito	Rio Pancas	ES	ANA	-19,43	-40,62	1160,0	7,3	0,01	0,2	6,3	Sim	1944	1966
28	56995500	Ponte do Pancas	Rio Pancas	ES	CPRM	-19,42	-40,69	920,0	10,1	0,3	1,1	11,0	Sim	1965	2019
29	56998000	Linhares	Rio Doce	ES	ANA	-19,41	-40,06	82100,0	984,1	275,7	334,2	12,0	Sim	1967	1993
31	56998400	Barra de São Gabriel	Rio São José	ES	CPRM	-19,04	-40,53	1070,0	13,8	0,6	1,9	12,9	Sim	1967	2019
32	57040000	Santa Teresa	Rio Timbui	ES	ANA	-19,94	-40,59	43,0	1,9	0,4	0,5	44,7	Não	1956	1969
33	57040005	Valsugana Velha	Rio Timbui	ES	ANA	-19,97	-40,53	94,0	4,2	0,4	0,5	44,4	Não	1960	1973
34	57040008	Valsugana Velha Montante	Rio Timbui	ES	CPRM	-19,96	-40,54	88,0	1,8	0,1	0,4	20,4	Sim	1983	2019
35	57040010	Valsugana Velha - Jusante	Rio Timbui	ES	ANA	-19,92	-40,53	96,0	2,4	0,4	0,7	25,0	Não	1977	1982
36	57120000	Cachoeira Suiça	Rio Santa Maria da Vitória	ES	ANA	-20,08	-40,58	832,0	16,8	2,8	4,0	20,2	Não	1954	1965
37	57130000	Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória	ES	CPRM	-20,10	-40,53	929,0	13,8	1,2	2,9	14,8	Sim	1949	2019
38	57170000	Córrego do Galo	Rio Jucu - Braço Norte	ES	CPRM	-20,32	-40,65	980,0	13,3	4,2	5,1	13,5	Sim	1955	2019

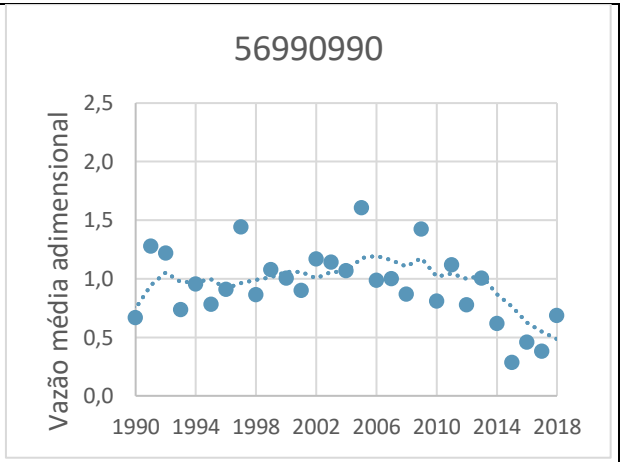
ID	Código Estação	Nome	Rio	UF	Operadora	Lat.	Long.	Área (km²)	Qmlp (m³/s)	Q7,10 (m³/s)	Q95 (m³/s)	Qesp (l/s/km²)	Curva-Chave	Ínicio	Fim
39	57190000	Marechal Floriano	Rio Jucu - Braço Sul	ES	ANA	-20,41	-40,68	321,0	6,6	2,6	3,0	20,5	Sim	1949	1990
40	57230000	Fazenda Jucuruaba	Rio Jucu	ES	CPRM	-20,42	-40,49	1690,0	25,2	8,6	9,6	14,9	Sim	1968	2019
41	57250000	Matilde	Rio Benevente	ES	CPRM	-20,56	-40,81	206,0	5,2	1,8	2,2	25,4	Sim	1949	2019
42	57300000	Pau d'alho	Rio Novo	ES	CPRM	-20,89	-40,95	304,0	7,2	1,6	2,2	23,8	Sim	1971	2018
43	57320000	Iconha Montante	Rio Iconha	ES	CPRM	-20,78	-40,83	152,0	4,6	0,6	1,3	30,4	Sim	1969	2019
44	57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	-20,37	-41,41	205,0	4,4	0,7	0,9	21,6	Sim	1968	2019
45	57360000	Iúna	Rio Pardo	ES	CPRM	-20,35	-41,53	412,0	7,1	1,9	2,3	17,2	Sim	1952	2019
46	57370000	Terra Corrida Montante	Rio Pardo	ES	CPRM	-20,43	-41,50	566,0	10,3	2,8	3,6	18,2	Sim	1968	2019
47	57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	-20,53	-41,51	1010,0	17,6	4,0	5,3	17,4	Sim	1961	2019
48	57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	ES	CPRM	-20,54	-41,67	337,0	12,2	1,7	2,3	36,2	Sim	1952	2019
49	57450000	Rive	Rio Itapemirim	ES	CPRM	-20,75	-41,47	2180,0	42,8	7,8	11,0	19,6	Sim	1935	2018
50	57460000	Pacotuba	Rio Itapemirim	ES	ANA	-20,76	-41,27	2720,0	48,3	8,4	12,4	17,8	Sim	1984	2010
51	57476500	Fazenda Lajinha	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,43	-41,28	410,0	7,3	0,8	1,4	17,8	Sim	1984	2019
52	57490000	Castelo	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,61	-41,20	972,0	14,9	2,1	3,5	15,3	Sim	1937	2019
53	57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,70	-41,17	1420,0	23,1	4,7	6,9	16,3	Sim	1968	2019
54	57555000	Coutinho	Rio Itapemirim	ES	ANA	-20,76	-41,17	4510,0	76,7	14,0	20,4	17,0	Sim	1969	2010
55	57560000	Cachoeira do Itapemirim	Rio Itapemirim	ES	ANA	-20,87	-41,10	4890,0	75,4	11,9	19,5	15,4	Sim	1935	1980
56	57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim	ES	CPRM	-20,95	-40,95	5170,0	83,6	15,9	22,8	16,2	Sim	1971	2019
57	57630000	Atílio Vivacqua	Rio Muqui do Norte	ES	ANA	-20,91	-41,19	286,0	3,4	0,4	0,8	11,7	Sim	1935	1980
58	57650000	Fazenda Cacheta	Rio Muqui do Norte	ES	CPRM	-21,02	-41,09	478,0	5,4	0,4	1,0	11,4	Sim	1984	2019
59	57740000	Guaçuí	Rio do Veado	ES	CPRM	-20,77	-41,68	408,0	10,2	2,0	3,1	25,0	Sim	1937	2019

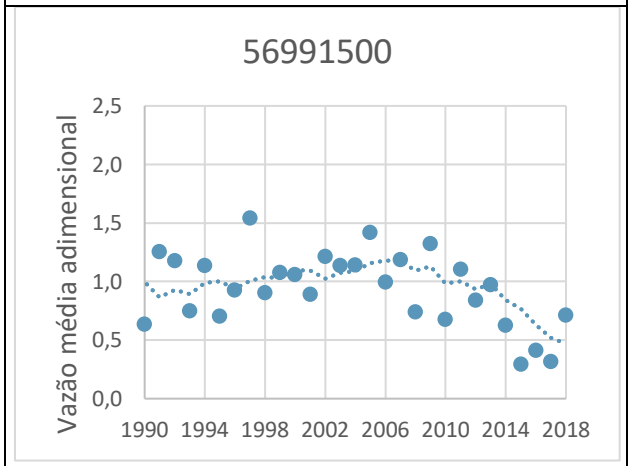
ID	Código Estação	Nome	Rio	UF	Operadora	Lat.	Long.	Área (km²)	Qmlp (m³/s)	Q7,10 (m³/s)	Q95 (m³/s)	Qesp (l/s/km²)	Curva-Chave	Ínicio	Fim
60	57760080	UHE Rosal	Rio Itabapoana	RJ	ELETROBRÁS	-20,92	-41,72	1760,0	37,6	8,7	11,0	21,4	Não	2000	2004
61	57770000	São José do Calçado	Rio Calçado	ES	CPRM	-21,03	-41,65	153,0	2,0	0,1	0,4	13,3	Sim	1952	2019
62	57880000	Mimoso do Sul	Rio Muqui do Sul	ES	CPRM	-21,06	-41,36	365,0	7,3	1,7	2,5	20,1	Sim	1968	2019
63	57930000	Santa Cruz	Rio Itabapoana	ES	CPRM	-21,22	-41,31	3620,0	59,1	13,0	17,0	16,3	Sim	1957	2018

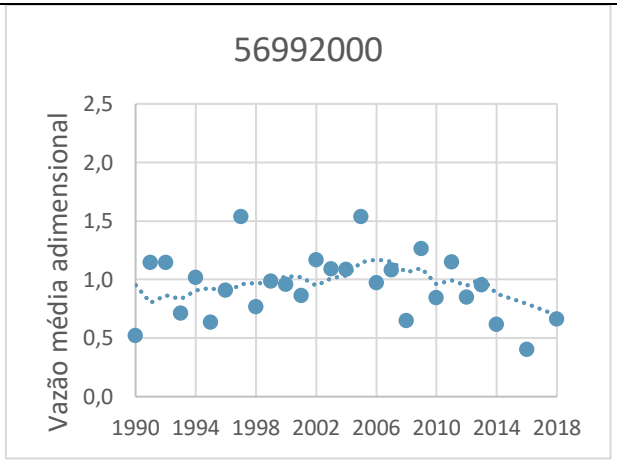
ANEXO G. ANÁLISE INTERANUAL DAS VAZÕES

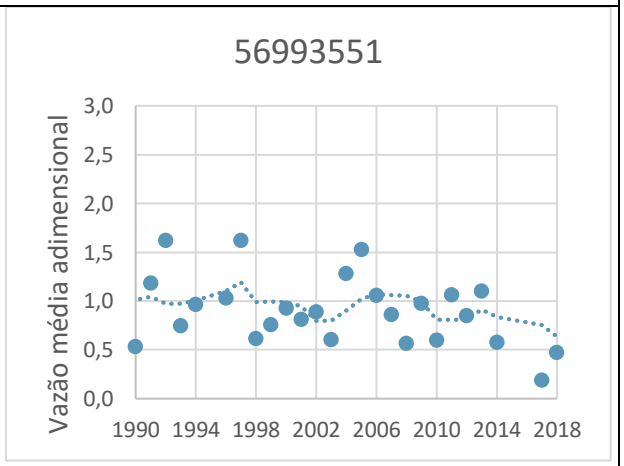


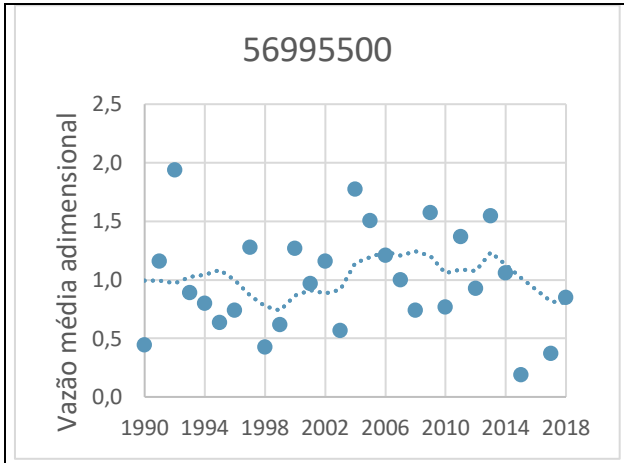


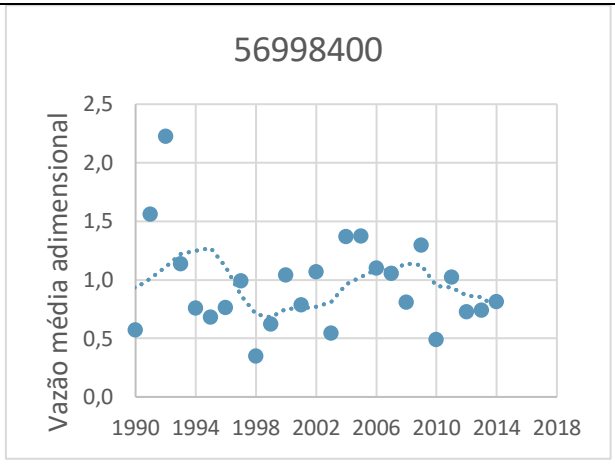


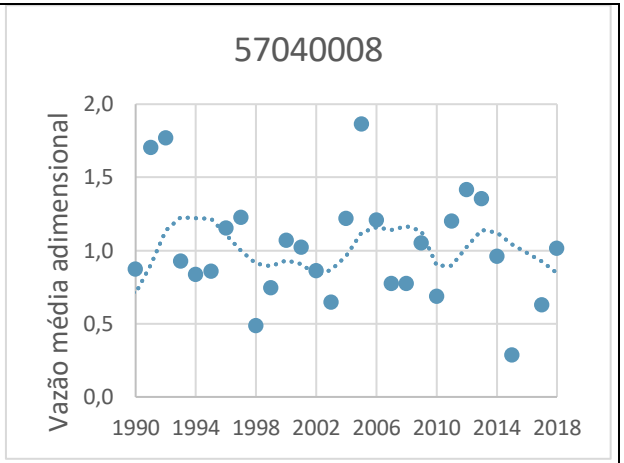


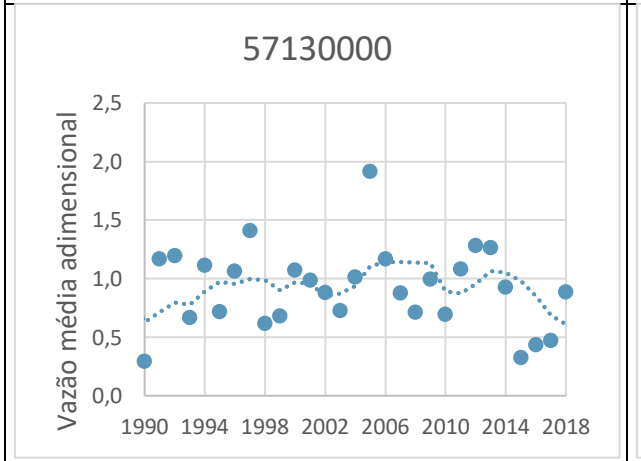


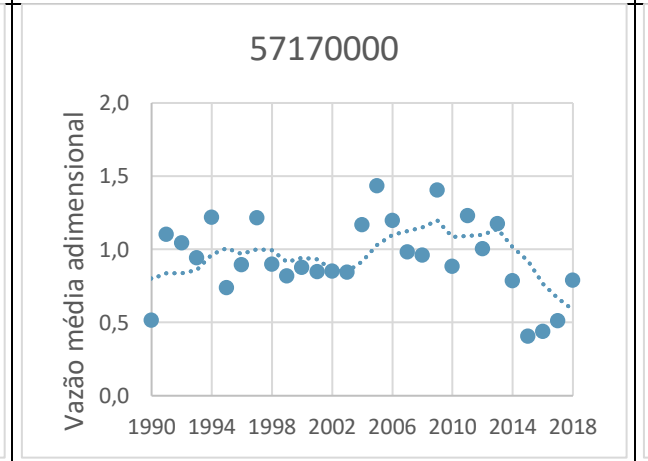


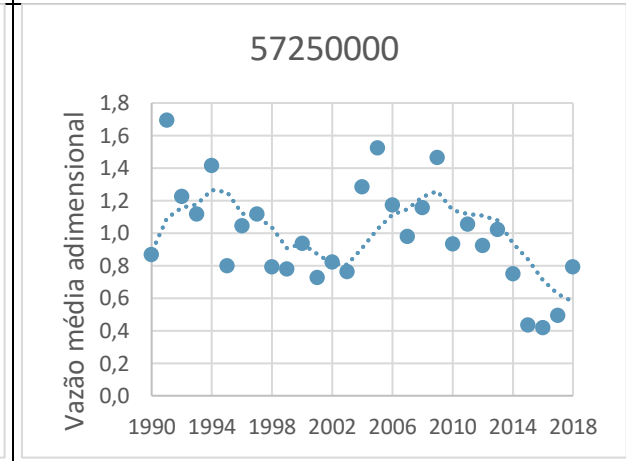

56995500
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

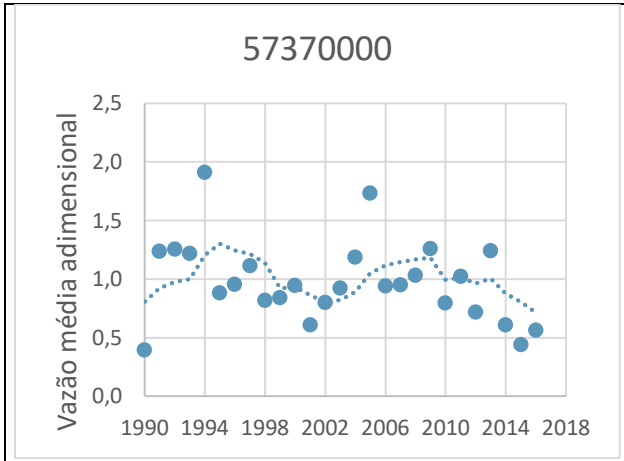

56998400
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

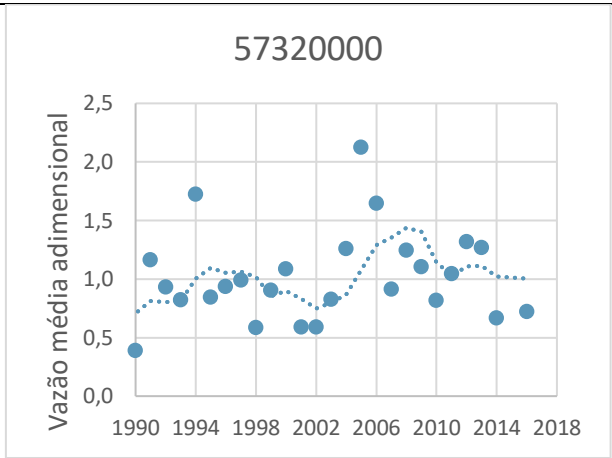

57040008
Vazão média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

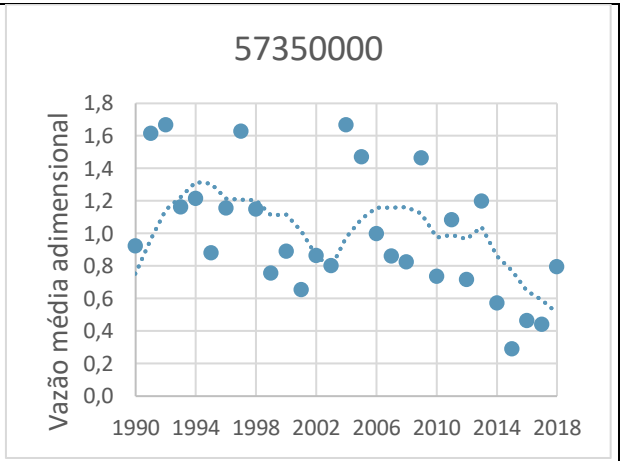

57130000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

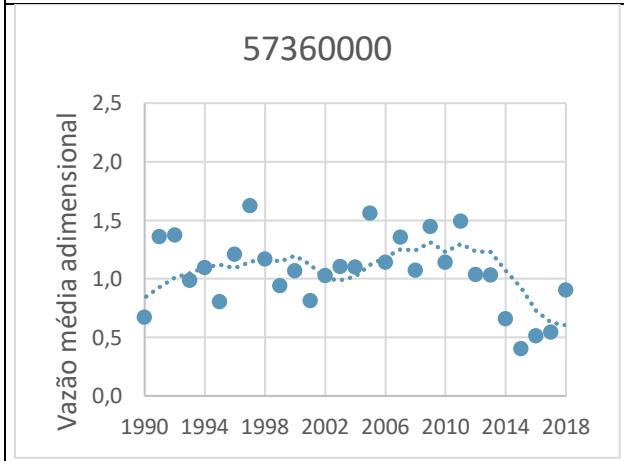

57170000
Vazão média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

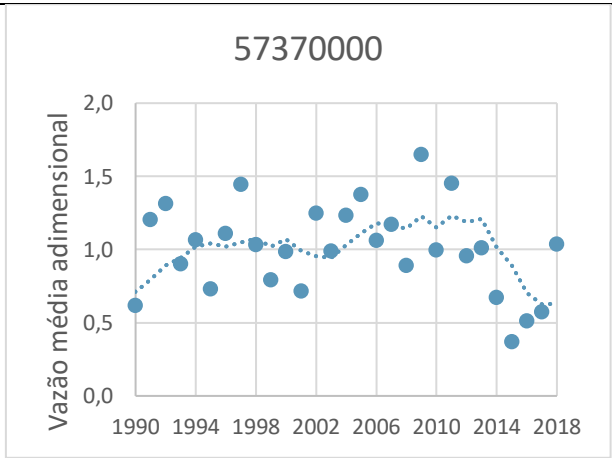

57250000
Vazão média adimensional
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

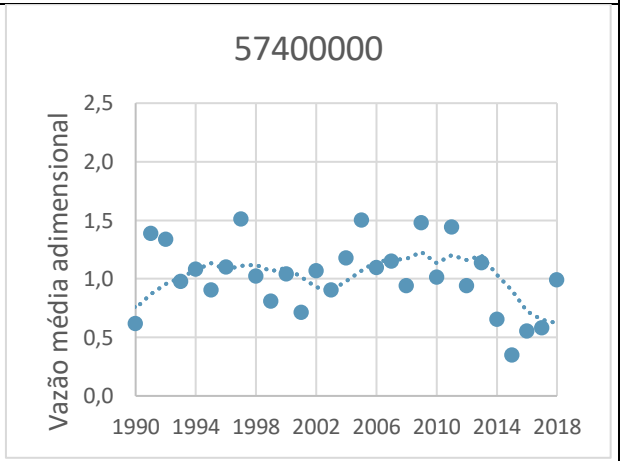

57370000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

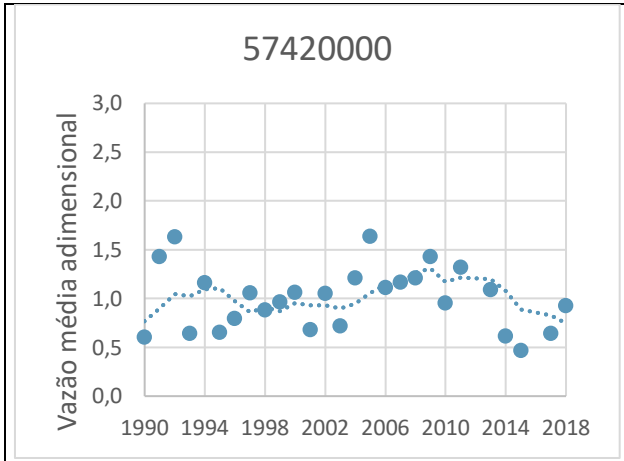

57320000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

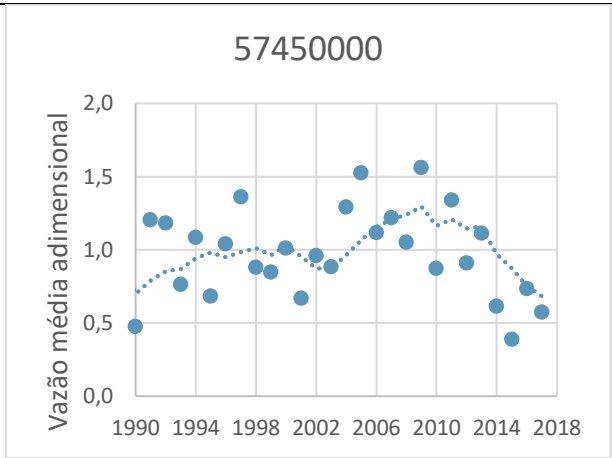

57350000
Vazão média adimensional
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

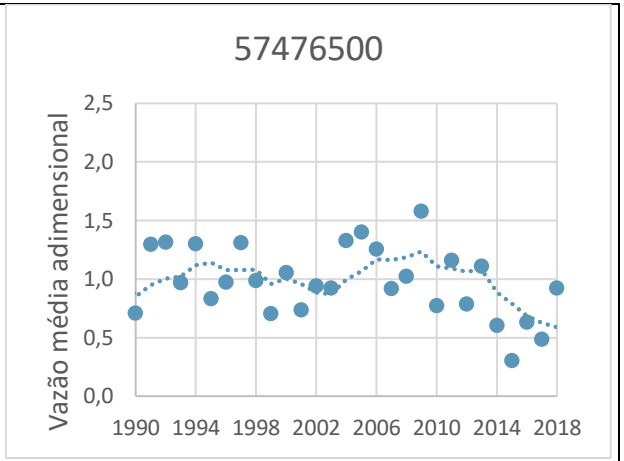

57360000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

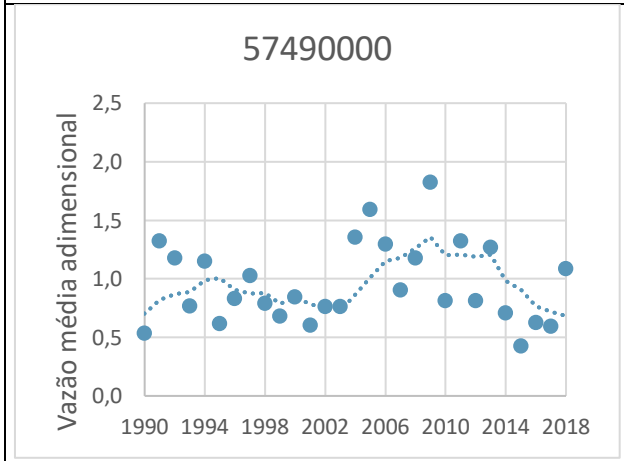

57370000
Vazão média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

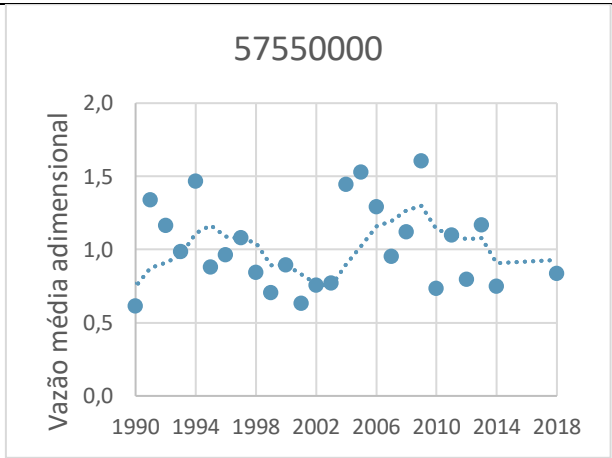

57400000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

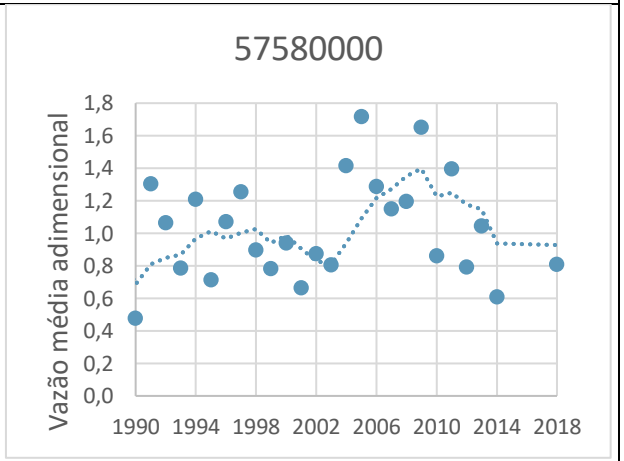

57420000
Vazão média adimensional
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

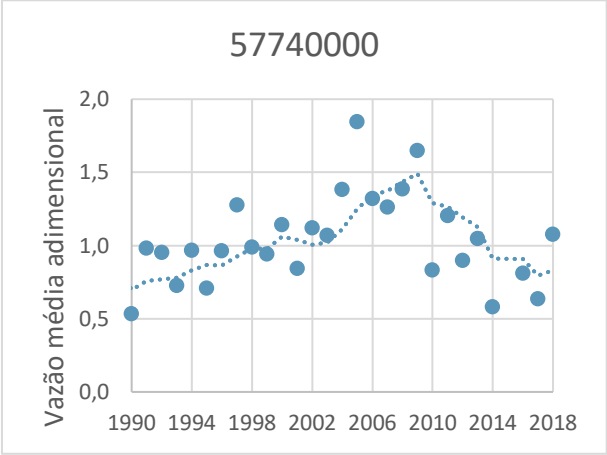

57450000
Vazão média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

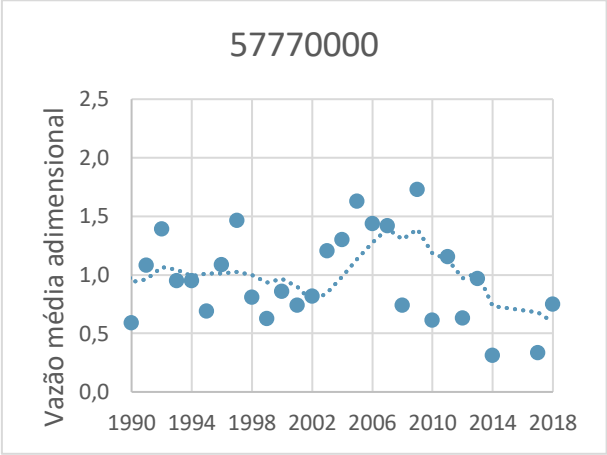

57476500
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

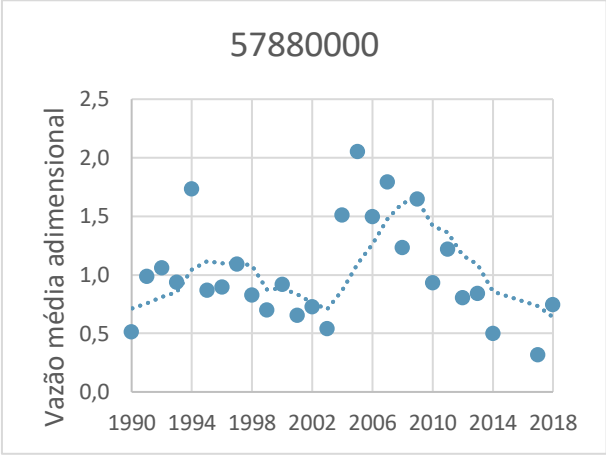

57490000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

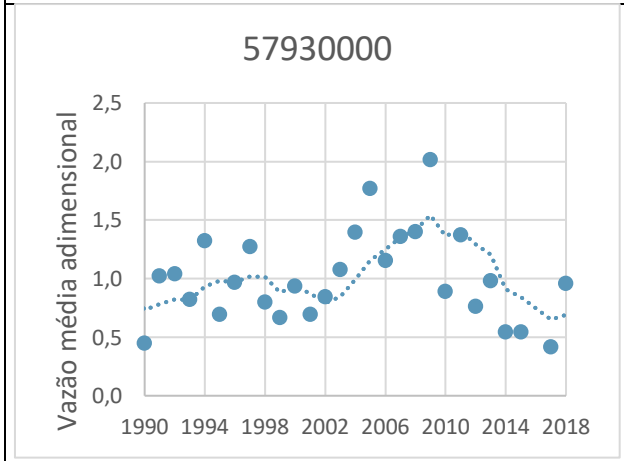

57550000
Vazão média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018


57580000
Vazão média adimensional
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018


57740000
Vazão média adimensional
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018


57770000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018


57880000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018


57930000
Vazão média adimensional
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1990 1994 1998 2002 2006 2010 2014 2018

ANEXO H. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS ENCONTRADAS COM DADOS DE TURBIDEZ.

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
1	55730000	Mucuri	Córrego Barreado	ES	IGAM-MG	-18,00	-40,22	2010	2016
2	55746000	Pedro Canário (Estância Pico)	Rio Itaúnas	ES	CPRM	-18,26	-40,03	2002	2019
3	55746400	Porto Miúdo (Após Vila Itaúnas)	Rio Itaúnas	ES	IEMA-ES	-18,43	-39,71	2002	2010
4	55746500	Mont.Pedro Canário - (Cap. CESAN)	Rio Itaúnas	ES	AGERH-ES	-18,30	-39,97	1999	2010
5	55746600	Rio Itaúnas	Rio Itaúnas	ES	IEMA-ES	-18,31	-39,96	2002	2010
6	55746700	Pedro Canário - Cidade	Rio Itaúnas	ES	IEMA-ES	-18,31	-39,95	1999	2007
7	55747800	Ponte Entrada Cidade de Pedro Canário	Rio Itaúnas	ES	AGERH-ES	-18,31	-39,96	2008	2008
8	55748000	Porto Miúdo	Rio Itaúnas	ES	IEMA-ES	-18,43	-39,71	1999	2007
9	55800005	Fazenda São Mateus	Rio São Mateus/Braço Norte	ES	CPRM	-18,12	-40,88	1978	2019
10	55850000	São João da Cachoeira Grande	Rio São Mateus/Braço Norte	ES	CPRM	-18,56	-40,34	1985	2019
11	55900000	Barra de São Francisco	Rio São Francisco	ES	CPRM	-18,75	-40,89	2002	2018
12	55910000	Rio Preto	Rio São Mateus/Braço Norte	ES	AGERH-ES	-18,73	-40,36	1999	2010
13	55915000	Fazenda Entre Rios	Rio São Mateus/Braço Norte	ES	IEMA-ES	-18,67	-40,18	1999	2010
14	55920000	Córrego da Boa Esperança	Rio São Mateus/Braço Norte	ES	CPRM	-18,70	-40,44	1985	2019
15	55950000	Fazenda Alvorada	Rio São Mateus/Braço Norte	ES	IEMA-ES	-18,63	-40,11	1999	2010
16	55960000	Boca Da Vala	Rio São Mateus	ES	CPRM	-18,65	-40,09	1978	2019
17	55972000	Ponte São Mateus (Br-101)	Rio São Mateus	ES	AGERH-ES	-18,71	-39,88	1999	2010
18	55973000	Porto São Mateus	Rio São Mateus	ES	AGERH-ES	-18,71	-39,85	1999	2010
19	55990200	São Jorge da Barra Seca	Rio Barra Seca	ES	CPRM	-18,85	-40,34	2002	2018
20	56990990	Afonso Claúdio Montante	Rio Guandu	ES	CPRM	-20,08	-41,12	1993	2019
21	56991200	Ponte Rio Guandu	Rio Guandu	ES	AGERH-ES	-19,57	-41,01	1999	2010
22	56991400	Itapina - Balsa	Rio Doce	ES	IEMA-ES	-19,53	-40,81	1999	2010
23	56991500	Laranja da Terra	Rio Guandu	ES	CPRM	-19,90	-41,06	1978	2019
24	56992000	Baixo Guandu	Rio Guandu	ES	CPRM	-19,52	-41,01	1978	2019

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
25	56992001	Baixo Guandu (Cidade)	Rio Guandu	ES	AGERH-ES	-19,51	-41,01	1998	2010
26	56992480	UHE Mascarenhas Jusante	Rio Doce	ES	Energest S.A	-19,51	-40,86	2012	2012
27	56993400	Ponte Rio Santa Joana	Rio Santa Joana	ES	AGERH-ES	-19,54	-40,71	1999	2010
28	56993551	Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	ES	CPRM	-19,56	-40,73	1978	2019
29	56994500	Colatina	Rio Doce	ES	CPRM	-19,53	-40,63	1985	2018
30	56994510	Colatina Corpo de Bombeiros	Rio Doce	ES	CPRM	-19,53	-40,62	2014	2015
31	56994600	Captação da Frisa (Colatina)	Rio Doce	ES	IEMA-ES	-19,53	-40,67	1999	2009
32	56994700	Barbados	Rio Doce	ES	IEMA-ES	-19,52	-40,58	1999	2010
33	56995200	Ponte Rio Pancas	Rio Pancas	ES	AGERH-ES	-19,51	-40,61	1999	2002
34	56995500	Ponte do Pancas	Rio Pancas	ES	CPRM	-19,42	-40,69	1978	2019
35	56996800	Ponte sobre o Rio (Santa Cruz-Águia Branca)	Rio São José	ES	IEMA-ES	-18,99	-40,76	2010	2010
36	56997100	Ponte De São Gabriel (Captação CESAN)	Rio São José	ES	IEMA-ES	-19,04	-40,54	2010	2010
37	56997500	Após a ETE CESAN (Em São Gabriel)	Rio São José	ES	IEMA-ES	-19,06	-40,52	2010	2010
38	56997800	Ponte Saída da Lagoa (Centro de Linhares)	Rio São José	ES	IEMA-ES	-19,40	-40,07	2010	2010
39	56998300	Linhares - BR-101	Rio Doce	ES	IEMA-ES	-19,41	-40,07	1999	2010
40	56998400	Barra de São Gabriel	Rio São José	ES	CPRM	-19,04	-40,53	1978	2019
41	56998500	Fazenda Camará	Rio Doce	ES	IEMA-ES	-19,43	-39,95	1999	2010
42	57030000	Cachoeirinha	Rio Piraquê-Açú	ES	AGERH-ES	-19,77	-40,39	1999	2010
43	57035000	Próximo Inonibras	Rio Piraquê-Açú	ES	IEMA-ES	-19,76	-40,37	1999	2010
44	57038000	Faz. Cachoeirinha Alta	Rio Timbui	ES	IEMA-ES	-19,93	-40,63	1999	2002
45	57039000	Rio Timbuí	Rio Timbui	ES	IEMA-ES	-19,93	-40,63	2002	2010
46	57040003	Santa Tereza - Jusante	Rio Timbui	ES	IEMA-ES	-19,93	-40,59	1999	2010
47	57070000	Fundão - Montante	Rio Timbui	ES	IEMA-ES	-19,94	-40,42	1999	2010
48	57075000	Fundão - Jusante	Rio Timbui	ES	IEMA-ES	-19,94	-40,41	1999	2010
49	57100000	Próximo EMATER	Rio Santa Maria da Vitória	ES	AGERH-ES	-20,05	-40,76	1998	2010
50	57115000	Santa Maria de Jetibá	Rio Santa Maria da Vitória	ES	IEMA-ES	-20,04	-40,73	1998	2010
51	57118080	PCH Rio Bonito Montante 1	Rio Santa Maria da Vitória	ES	EDP	-20,05	-40,75	2012	2012

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
52	57125000	Garganta do Funil - Jusante	Rio Santa Maria da Vitória	ES	IEMA-ES	-20,09	-40,54	1998	2010
53	57130000	Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória	ES	CPRM	-20,10	-40,53	1900	2019
54	57131000	Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória	ES	IEMA-ES	-20,10	-40,53	1998	2010
55	57132000	Captação da CESAN	Rio Santa Maria da Vitória	ES	AGERH-ES	-20,19	-40,39	1998	2010
56	57134100	Lagoa Juara (Margem Esquerda)	Lagoa Juara	ES	IEMA-ES	-20,13	-40,22	1999	2010
57	57134400	Efluente Lagoa Juara (Jacaraípe-Serra)	Lagoa Juara	ES	IEMA-ES	-20,15	-40,20	2002	2010
58	57134500	Efluente Lagoa Jacuném	Rio Jacaraipê	ES	IEMA-ES	-20,15	-40,19	1999	2010
59	57134600	Ponte Estrada Jacaraipe-Serra	Rio Jacaraipê	ES	IEMA-ES	-20,15	-40,20	1999	2007
60	57134700	Atrás Clube Barcelona	Lagoa Jacunem	ES	IEMA-ES	-20,17	-40,24	2000	2010
61	57134800	Antiga Captação da Cesan	Lagoa Jacunem	ES	IEMA-ES	-20,17	-40,24	2000	2010
62	57134900	Petrobrás - Entrada da Tubulação	Lagoa Jacunem	ES	IEMA-ES	-20,17	-40,22	2000	2010
63	57135100	Bicanga / Manguinhos	Córrego Manguinhos	ES	IEMA-ES	-20,21	-40,20	1999	2010
64	57135500	Bairro Nova Brasília	Rio Caiapozinho	ES	IEMA-ES	-20,33	-40,39	1999	2006
65	57135600	Ponte Estrada Itacibá/Cariacica	Rio Itanguá	ES	IEMA-ES	-20,32	-40,38	2001	2010
66	57136000	Rio Bubu (Ponte do Iesbem)	Rio Bubu	ES	IEMA-ES	-20,28	-40,42	1998	2010
67	57137000	Rio Bubu (Escola Agricola)	Rio Bubu	ES	IEMA-ES	-20,28	-40,42	1998	2010
68	57138000	Ponte José Sette	Rio Bubu	ES	AGERH-ES	-20,28	-40,40	1998	2010
69	57139000	Contorno de Vitória	Rio Bubu	ES	IEMA-ES	-20,28	-40,39	1998	2010
70	57140000	Bairro Santa Rita (Pte. Rua Ana Siqueira)	Rio Aribiri	ES	IEMA-ES	-20,35	-40,34	1999	2010
71	57150000	Braço Sul - Prop. Particular (Castelinho)	Lagoa de Carapebus	ES	IEMA-ES	-20,22	-40,22	1999	2010
72	57150005	Saída da Lagoa	Lagoa de Carapebus	ES	IEMA-ES	-20,23	-40,21	1999	2010
73	57166000	Braço Norte (BR-262)	Rio Jucu - Braço Norte	ES	IEMA-ES	-20,38	-40,56	1998	2010
74	57170000	Córrego do Galo	Rio Jucu - Braço Norte	ES	CPRM	-20,32	-40,65	1978	2019
75	57175000	Cascata do Galo	Rio Jucu - Braço Norte	ES	AGERH-ES	-20,32	-40,66	1998	2010

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
76	57180000	Marechal Floriano (Br-262)	Rio Jucu - Braço Sul	ES	AGERH-ES	-20,41	-40,68	1998	2010
77	57185000	Marechal Floriano (Ponte Metálica)	Rio Jucu - Braço Sul	ES	IEMA-ES	-20,41	-40,67	1998	2010
78	57230000	Fazenda Jucuruaba	Rio Jucu	ES	CPRM	-20,42	-40,49	1978	2019
79	57230600	Calha Principal (BR-101)	Rio Jucu	ES	IEMA-ES	-20,43	-40,46	1998	2010
80	57236000	Conjunto Marcílio de Noronha (Mont.)	Rio Formate	ES	IEMA-ES	-20,34	-40,43	1998	2010
81	57236100	Ponte da Divisa (Cariacica - Viana)	Rio Formate	ES	IEMA-ES	-20,35	-40,41	1998	2010
82	57236200	Bairro São Francisco / Betânia	Rio Formate	ES	IEMA-ES	-20,35	-40,41	1998	2010
83	57236300	Dois Km. Jus. Ponto FOR1C010	Rio Formate	ES	IEMA-ES	-20,37	-40,41	1999	2010
84	57236400	Caçaroca (Ponto Final Onibus)	Rio Formate	ES	IEMA-ES	-20,40	-40,37	1998	2010
85	57237000	Bairro Bela Aurora	Rio Marinho	ES	IEMA-ES	-20,35	-40,36	1998	2010
86	57238000	Cobi	Rio Marinho	ES	IEMA-ES	-20,34	-40,35	1998	2010
87	57247000	Jabuti - Seama	Rio Jabuti	ES	IEMA-ES	-20,64	-40,54	1999	2010
88	57248000	Ponte BR-101 (Rio Conceição)	Córrego Conceição	ES	IEMA-ES	-20,64	-40,54	1999	2010
89	57248100	Rio Jabuti	Rio Jabuti	ES	IEMA-ES	-20,64	-40,56	2003	2010
90	57250000	Matilde	Rio Benevente	ES	CPRM	-20,56	-40,81	1978	2019
91	57260000	ES-146 - Alfredo Chaves	Rio Benevente	ES	IEMA-ES	-20,65	-40,75	1978	2010
92	57260500	Jabaquara - BR-101	Rio Benevente	ES	AGERH-ES	-20,69	-40,68	1999	2010
93	57300000	Pau D'alho	Rio Novo	ES	CPRM	-20,89	-40,95	1978	2019
94	57300700	Ponte Itapemirim/Rio Novo do Sul	Rio Novo	ES	AGERH-ES	-20,89	-40,90	1999	2010
95	57300800	Captação da CESAN	Rio Novo	ES	IEMA-ES	-20,89	-40,94	1999	2010
96	57320000	Iconha Montante	Rio Iconha	ES	CPRM	-20,78	-40,83	1978	2019
97	57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	-20,37	-41,41	1978	2019
98	57360000	Iúna	Rio Pardo	ES	CPRM	-20,35	-41,53	1978	2019
99	57365000	Rio Pardo (Em Ibatiba)	Rio Pardo	ES	IGAM-MG	-20,24	-41,51	2010	2016
100	57367000	Ponte sobre o Córrego Boa Vista	Córrego Boa Vista	ES	IGAM-MG	-20,22	-41,49	2010	2016
101	57370000	Terra Corrida Montante	Rio Pardo	ES	CPRM	-20,43	-41,50	1978	2019
102	57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	ES	CPRM	-20,53	-41,51	2002	2019
103	57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	ES	CPRM	-20,54	-41,67	1978	2019
104	57450000	Rive	Rio Itapemirim	ES	CPRM	-20,75	-41,47	1978	2019
105	57465000	Ponte Pacotuba / Burarama	Rio Itapemirim	ES	AGERH-ES	-20,76	-41,27	1999	2010

ID	Código estação	Nome	Rio	Estado	Operadora	Latitude	Longitude	Início	Fim
106	57476500	Fazenda Lajinha	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,43	-41,28	2002	2019
107	57480000	PCH São João Jusante	Rio Castelo	ES	EDP	-20,57	-41,24	2012	2012
108	57490000	Castelo	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,61	-41,20	1978	2019
109	57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	ES	CPRM	-20,70	-41,17	1978	2019
110	57550500	Mont. Cidade Cachoeiro do Itapemirim	Rio Itapemirim	ES	IEMA-ES	-20,75	-41,19	2000	2010
111	57551000	Próximo Usina São Miguel	Rio Itapemirim	ES	IEMA-ES	-20,76	-41,17	1999	2010
112	57552000	PCH Fruteiras Jusante	Rio Fruteira	ES	EDP	-20,70	-41,09	2012	2012
113	57560001	Frente Ultramar	Rio Itapemirim	ES	IEMA-ES	-20,86	-41,10	1999	2010
114	57570500	Ponte BR-101 - Safra	Rio Itapemirim	ES	IEMA-ES	-20,92	-41,07	1999	2010
115	57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim	ES	CPRM	-20,95	-40,95	1978	2019
116	57581000	Rio Novo do Sul	Rio Itapemirim	ES	IEMA-ES	-20,98	-40,91	1999	2010
117	57584000	Fazenda Barra Seca	Rio Itapemirim	ES	AGERH-ES	-21,00	-40,94	1999	2010
118	57584200	Captação do SAAE	Lagoa de Guanandi	ES	IEMA-ES	-20,93	-40,82	1999	2010
119	57584400	Prox. .Plant. Abacaxi (Lagoa Guanambi)	Lagoa de Guanandi	ES	IEMA-ES	-20,93	-40,83	1999	2010
120	57650000	Fazenda Cacheta	Rio Muqui do Norte	ES	CPRM	-21,02	-41,09	2002	2019
121	57720000	Dores do Rio Preto	Rio Preto	ES	CPRM	-20,69	-41,85	1978	2018
122	57740000	Guaçuí	Rio do Veado	ES	CPRM	-20,77	-41,68	1978	2018
123	57770000	São José do Calçado	Rio Calçado	ES	CPRM	-21,03	-41,65	1978	2018
124	57820000	Posto Fiscal	Rio Itabapoana	ES	AGERH-ES	-21,21	-41,46	1998	2010
125	57830000	Ponte do Itabapoana	Rio Itabapoana	ES	CPRM	-21,21	-41,46	1978	2019
126	57840000	Divisa - BR-101	Rio Itabapoana	ES	AGERH-ES	-21,22	-41,31	1998	2010
127	57880000	Mimoso do Sul	Rio Muqui do Sul	ES	CPRM	-21,06	-41,36	1978	2018
128	57930000	Santa Cruz	Rio Itabapoana	ES	CPRM	-21,22	-41,31	1978	2018

ANEXO I. CLASSIFICAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE PARA VALORES MÁXIMOS

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
55895000	1	17/3/1979	12/11/1979	109	107	0,02	14,51	14,80	0,02	A
	2	17/3/1979	12/11/1979	217	149	0,31	24,59	25,70	0,05	C
	3	17/3/1979	12/11/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	13/11/1979	2/5/1985	123	121	0,02	14,35	13,70	0,05	A
	5	13/11/1979	2/5/1985	641	440	0,31	159,71	160,00	0,00	C
	6	3/5/1985	1/10/1987	130	129	0,01	14,73	15,50	0,05	B
	7	3/5/1985	1/10/1987	285	183	0,36	28,67	31,30	0,09	C
	8	3/5/1985	1/10/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	3/5/1985	1/10/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	2/10/1987	16/12/1989	128	90	0,30	7,17	7,07	0,01	C
	11	2/10/1987	16/12/1989	286	165	0,42	23,63	23,50	0,01	C
	12	2/10/1987	16/12/1989	377	364	0,03	97,42	101,00	0,04	A
	13	2/10/1987	16/12/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	17/12/1989	21/12/1993	212	156	0,26	29,56	35,70	0,21	C
	15	17/12/1989	21/12/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	17/12/1989	21/12/1993	557	320	0,43	91,48	98,60	0,08	C
	17	22/12/1993	23/3/1996	109	100	0,08	12,95	13,10	0,01	B
	18	22/12/1993	23/3/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	22/12/1993	23/3/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	24/3/1996	25/3/1999	200	152	0,24	24,89	24,90	0,00	B
	21	24/3/1996	25/3/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	26/3/1999	9/12/2000	108	86	0,20	10,24	10,44	0,02	B
	23	26/3/1999	9/12/2000	222	170	0,23	30,66	34,20	0,12	B
	24	26/3/1999	9/12/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	10/12/2000	17/10/2002	103	93	0,10	11,76	11,63	0,01	B
	26	10/12/2000	17/10/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	10/12/2000	17/10/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	18/10/2002	10/12/2003	161	139	0,14	28,45	28,57	0,00	B
	29	18/10/2002	10/12/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	30	18/10/2002	10/12/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	11/12/2003	17/8/2008	54	52	0,04	10,59	10,64	0,00	A
	32	11/12/2003	17/8/2008	278	112	0,60	22,31	3,27	0,85	D
	33	11/12/2003	17/8/2008	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	34	18/8/2008	31/12/2014	174	161	0,07	12,40	12,74	0,03	B
	35	18/8/2008	31/12/2014	496	480	0,03	144,58	144,58	0,00	A
	36	18/8/2008	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	1/1/1963	20/10/1971	285	91	0,68	7,28	7,29	0,00	D
	38	1/1/1963	20/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	39	1/1/1963	20/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	40	21/10/1971	13/9/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	41	21/10/1971	13/9/1972	185	192	0,04	31,90	31,20	0,02	A
	42	21/10/1971	13/9/1972	390	272	0,30	58,95	58,30	0,01	C
	43	21/10/1971	13/9/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	44	14/9/1972	16/3/1979	388	379	0,02	104,38	103,00	0,01	A
	45	14/9/1972	16/3/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
55900000	1	1/1/1968	20/6/1990	73	68	0,07	3,44	3,42	0,01	B
	2	1/1/1968	20/6/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	1/1/1968	20/6/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	21/6/1990	12/4/1996	225	119	0,47	7,95	8,02	0,01	C
	5	21/6/1990	12/4/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	13/4/1996	30/4/2000	205	64	0,69	2,33	2,37	0,02	D
	7	13/4/1996	30/4/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	1/5/2000	8/9/2007	158	66	0,58	1,84	1,93	0,05	D
	9	1/5/2000	8/9/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	9/9/2007	31/12/2014	136	127	0,07	6,02	5,96	0,01	B
	11	9/9/2007	31/12/2014	322	205	0,36	19,08	19,20	0,01	C
55960000	1	1/1/2008	31/12/2015	310	283	0,09	122,56	114,82	0,06	B
	2	1/1/2008	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	14/5/2016	31/12/2017	425	108	0,75	7,23	7,29	0,01	D
	4	2/11/2004	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	30/12/2010	31/12/2014	251	242	0,04	79,21	78,56	0,01	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	6	30/12/2010	31/12/2014	348	283	0,19	113,83	114,82	0,01	B
	7	30/12/2010	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	24/8/1974	20/2/1979	284	278	0,02	122,27	122,00	0,00	A
	9	24/8/1974	20/2/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	24/8/1974	20/2/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	21/2/1979	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	21/2/1979	23/8/1985	304	297	0,02	141,71	148,00	0,04	A
	13	21/2/1979	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	21/2/1979	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	24/8/1985	2/11/1990	276	273	0,01	132,95	132,00	0,01	A
	16	24/8/1985	2/11/1990	366	326	0,11	184,00	184,00	0,00	B
	17	24/8/1985	2/11/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	3/11/1990	10/1/1997	300	174	0,42	89,41	89,50	0,00	C
	19	3/11/1990	10/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	3/11/1990	10/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	11/1/1997	14/7/1998	346	182	0,47	103,00	103,00	0,00	C
	22	11/1/1997	14/7/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	11/1/1997	14/7/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	15/7/1998	1/11/2004	360	353	0,02	204,68	204,00	0,00	A
	25	15/7/1998	1/11/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	2/11/2004	29/12/2010	146	113	0,23	15,41	13,18	0,15	B
	27	2/11/2004	29/12/2010	211	182	0,14	46,65	46,01	0,01	B
	28	2/11/2004	29/12/2010	359	264	0,26	106,71	109,52	0,03	C
56990990	1	7/4/2012	31/12/2014	248	121	0,51	4,98	4,82	0,03	D
	2	26/11/1999	28/4/2003	160	134	0,16	5,96	4,33	0,27	B
	3	26/11/1999	28/4/2003	494	236	0,52	25,47	25,00	0,02	D
	4	29/4/2003	6/4/2012	173	162	0,06	12,00	11,96	0,00	B
	5	29/4/2003	6/4/2012	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	7/4/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	7/4/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	24/8/1985	24/9/1987	98	98	0,00	2,43	2,35	0,03	A
	9	29/4/2003	6/4/2012	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	10	1/1/1978	1/11/1982	406	167	0,59	13,19	13,20	0,00	D
	11	24/8/1985	24/9/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	20/3/1997	25/11/1999	600	250	0,58	24,40	24,10	0,01	D
	13	1/1/1978	1/11/1982	126	126	0,00	6,10	6,17	0,01	A
	14	1/1/1978	1/11/1982	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	2/11/1982	23/8/1985	310	301	0,03	50,67	50,60	0,00	A
	16	2/11/1982	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	27/4/1993	19/3/1997	450	218	0,52	21,27	16,20	0,24	D
	18	25/9/1987	26/4/1993	153	148	0,03	8,01	3,98	0,50	C
	19	25/9/1987	26/4/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	27/4/1993	19/3/1997	160	143	0,11	7,22	9,92	0,37	B
	21	24/8/1985	24/9/1987	309	128	0,59	6,40	7,01	0,09	D
	22	20/3/1997	25/11/1999	243	153	0,37	7,92	8,28	0,05	C
56991500	1	1/1/1996	19/1/2000	505	231	0,54	48,93	50,30	0,03	D
	2	20/1/2000	13/11/2001	234	153	0,35	19,77	19,80	0,00	C
	3	20/1/2000	13/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	14/11/2001	23/3/2004	281	187	0,33	27,99	27,93	0,00	C
	5	29/12/2010	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	29/12/2010	31/12/2014	151	151	0,00	16,58	18,17	0,10	B
	7	29/12/2010	31/12/2014	234	151	0,35	16,58	18,17	0,10	C
	8	14/11/2001	23/3/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	12/12/1967	12/12/1986	234	234	0,00	61,52	61,50	0,00	A
	10	24/3/2004	28/12/2010	160	154	0,04	15,24	15,26	0,00	A
	11	1/1/1996	19/1/2000	203	148	0,27	20,02	19,40	0,03	C
	12	25/3/1991	31/12/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	25/3/1991	31/12/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	25/3/1991	31/12/1995	166	152	0,08	24,01	24,20	0,01	B
	15	13/12/1986	24/3/1991	596	138	0,77	18,60	18,58	0,00	E
	16	12/12/1967	12/12/1986	589	234	0,60	61,50	61,50	0,00	D
	17	12/12/1967	12/12/1986	123	123	0,00	16,46	15,30	0,07	B
	18	23/8/1967	11/12/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	23/8/1967	11/12/1967	205	98	0,52	8,50	7,46	0,12	D

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	20	13/12/1986	24/3/1991	136	122	0,10	14,44	13,08	0,09	B
	21	24/3/2004	28/12/2010	898	250	0,72	43,61	43,61	0,00	D
56992000	1	15/3/1983	25/1/1985	138	130	0,06	20,49	21,40	0,04	B
	2	6/12/1948	25/2/1949	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	4/5/1978	30/5/1981	123	114	0,07	21,73	23,70	0,09	B
	4	4/5/1978	30/5/1981	148	130	0,12	27,68	26,10	0,06	B
	5	4/5/1978	30/5/1981	413	168	0,59	47,06	34,20	0,27	D
	6	31/5/1981	14/3/1983	103	101	0,02	13,68	13,60	0,01	A
	7	31/5/1981	14/3/1983	117	109	0,07	16,11	15,60	0,03	B
	8	3/10/1976	3/5/1978	204	160	0,22	36,53	39,60	0,08	B
	9	31/5/1981	14/3/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	3/10/1976	3/5/1978	117	115	0,02	18,00	18,20	0,01	A
	11	15/3/1983	25/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	15/3/1983	25/1/1985	391	382	0,02	266,42	223,00	0,16	B
	13	26/1/1985	13/2/1986	209	193	0,08	55,02	58,10	0,06	B
	14	26/2/1949	21/11/1950	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	22/11/1950	27/12/1956	46	46	0,00	6,08	7,04	0,16	B
	16	22/11/1950	27/12/1956	81	80	0,01	14,76	16,20	0,10	B
	17	22/11/1950	27/12/1956	202	160	0,21	49,44	46,70	0,06	B
	18	31/5/1981	14/3/1983	205	174	0,15	43,47	49,80	0,15	B
	19	6/12/1971	26/6/1972	247	216	0,13	60,89	61,10	0,00	B
	20	26/2/1949	21/11/1950	67	64	0,04	11,15	10,80	0,03	A
	21	26/2/1949	21/11/1950	96	83	0,14	18,65	18,80	0,01	B
	22	26/2/1949	21/11/1950	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	29/4/1965	13/2/1967	178	154	0,13	29,72	28,60	0,04	B
	24	29/4/1965	13/2/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	29/4/1965	13/2/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	14/2/1967	5/12/1971	182	159	0,13	23,44	19,30	0,18	B
	27	3/10/1976	3/5/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	14/2/1967	5/12/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	28/12/1956	31/12/1958	174	92	0,47	18,01	17,60	0,02	C
	30	6/12/1971	26/6/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	31	27/6/1972	26/12/1974	178	147	0,17	26,46	25,10	0,05	B
	32	27/6/1972	26/12/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	33	27/6/1972	26/12/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	34	27/12/1974	2/10/1976	192	165	0,14	37,57	37,60	0,00	B
	35	27/12/1974	2/10/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	3/10/1976	3/5/1978	103	96	0,07	12,12	11,10	0,08	B
	37	14/2/1967	5/12/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	38	16/2/1990	6/1/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	39	29/4/1965	13/2/1967	136	124	0,09	16,62	17,10	0,03	B
	40	26/1/1985	13/2/1986	361	216	0,40	69,68	74,00	0,06	C
	41	14/2/1986	31/3/1988	182	111	0,39	14,48	15,28	0,06	C
	42	14/2/1986	31/3/1988	306	199	0,35	56,11	49,00	0,13	C
	43	1/4/1988	15/2/1990	135	118	0,13	19,53	17,60	0,10	B
	44	1/4/1988	15/2/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	45	22/11/1950	27/12/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	46	16/2/1990	6/1/1994	183	149	0,19	28,66	28,50	0,01	B
	47	25/6/1963	13/1/1964	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	48	7/1/1994	1/11/2003	117	115	0,02	18,00	17,90	0,01	A
	49	7/1/1994	1/11/2003	205	194	0,05	54,30	52,60	0,03	B
	50	7/1/1994	1/11/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	51	2/11/2003	7/12/2009	194	170	0,12	39,94	39,59	0,01	B
	52	2/11/2003	7/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	53	8/12/2009	31/12/2014	148	142	0,04	31,75	31,93	0,01	A
	54	8/12/2009	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	55	1/4/1988	15/2/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	56	4/6/1961	15/8/1962	120	104	0,13	17,97	18,00	0,00	B
	57	16/8/1962	24/6/1963	120	108	0,10	19,01	18,00	0,05	B
	58	28/12/1956	31/12/1958	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	59	28/12/1956	31/12/1958	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	60	1/1/1959	4/10/1960	79	76	0,04	12,50	12,30	0,02	A
	61	1/1/1959	4/10/1960	170	136	0,20	36,95	37,40	0,01	B
	62	1/1/1959	4/10/1960	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	63	1/1/1959	4/10/1960	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	64	14/1/1964	28/4/1965	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	65	5/10/1960	3/6/1961	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	66	14/1/1964	28/4/1965	189	149	0,21	29,86	30,90	0,03	B
	67	4/6/1961	15/8/1962	145	126	0,13	26,14	26,60	0,02	B
	68	4/6/1961	15/8/1962	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	69	16/8/1962	24/6/1963	147	135	0,08	29,24	26,90	0,08	B
	70	25/6/1963	13/1/1964	98	96	0,02	12,26	11,50	0,06	B
	71	25/6/1963	13/1/1964	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	72	25/6/1963	13/1/1964	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	73	28/12/1956	31/12/1958	88	86	0,02	15,91	16,50	0,04	A
	74	5/10/1960	3/6/1961	148	122	0,18	24,80	26,50	0,07	B
	75	15/4/1941	14/2/1942	191	165	0,14	60,72	68,00	0,12	B
	76	6/12/1948	25/2/1949	272	205	0,25	89,33	89,50	0,00	B
	77	16/8/1962	24/6/1963	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	78	1/1/1938	14/4/1941	201	200	0,00	27,40	26,00	0,05	B
	79	1/1/1938	14/4/1941	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	80	15/4/1941	14/2/1942	148	114	0,23	33,96	36,00	0,06	B
	81	15/4/1941	14/2/1942	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	82	15/2/1942	12/2/1943	115	61	0,47	13,59	12,70	0,07	C
	83	15/2/1942	12/2/1943	147	118	0,20	35,50	32,70	0,08	B
	84	15/2/1942	12/2/1943	195	155	0,21	54,07	54,00	0,00	B
	85	15/2/1942	12/2/1943	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	86	13/2/1943	26/12/1944	66	65	0,02	15,59	15,20	0,03	A
	87	12/4/1947	5/12/1948	143	97	0,32	24,99	24,40	0,02	C
	88	1/1/1938	14/4/1941	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	89	12/4/1947	5/12/1948	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	90	13/2/1943	26/12/1944	145	86	0,41	22,75	22,20	0,02	C
	91	12/4/1947	5/12/1948	80	78	0,03	18,54	18,40	0,01	A
	92	31/12/1945	11/4/1947	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	93	31/12/1945	11/4/1947	199	195	0,02	82,34	82,20	0,00	A
	94	31/12/1945	11/4/1947	147	147	0,00	48,84	51,30	0,05	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	95	27/12/1944	30/12/1945	325	195	0,40	81,97	77,10	0,06	C
	96	27/12/1944	30/12/1945	143	142	0,01	42,76	45,60	0,07	B
	97	27/12/1944	30/12/1945	81	80	0,01	19,28	19,50	0,01	A
	98	13/2/1943	26/12/1944	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	99	13/2/1943	26/12/1944	195	180	0,08	71,22	68,30	0,04	B
56993551	1	19/9/2001	3/2/2007	121	121	0,00	1,98	1,96	0,01	A
	2	1/1/1974	21/11/1976	231	102	0,56	11,70	11,80	0,01	D
	3	1/1/1974	21/11/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	22/11/1976	9/11/1987	90	88	0,02	10,01	8,98	0,10	B
	5	22/11/1976	9/11/1987	457	337	0,26	100,92	101,00	0,00	C
	6	10/11/1987	31/12/1989	47	46	0,02	3,93	4,18	0,06	B
	7	10/11/1987	31/12/1989	231	77	0,67	7,65	7,06	0,08	D
	8	10/11/1987	31/12/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	1/1/1990	3/3/1995	103	71	0,31	7,49	7,62	0,02	C
	10	4/2/2007	13/12/2013	91	83	0,09	0,34	0,33	0,03	B
	11	4/3/1995	18/9/2001	500	261	0,48	26,10	24,60	0,06	C
	12	19/9/2001	3/2/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	19/9/2001	3/2/2007	239	225	0,06	16,89	14,49	0,14	B
	14	14/12/2013	31/12/2014	684	168	0,75	6,06	4,93	0,19	E
	15	1/1/1974	21/11/1976	17	17	0,00	1,66	1,62	0,02	A
	16	1/1/1990	3/3/1995	426	111	0,74	14,19	16,30	0,15	D
	17	4/2/2007	13/12/2013	554	204	0,63	12,70	12,36	0,03	D
56995000	1	1/5/1944	31/12/1966	736	163	0,78	18,06	20,10	0,11	E
56995500	1	3/12/1984	5/5/1993	561	448	0,20	150,79	155,00	0,03	B
	2	8/12/2004	27/11/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	8/12/2004	27/11/2013	264	187	0,29	22,40	21,11	0,06	C
	4	8/12/2004	27/11/2013	145	92	0,37	6,73	6,77	0,00	C
	5	13/1/1998	7/12/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	13/1/1998	7/12/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	13/1/1998	7/12/2004	181	180	0,01	19,82	18,70	0,06	B
	8	13/1/1998	7/12/2004	160	141	0,12	13,00	12,14	0,07	B
	9	6/5/1993	12/1/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	10	6/5/1993	12/1/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	3/12/1978	10/2/1983	145	143	0,01	14,53	14,40	0,01	A
	12	6/5/1993	12/1/1998	94	90	0,04	4,81	4,82	0,00	A
	13	28/11/2013	31/12/2014	256	181	0,29	20,02	20,07	0,00	C
	14	3/12/1984	5/5/1993	261	226	0,13	29,50	32,00	0,08	B
	15	3/12/1984	5/5/1993	160	159	0,01	16,05	19,70	0,23	B
	16	11/2/1983	2/12/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	11/2/1983	2/12/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	11/2/1983	2/12/1984	154	149	0,03	13,54	14,50	0,07	B
	19	3/12/1978	10/2/1983	466	351	0,25	85,15	83,50	0,02	B
	20	3/12/1978	10/2/1983	264	264	0,00	38,99	43,60	0,12	B
	21	6/5/1993	12/1/1998	248	216	0,13	26,98	27,30	0,01	B
	22	13/11/1970	17/11/1972	95	81	0,15	4,90	4,92	0,00	B
	23	30/6/1974	25/11/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	1/11/1965	8/11/1966	223	216	0,03	20,12	20,10	0,00	A
	25	1/11/1965	8/11/1966	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	1/11/1965	8/11/1966	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	9/11/1966	20/3/1968	117	98	0,16	5,22	5,10	0,02	B
	28	9/11/1966	20/3/1968	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	9/11/1966	20/3/1968	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	21/3/1968	12/11/1970	181	154	0,15	15,20	14,60	0,04	B
	31	28/11/2013	31/12/2014	160	113	0,29	8,74	8,56	0,02	C
	32	21/3/1968	12/11/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	33	28/11/2013	31/12/2014	180	181	0,01	20,01	20,07	0,00	A
	34	13/11/1970	17/11/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	13/11/1970	17/11/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	13/11/1970	17/11/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	18/11/1972	29/6/1974	145	127	0,12	11,83	12,00	0,01	B
	38	18/11/1972	29/6/1974	261	241	0,08	33,68	33,70	0,00	B
	39	18/11/1972	29/6/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	40	30/6/1974	25/11/1976	277	158	0,43	17,82	16,80	0,06	C
	41	28/11/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	42	11/2/1983	2/12/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	43	21/3/1968	12/11/1970	260	201	0,23	24,06	23,70	0,02	B
	44	26/11/1976	2/12/1978	274	204	0,26	28,53	26,80	0,06	C
	45	26/11/1976	2/12/1978	182	179	0,02	22,51	22,60	0,00	A
	46	3/12/1984	5/5/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	47	26/11/1976	2/12/1978	310	297	0,04	59,39	55,20	0,07	B
56998400	1	1/1/2015	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	1/1/2015	31/12/2015	131	102	0,22	3,64	1,89	0,48	B
	3	1/1/2016	31/12/2016	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	1/1/2016	31/12/2016	130	101	0,22	3,50	2,79	0,20	B
	5	24/9/1989	19/4/1997	482	292	0,39	56,38	57,70	0,02	C
	6	1/1/1967	10/7/1972	469	444	0,05	94,41	92,50	0,02	B
	7	5/6/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	1/1/1967	10/7/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	11/7/1972	27/2/1978	381	279	0,27	41,62	41,60	0,00	C
	10	11/7/1972	27/2/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	28/2/1978	4/1/1983	135	129	0,04	7,98	7,93	0,01	A
	12	28/2/1978	4/1/1983	591	381	0,36	75,12	73,50	0,02	C
	13	20/4/1997	24/5/2003	488	274	0,44	50,73	48,70	0,04	C
	14	20/4/1997	24/5/2003	163	154	0,06	14,93	14,74	0,01	B
	15	24/9/1989	19/4/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	9/9/2007	4/6/2013	158	158	0,00	14,92	14,91	0,00	A
	17	5/1/1983	23/9/1989	580	342	0,41	72,22	71,29	0,01	C
	18	20/4/1997	24/5/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	25/5/2003	8/9/2007	187	152	0,19	12,78	13,07	0,02	B
	20	5/1/1983	23/9/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	9/9/2007	4/6/2013	219	186	0,15	22,46	22,47	0,00	B
	22	9/9/2007	4/6/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	5/1/1983	23/9/1989	158	148	0,06	13,35	13,60	0,02	B
	24	9/9/2007	4/6/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	5/6/2013	31/12/2014	364	170	0,53	14,87	14,06	0,05	D
	26	24/9/1989	19/4/1997	221	184	0,17	24,06	28,60	0,19	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	27	25/5/2003	8/9/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57040008	1	1/1/1983	21/7/1986	373	319	0,14	15,70	15,70	0,00	B
	2	1/1/1983	21/7/1986	152	149	0,02	2,38	2,36	0,01	A
	3	30/11/2004	27/10/2009	326	279	0,14	15,30	15,68	0,02	B
	4	20/1/1992	26/12/1995	167	155	0,07	1,50	1,08	0,28	B
	5	22/7/1986	8/8/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	30/11/2004	27/10/2009	118	117	0,01	0,95	0,95	0,00	A
	7	28/6/2001	29/11/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	10/3/1989	19/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	28/6/2001	29/11/2004	96	95	0,01	0,24	0,23	0,04	A
	10	28/10/2009	31/12/2014	403	169	0,58	2,94	2,93	0,01	D
	11	7/11/1997	27/6/2001	401	259	0,35	6,31	6,13	0,03	C
	12	7/11/1997	27/6/2001	186	165	0,11	1,81	1,47	0,19	B
	13	27/12/1995	6/11/1997	356	193	0,46	3,55	3,62	0,02	C
	14	28/6/2001	29/11/2004	182	174	0,04	4,06	3,96	0,03	A
	15	10/3/1989	19/1/1992	147	127	0,14	0,80	0,65	0,19	B
	16	10/3/1989	19/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	9/8/1988	9/3/1989	200	153	0,24	0,88	0,83	0,05	B
	18	20/1/1992	26/12/1995	401	261	0,35	6,45	5,82	0,10	C
	19	9/8/1988	9/3/1989	132	131	0,01	0,48	0,49	0,01	A
	20	22/7/1986	8/8/1988	200	157	0,22	1,63	1,53	0,06	B
	21	28/10/2009	31/12/2014	111	111	0,00	0,55	0,55	0,01	A
	22	27/12/1995	6/11/1997	185	155	0,16	1,70	1,64	0,03	B
57130000	1	23/2/1986	23/8/1989	271	114	0,58	15,17	12,20	0,20	D
	2	29/12/1969	7/7/1971	209	140	0,33	23,21	24,10	0,04	C
	3	29/12/1969	7/7/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	8/7/1971	8/2/1980	131	131	0,00	21,46	22,50	0,05	A
	5	8/7/1971	8/2/1980	151	147	0,03	25,46	26,20	0,03	A
	6	8/7/1971	8/2/1980	211	182	0,14	36,16	35,80	0,01	B
	7	11/10/1996	20/6/2001	670	307	0,54	64,40	66,40	0,03	D
	8	9/2/1980	22/2/1986	128	128	0,00	19,70	17,90	0,09	B
	9	29/12/1969	7/7/1971	132	129	0,02	20,04	18,40	0,08	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	10	9/2/1980	22/2/1986	580	229	0,61	49,27	37,40	0,24	D
	11	1/9/1949	23/5/1951	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	23/2/1986	23/8/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	24/8/1989	10/10/1996	141	90	0,36	8,34	8,81	0,06	C
	14	24/8/1989	10/10/1996	525	325	0,38	68,02	60,20	0,11	C
	15	12/5/1959	16/8/1967	211	157	0,26	28,34	28,50	0,01	C
	16	17/8/1967	28/12/1969	411	301	0,27	63,20	57,50	0,09	C
	17	9/2/1980	22/2/1986	212	192	0,09	39,37	38,60	0,02	B
	18	1/9/1949	23/5/1951	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	22/8/2008	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	1/9/1949	23/5/1951	207	112	0,46	19,97	20,20	0,01	C
	21	12/5/1959	16/8/1967	76	76	0,00	8,10	6,79	0,16	B
	22	22/8/2008	31/12/2014	100	98	0,02	6,70	8,60	0,28	B
	23	11/10/1996	20/6/2001	280	217	0,23	41,06	43,10	0,05	B
	24	24/5/1951	20/8/1956	213	81	0,62	12,90	15,90	0,23	D
	25	11/10/1996	20/6/2001	184	154	0,16	22,90	22,10	0,03	B
	26	12/5/1959	16/8/1967	151	146	0,03	25,21	21,30	0,16	B
	27	21/8/1956	11/5/1959	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	21/8/1956	11/5/1959	190	126	0,34	24,90	24,10	0,03	C
	29	24/5/1951	20/8/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	22/8/2008	31/12/2014	380	291	0,23	50,26	49,84	0,01	B
	31	12/5/1959	16/8/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	32	17/8/1967	28/12/1969	278	288	0,04	60,35	59,90	0,01	A
	33	21/6/2001	21/8/2008	122	120	0,02	15,88	18,52	0,17	B
	34	21/6/2001	21/8/2008	141	132	0,06	19,10	17,77	0,07	B
	35	8/7/1971	8/2/1980	748	254	0,66	54,02	60,50	0,12	D
	36	21/6/2001	21/8/2008	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	24/8/1989	10/10/1996	291	205	0,30	37,90	37,20	0,02	C
	38	21/6/2001	21/8/2008	288	168	0,42	28,36	25,76	0,09	C
57170000	1	3/7/2011	30/1/2013	83	70	0,16	13,55	13,37	0,01	B
	2	3/7/2011	30/1/2013	219	90	0,59	19,87	19,91	0,00	D
	3	1/1/2015	31/12/2015	83	36	0,57	5,02	4,78	0,05	D

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	4	1/1/2015	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	31/1/2013	16/12/2014	212	78	0,63	16,12	16,72	0,04	D
	6	17/12/2014	31/12/2015	83	36	0,57	5,02	4,78	0,05	D
	7	17/12/2014	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	1/1/2016	31/12/2016	83	61	0,27	10,98	11,13	0,01	C
	9	1/1/2016	31/12/2016	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	17/10/1978	26/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	17/10/1978	26/1/1985	109	109	0,00	25,87	23,80	0,08	B
	12	14/3/2000	31/12/2014	296	161	0,46	50,19	44,06	0,12	C
	13	14/3/2000	31/12/2014	70	70	0,00	13,94	13,37	0,04	A
	14	2/11/1992	13/3/2000	227	111	0,51	28,60	28,40	0,01	D
	15	2/11/1992	13/3/2000	107	76	0,29	16,75	16,20	0,03	C
	16	21/9/1987	1/11/1992	172	70	0,59	13,94	12,10	0,13	D
	17	27/1/1985	20/9/1987	107	86	0,20	19,93	13,80	0,31	B
	18	27/1/1985	20/9/1987	192	109	0,43	27,81	28,60	0,03	C
	19	1/1/1955	31/8/1971	83	49	0,41	8,77	8,65	0,01	C
	20	1/1/1955	31/8/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	1/9/1971	16/10/1978	293	239	0,18	90,30	90,20	0,00	B
	22	21/9/1987	1/11/1992	70	70	0,00	13,94	12,10	0,13	B
	23	17/10/1978	26/1/1985	179	113	0,37	27,58	23,80	0,14	C
	24	1/1/1955	31/8/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	21/9/1987	1/11/1992	44	41	0,07	6,28	6,49	0,03	B
	26	15/12/1999	30/11/2017	35	35	0,00	4,69	4,97	0,06	B
	27	15/12/1999	30/11/2017	189	161	0,15	49,04	44,06	0,10	B
57190000	1	28/1/1980	28/4/1982	273	144	0,47	8,75	8,09	0,08	C
	2	29/4/1982	7/6/1987	304	206	0,32	14,57	15,80	0,08	C
	3	17/1/1977	27/1/1980	126	120	0,05	5,92	6,05	0,02	A
	4	1/1/1976	16/1/1977	195	115	0,41	7,08	6,50	0,08	C
	5	17/1/1977	27/1/1980	331	166	0,50	11,69	12,00	0,03	C
	6	8/6/1987	31/12/1990	322	168	0,48	7,44	7,62	0,02	C
57250000	1	23/7/1986	13/5/1991	109	103	0,06	6,97	5,26	0,25	B
	2	1/1/1949	9/11/1970	148	145	0,02	16,26	16,20	0,00	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	3	4/12/1981	22/7/1986	68	66	0,03	3,27	3,16	0,03	A
	4	4/12/1981	22/7/1986	184	127	0,31	11,53	11,60	0,01	C
	5	4/12/1981	22/7/1986	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	23/7/1986	13/5/1991	72	69	0,04	2,88	2,74	0,05	A
	7	11/2/1974	7/3/1979	60	60	0,00	2,59	2,61	0,01	A
	8	15/7/2003	26/12/2005	109	95	0,13	5,88	5,89	0,00	B
	9	10/11/1970	10/2/1974	165	161	0,02	22,02	22,70	0,03	A
	10	15/7/2003	26/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	27/12/2005	19/3/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	27/12/2005	19/3/2013	174	96	0,45	6,15	6,72	0,09	C
	13	27/12/2005	19/3/2013	252	176	0,30	18,14	17,93	0,01	C
	14	20/3/2013	31/12/2014	170	94	0,45	5,37	5,53	0,03	C
	15	20/3/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	23/7/1986	13/5/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	13/5/1995	22/4/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	23/4/1997	14/7/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	13/5/1995	22/4/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	11/2/1974	7/3/1979	204	176	0,14	21,91	21,80	0,00	B
	21	10/11/1970	10/2/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	10/11/1970	10/2/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	1/1/1949	9/11/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	1/1/1949	9/11/1970	59	59	0,00	2,65	2,51	0,05	B
	25	8/3/1979	3/12/1981	148	88	0,41	6,15	6,49	0,06	C
	26	11/2/1974	7/3/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	20/3/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	23/4/1997	14/7/2003	176	118	0,33	7,69	8,21	0,07	C
	29	23/7/1986	13/5/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	14/5/1991	12/5/1995	103	98	0,05	6,44	6,64	0,03	A
	31	14/5/1991	12/5/1995	174	143	0,18	12,70	12,20	0,04	B
	32	8/3/1979	3/12/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	33	13/5/1995	22/4/1997	170	117	0,31	8,39	8,30	0,01	C
	34	8/3/1979	3/12/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	35	23/4/1997	14/7/2003	88	88	0,00	4,26	4,60	0,08	B
	36	15/7/2003	26/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	14/5/1991	12/5/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57300000	1	26/5/2007	31/12/2015	94	94	0,00	5,94	6,57	0,11	B
	2	26/5/2007	31/12/2015	370	194	0,48	26,57	24,99	0,06	C
	3	1/1/1971	21/11/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	27/12/1994	29/11/1998	259	96	0,63	17,44	17,20	0,01	D
	5	23/9/1978	11/1/1985	102	97	0,05	11,19	12,10	0,08	B
	6	3/10/2004	16/11/2006	178	128	0,28	7,76	8,29	0,07	C
	7	21/7/1976	22/9/1978	195	191	0,02	25,96	25,90	0,00	A
	8	24/8/1973	20/7/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	1/1/1971	21/11/1971	446	192	0,57	23,60	18,40	0,22	D
	10	11/3/1972	16/9/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	17/11/2006	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	1/1/1971	21/11/1971	138	134	0,03	9,51	9,34	0,02	A
	13	3/10/2004	16/11/2006	330	194	0,41	24,17	24,17	0,00	C
	14	30/11/1998	6/8/2002	206	50	0,76	9,32	9,33	0,00	E
	15	23/9/1978	11/1/1985	185	184	0,01	26,16	26,10	0,00	A
	16	17/9/1972	23/8/1973	104	81	0,22	8,17	9,24	0,13	B
	17	22/11/1971	10/3/1972	219	195	0,11	32,85	32,80	0,00	B
	18	22/11/1971	10/3/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	17/11/2006	31/12/2014	203	194	0,04	24,97	24,99	0,00	A
	20	11/3/1972	16/9/1972	167	60	0,64	7,50	7,48	0,00	D
	21	30/11/1998	6/8/2002	42	39	0,07	6,97	5,08	0,27	B
	22	7/8/2002	2/10/2004	178	141	0,21	7,11	2,21	0,69	C
	23	7/8/2002	2/10/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	7/8/2002	2/10/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	17/9/1972	23/8/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	17/9/1972	23/8/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	1/1/1971	21/11/1971	90	78	0,13	3,38	3,28	0,03	B
	28	24/8/1973	20/7/1976	175	146	0,17	18,21	18,00	0,01	B
	29	23/9/1978	11/1/1985	325	247	0,24	46,71	46,70	0,00	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	30	21/7/1976	22/9/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	19/7/1991	26/12/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	32	19/7/1991	26/12/1994	189	91	0,52	14,55	14,20	0,02	D
	33	19/7/1991	26/12/1994	86	69	0,20	9,73	8,94	0,08	B
	34	12/1/1985	18/7/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	12/1/1985	18/7/1991	220	105	0,52	15,18	15,10	0,01	D
	36	12/1/1985	18/7/1991	103	101	0,02	14,31	14,00	0,02	A
57320000	1	1/1/1975	23/12/1999	95	94	0,01	7,59	7,40	0,02	A
	2	24/12/1999	31/12/2016	278	131	0,53	22,35	18,48	0,17	D
	3	24/12/1999	31/12/2016	81	81	0,00	4,41	4,21	0,04	A
	4	1/1/1975	23/12/1999	248	236	0,05	106,48	108,00	0,01	A
	5	1/1/1941	17/9/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	3/12/1997	25/11/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	22/11/2008	4/5/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	18/9/1974	20/1/1988	248	236	0,05	107,90	108,00	0,00	A
	9	21/1/1988	22/8/1989	82	82	0,00	3,52	3,38	0,04	A
	10	21/1/1988	22/8/1989	145	86	0,41	4,25	4,04	0,05	C
	11	23/8/1989	2/12/1997	212	103	0,51	9,99	9,76	0,02	D
	12	3/12/1997	25/11/1999	82	78	0,05	2,88	2,83	0,02	A
	13	1/1/1941	17/9/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	22/11/2008	4/5/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	21/1/1988	22/8/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	3/12/1997	25/11/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	26/11/1999	21/11/2008	242	103	0,57	10,76	9,90	0,08	D
	18	5/5/2010	31/12/2014	86	82	0,05	4,76	4,47	0,06	B
	19	23/8/1989	2/12/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	23/8/1989	2/12/1997	85	84	0,01	4,56	4,41	0,03	A
	21	22/11/2008	4/5/2010	134	131	0,02	18,47	18,48	0,00	A
	22	1/1/1941	17/9/1974	141	140	0,01	33,40	34,40	0,03	A
	23	26/11/1999	21/11/2008	83	83	0,00	4,73	4,98	0,05	B
	24	5/5/2010	31/12/2014	278	87	0,69	5,77	5,61	0,03	D
	25	8/8/2002	30/11/2017	343	131	0,62	21,02	18,48	0,12	D

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	26	8/8/2002	30/11/2017	81	81	0,00	4,37	4,21	0,04	A
57350000	1	19/7/1985	3/4/1988	158	125	0,21	7,40	6,70	0,09	B
	2	22/12/1989	8/3/1995	160	123	0,23	7,21	7,18	0,00	B
	3	19/7/1985	3/4/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	7/4/1984	18/7/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	7/4/1984	18/7/1985	160	133	0,17	9,48	9,96	0,05	B
	6	16/7/1982	6/4/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	1/10/1968	16/9/1972	236	160	0,32	19,45	18,90	0,03	C
	8	17/9/1972	29/3/1976	159	128	0,19	8,21	8,16	0,01	B
	9	30/3/1976	2/1/1980	160	142	0,11	12,20	11,40	0,07	B
	10	3/1/1980	15/7/1982	160	127	0,21	8,26	9,38	0,14	B
	11	16/7/1982	6/4/1984	156	126	0,19	7,67	6,24	0,19	B
	12	4/4/1988	21/12/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	17/9/1972	29/3/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	3/1/1980	15/7/1982	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	12/5/2010	30/10/2011	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	1/10/1968	16/9/1972	160	160	0,00	19,45	18,90	0,03	A
	17	30/3/1976	2/1/1980	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	4/4/1988	21/12/1989	158	104	0,34	2,53	2,43	0,04	C
	19	31/10/2011	31/12/2014	158	109	0,31	3,65	3,69	0,01	C
	20	12/5/2010	30/10/2011	159	106	0,33	3,29	3,17	0,04	C
	21	23/5/2002	11/5/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	23/5/2002	11/5/2010	160	125	0,22	6,84	6,95	0,02	B
	23	16/2/1998	22/5/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	16/2/1998	22/5/2002	160	153	0,04	16,51	16,30	0,01	A
	25	5/1/1997	15/2/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	5/1/1997	15/2/1998	160	122	0,24	6,96	7,50	0,08	B
	27	9/3/1995	4/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	9/3/1995	4/1/1997	159	129	0,19	7,93	8,39	0,06	B
	29	22/12/1989	8/3/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	31/10/2011	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57360000	1	30/12/2010	22/5/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	2	13/3/2000	18/1/2005	94	81	0,14	7,92	7,96	0,00	B
	3	22/11/1996	12/3/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	22/11/1996	12/3/2000	308	296	0,04	53,13	53,10	0,00	A
	5	9/4/1996	21/11/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	9/4/1996	21/11/1996	82	49	0,40	4,64	4,53	0,02	C
	7	30/12/2010	22/5/2013	291	183	0,37	27,42	28,47	0,04	C
	8	7/12/1976	4/9/1978	237	153	0,35	8,56	7,96	0,07	C
	9	16/10/1971	30/1/1974	355	243	0,32	20,32	20,60	0,01	C
	10	30/9/1984	8/4/1996	448	169	0,62	21,63	21,60	0,00	D
	11	2/12/1982	25/10/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	13/3/2000	18/1/2005	169	143	0,15	17,28	16,54	0,04	B
	13	10/12/1968	3/10/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	16/10/1971	30/1/1974	240	197	0,18	14,89	14,90	0,00	B
	15	4/10/1970	15/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	13/3/2000	18/1/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	19/1/2005	29/12/2010	113	73	0,35	7,52	7,53	0,00	C
	18	19/1/2005	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	19/1/2005	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	3/3/1956	14/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	30/12/2010	22/5/2013	123	71	0,42	7,64	7,67	0,00	C
	22	10/12/1968	3/10/1970	51	46	0,10	3,17	3,17	0,00	B
	23	10/12/1968	3/10/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	10/12/1968	3/10/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	4/10/1970	15/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	4/10/1970	15/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	3/3/1956	14/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	19/1/2005	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	31/1/1974	4/2/1976	240	240	0,00	18,38	18,40	0,00	A
	30	12/11/1961	9/12/1968	388	289	0,26	34,02	34,40	0,01	C
	31	26/10/1983	29/9/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	32	12/11/1961	9/12/1968	166	166	0,00	12,68	12,70	0,00	A
	33	4/10/1970	15/10/1971	90	56	0,38	2,93	2,72	0,07	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	34	1/1/1952	2/3/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	2/12/1982	25/10/1983	119	107	0,10	9,66	8,12	0,16	B
	36	26/10/1983	29/9/1984	119	111	0,07	10,40	10,40	0,00	B
	37	2/12/1982	25/10/1983	202	121	0,40	12,12	9,01	0,26	C
	38	2/12/1982	25/10/1983	101	94	0,07	7,77	7,77	0,00	B
	39	5/6/1981	1/12/1982	395	211	0,47	23,27	23,40	0,01	C
	40	5/6/1981	1/12/1982	206	109	0,47	10,65	10,70	0,00	C
	41	5/9/1978	4/6/1981	241	240	0,00	17,10	17,10	0,00	A
	42	1/1/1952	2/3/1956	248	65	0,74	6,16	5,76	0,06	D
	43	30/9/1984	8/4/1996	169	169	0,00	21,63	21,60	0,00	A
	44	5/9/1978	4/6/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	45	5/2/1976	6/12/1976	243	126	0,48	5,52	3,80	0,31	C
	46	31/1/1974	4/2/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	47	26/10/1983	29/9/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	48	31/1/1974	4/2/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	49	16/10/1971	30/1/1974	138	138	0,00	9,85	9,75	0,01	A
	50	3/3/1956	14/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	51	15/12/1957	11/11/1961	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	52	7/12/1976	4/9/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	53	23/5/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	54	12/11/1961	9/12/1968	63	62	0,02	4,83	4,60	0,05	A
	55	15/12/1957	11/11/1961	137	137	0,00	11,38	11,40	0,00	A
	56	5/2/1976	6/12/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	57	15/12/1957	11/11/1961	246	137	0,44	11,40	11,40	0,00	C
	58	23/5/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	59	3/3/1956	14/12/1957	24	24	0,00	2,89	2,88	0,00	A
	60	23/5/2013	31/12/2014	62	53	0,15	4,53	4,52	0,00	B
	61	23/5/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57370000	1	3/4/1988	10/3/1989	183	88	0,52	4,66	4,79	0,03	D
	2	29/5/1981	16/10/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	11/3/1989	25/6/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	3/4/1988	10/3/1989	86	85	0,01	4,31	4,33	0,00	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	5	7/8/1998	31/12/2014	136	118	0,13	19,36	19,12	0,01	B
	6	26/6/1996	6/8/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	7/8/1998	31/12/2014	358	208	0,42	60,00	60,10	0,00	C
	8	11/3/1989	25/6/1996	112	109	0,03	8,51	9,57	0,12	B
	9	26/6/1996	6/8/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	7/8/1998	31/12/2014	78	78	0,00	8,56	7,92	0,08	B
	11	17/10/1983	2/4/1988	183	182	0,01	32,90	32,90	0,00	A
	12	1/1/1968	28/5/1981	156	153	0,02	19,71	19,80	0,00	A
	13	29/5/1981	16/10/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	17/10/1983	2/4/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	1/1/1968	28/5/1981	340	183	0,46	30,98	29,70	0,04	C
	16	29/5/1981	16/10/1983	183	156	0,15	19,03	21,10	0,11	B
	17	26/6/1996	6/8/1998	115	108	0,06	16,81	17,90	0,06	B
	18	11/3/1989	25/6/1996	183	130	0,29	13,28	13,20	0,01	C
	19	1/1/1968	28/5/1981	88	87	0,01	4,91	4,76	0,03	A
	20	3/4/1988	10/3/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57400000	1	6/11/1996	23/9/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	7/1/1968	17/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	1/1/1961	6/1/1968	391	209	0,47	54,07	55,20	0,02	C
	4	6/11/1996	23/9/2002	143	128	0,10	18,52	18,80	0,01	B
	5	1/1/1961	6/1/1968	93	92	0,01	8,06	8,24	0,02	A
	6	7/1/1968	17/10/1971	102	91	0,11	7,85	7,85	0,00	B
	7	27/3/1991	11/1/1994	96	91	0,05	6,53	6,62	0,01	B
	8	18/10/1971	10/10/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	11/10/1976	10/1/1985	455	225	0,51	52,86	52,90	0,00	D
	10	11/1/1985	8/6/1987	344	205	0,40	48,23	47,60	0,01	C
	11	11/1/1985	8/6/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	9/6/1987	25/6/1989	138	129	0,07	15,46	16,30	0,05	B
	13	1/1/1961	6/1/1968	102	101	0,01	10,51	10,10	0,04	A
	14	9/6/1987	25/6/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	18/10/1971	10/10/1976	212	185	0,13	42,35	41,70	0,02	B
	16	26/6/1989	26/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	17	7/12/2009	31/12/2014	220	161	0,27	31,65	30,02	0,05	C
	18	27/3/1991	11/1/1994	405	155	0,62	25,30	22,30	0,12	D
	19	12/1/1994	5/11/1996	503	203	0,60	30,42	30,70	0,01	D
	20	7/12/2009	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	6/11/1996	23/9/2002	352	207	0,41	49,10	45,60	0,07	C
	22	24/9/2002	28/10/2004	282	176	0,38	30,89	30,89	0,00	C
	23	24/9/2002	28/10/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	29/10/2004	6/12/2009	110	95	0,14	7,94	8,08	0,02	B
	25	29/10/2004	6/12/2009	138	136	0,01	19,16	18,01	0,06	B
	26	29/10/2004	6/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	26/6/1989	26/3/1991	301	87	0,71	6,17	6,15	0,00	D
	28	9/6/1987	25/6/1989	281	158	0,44	24,37	22,80	0,06	C
	29	11/10/1976	10/1/1985	96	96	0,00	8,29	7,75	0,07	B
57420000	1	16/5/2013	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	16/5/2013	31/12/2015	489	138	0,72	16,07	14,47	0,10	D
	3	1/1/2015	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	1/1/2015	31/12/2015	308	68	0,78	6,02	6,14	0,02	E
	5	1/1/2016	31/12/2016	492	385	0,22	87,33	45,27	0,48	B
	6	1/1/2016	31/12/2016	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	15/2/1961	22/12/1964	32	24	0,25	2,20	2,10	0,05	B
	8	28/7/1983	13/12/1987	544	142	0,74	17,92	16,90	0,06	D
	9	12/6/1953	16/12/1956	115	81	0,30	7,34	6,69	0,09	C
	10	1/1/1952	11/6/1953	49	49	0,00	4,62	4,55	0,02	A
	11	1/1/1952	11/6/1953	300	222	0,26	38,26	35,80	0,06	C
	12	12/6/1953	16/12/1956	68	67	0,01	5,50	5,52	0,00	A
	13	21/9/1995	31/12/2014	115	114	0,01	12,48	12,50	0,00	A
	14	14/12/1987	21/12/1989	115	81	0,30	7,33	6,44	0,12	C
	15	17/12/1956	14/2/1961	743	272	0,63	53,94	48,10	0,11	D
	16	15/2/1961	22/12/1964	111	94	0,15	9,62	9,84	0,02	B
	17	15/2/1961	22/12/1964	384	210	0,45	30,35	30,30	0,00	C
	18	23/12/1964	3/3/1967	380	274	0,28	49,81	48,70	0,02	C
	19	23/12/1964	3/3/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	20	12/6/1953	16/12/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	4/9/1968	14/8/1982	633	286	0,55	56,56	43,40	0,23	D
	22	14/12/1987	21/12/1989	68	55	0,19	4,45	4,53	0,02	B
	23	15/8/1982	27/7/1983	110	104	0,05	13,49	13,70	0,02	B
	24	21/9/1995	31/12/2014	652	492	0,25	139,34	157,00	0,13	B
	25	15/8/1982	27/7/1983	407	122	0,70	17,36	11,70	0,33	D
	26	22/12/1989	20/9/1995	611	162	0,73	22,97	23,00	0,00	D
	27	23/12/1964	3/3/1967	62	60	0,03	5,44	5,74	0,06	B
	28	14/12/1987	21/12/1989	644	173	0,73	22,42	21,30	0,05	D
	29	4/3/1967	3/9/1968	473	172	0,64	25,25	25,10	0,01	D
57450000	1	3/12/1980	14/2/1983	241	206	0,15	101,74	86,00	0,15	B
	2	3/12/1980	14/2/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	3/12/1980	14/2/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	15/2/1983	3/4/1987	298	209	0,30	109,66	97,40	0,11	C
	5	1/8/1935	20/12/1943	201	181	0,10	102,97	102,00	0,01	B
	6	4/4/1987	22/3/1991	174	154	0,11	55,21	59,10	0,07	B
	7	4/4/1987	22/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	4/4/1987	22/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	3/12/1980	14/2/1983	174	148	0,15	50,96	50,10	0,02	B
	10	23/3/1991	22/5/2002	179	176	0,02	74,69	77,20	0,03	A
	11	1/8/1935	20/12/1943	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	23/3/1991	22/5/2002	242	234	0,03	129,68	130,00	0,00	A
	13	21/12/1943	24/12/1969	155	155	0,00	71,26	70,50	0,01	A
	14	15/2/1983	3/4/1987	201	166	0,17	69,92	70,10	0,00	B
	15	23/5/2002	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	23/5/2002	31/12/2014	299	249	0,17	144,31	137,29	0,05	B
	17	23/5/2002	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	23/5/2002	31/12/2014	184	163	0,11	62,04	64,20	0,03	B
	19	23/3/1991	22/5/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	4/4/1987	22/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/12/1969	2/12/1980	299	259	0,13	153,50	149,00	0,03	B
	22	21/12/1943	24/12/1969	595	239	0,60	151,21	153,00	0,01	D

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	23	15/2/1983	3/4/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	25/12/1969	2/12/1980	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	23/3/1991	22/5/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	25/12/1969	2/12/1980	197	194	0,02	96,95	98,00	0,01	A
	27	23/5/2012	31/12/2017	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	23/5/2002	31/12/2017	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	1/1/2015	31/12/2015	70	47	0,33	2,49	2,53	0,02	C
	30	1/1/2016	31/12/2017	70	56	0,20	4,47	4,17	0,07	B
	31	23/5/2002	31/12/2017	184	163	0,11	62,04	64,20	0,03	B
	32	23/5/2002	31/12/2017	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57460000	1	14/8/1989	4/11/1995	242	152	0,37	30,54	30,20	0,01	C
	2	14/8/1989	17/11/2001	462	248	0,46	215,85	169,00	0,22	C
	3	1/1/1995	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	5/11/1995	2/1/2000	241	197	0,18	102,20	89,50	0,12	B
	5	3/1/2000	2/1/2001	242	183	0,24	74,14	70,60	0,05	B
	6	3/1/2001	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	3/1/2001	17/11/2001	150	134	0,11	15,77	15,53	0,02	B
	8	18/11/2001	31/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	18/11/2001	16/1/2003	200	149	0,26	25,94	25,07	0,03	C
	10	17/1/2003	12/1/2005	199	172	0,14	54,84	53,60	0,02	B
	11	13/1/2004	31/12/2005	200	173	0,14	55,07	54,08	0,02	B
	12	21/4/1989	16/2/1990	194	145	0,25	22,26	22,60	0,02	C
	13	7/9/2006	7/9/2007	232	166	0,28	47,07	44,85	0,05	C
	14	8/9/2007	30/4/2010	232	231	0,00	150,08	146,64	0,02	A
	15	14/4/2003	11/12/2004	230	149	0,35	24,06	23,64	0,02	C
	16	12/12/2004	6/9/2006	230	173	0,25	54,79	54,08	0,01	B
	17	3/10/1997	30/4/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	14/12/1992	12/1/1994	193	152	0,21	31,15	30,20	0,03	B
	19	17/2/1990	15/11/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	16/11/1991	13/12/1992	195	143	0,27	20,22	20,60	0,02	C
	21	23/6/1984	2/10/1997	462	248	0,46	213,15	169,00	0,21	C
	22	3/10/1997	29/1/2000	230	197	0,14	91,15	89,50	0,02	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	23	30/1/2000	19/12/2000	230	183	0,20	69,50	70,60	0,02	B
	24	20/12/2000	10/12/2001	222	134	0,40	15,99	15,53	0,03	C
	25	15/9/1996	2/10/1997	195	173	0,11	60,64	63,90	0,05	B
	26	11/12/2001	13/4/2003	230	172	0,25	53,46	53,60	0,00	C
	27	15/2/1986	5/4/1987	195	158	0,19	38,68	38,40	0,01	B
	28	6/4/1987	5/11/1988	195	172	0,12	57,69	57,70	0,00	B
	29	6/11/1988	20/4/1989	195	149	0,24	22,24	22,00	0,01	B
	30	13/1/1994	14/4/1995	195	144	0,26	24,73	23,70	0,04	C
	31	15/4/1995	1/1/1996	194	133	0,31	11,43	9,74	0,15	C
	32	2/1/1996	14/9/1996	194	153	0,21	34,83	34,70	0,00	B
	33	23/6/1984	13/5/1985	195	195	0,00	103,30	107,00	0,04	A
	34	14/5/1985	14/2/1986	194	161	0,17	37,84	33,60	0,11	B
57476500	1	27/8/1988	1/1/1997	186	129	0,31	11,07	11,10	0,00	C
	2	29/11/1985	26/8/1988	158	136	0,14	13,95	10,80	0,23	B
	3	15/1/2004	31/12/2014	336	135	0,60	15,69	15,80	0,01	D
	4	2/1/2001	14/1/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	13/6/1984	13/1/1985	106	103	0,03	4,85	4,78	0,01	A
	6	13/6/1984	13/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	14/1/1985	28/11/1985	288	149	0,48	19,85	19,70	0,01	C
	8	13/6/1984	13/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	16/4/2000	1/1/2001	142	113	0,20	8,48	6,90	0,19	B
	10	2/1/1997	15/4/2000	343	140	0,59	15,65	14,20	0,09	D
	11	27/8/1988	1/1/1997	393	204	0,48	42,35	27,50	0,35	C
	12	2/1/2001	14/1/2004	126	125	0,01	10,93	11,00	0,01	A
	13	16/4/2000	1/1/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	29/11/1985	26/8/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57490000	1	4/9/2000	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	7/2/1989	23/3/1991	193	97	0,50	7,22	1,76	0,76	D
	3	11/12/1983	9/12/1986	147	147	0,00	27,17	26,50	0,02	A
	4	24/12/1977	10/12/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	24/12/1977	10/12/1983	358	228	0,36	59,02	58,30	0,01	C
	6	6/3/1976	23/12/1977	311	205	0,34	45,89	39,80	0,13	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	7	18/6/1972	5/3/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	26/12/1971	17/6/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	24/1/2009	6/12/2009	185	149	0,19	29,25	29,40	0,00	B
	10	1/1/2012	31/12/2014	123	109	0,11	10,55	10,55	0,00	B
	11	11/12/1983	9/12/1986	186	166	0,11	36,40	36,60	0,01	B
	12	23/1/1993	3/11/1994	196	114	0,42	11,31	12,40	0,10	C
	13	18/6/1972	5/3/1976	342	300	0,12	102,28	93,90	0,08	B
	14	4/4/1988	6/2/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	24/3/1991	22/1/1993	186	91	0,51	7,48	7,48	0,00	D
	16	4/4/1988	6/2/1989	93	85	0,09	2,63	2,60	0,01	B
	17	10/12/1986	3/4/1988	186	139	0,25	24,71	24,70	0,00	C
	18	11/12/1983	9/12/1986	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	7/2/1989	23/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	24/3/1991	22/1/1993	327	239	0,27	75,34	78,70	0,04	C
	21	4/4/1988	6/2/1989	175	96	0,45	5,24	4,97	0,05	C
	22	18/11/2001	23/1/2009	196	160	0,18	32,46	31,94	0,02	B
	23	10/12/1986	3/4/1988	340	299	0,12	109,17	103,00	0,06	B
	24	4/11/1994	3/9/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	19/2/1953	17/3/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	19/2/1953	17/3/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	19/2/1953	17/3/1957	141	117	0,17	12,98	12,50	0,04	B
	28	26/12/1971	17/6/1972	187	154	0,18	30,41	34,20	0,12	B
	29	4/11/1994	3/9/2000	195	163	0,16	34,02	31,80	0,07	B
	30	1/2/1962	25/12/1971	354	362	0,02	146,94	174,00	0,18	B
	31	4/9/2000	17/11/2001	144	117	0,19	11,94	11,95	0,00	B
	32	1/2/1962	25/12/1971	380	362	0,05	146,94	174,00	0,18	B
	33	14/8/1937	18/2/1953	187	187	0,00	48,14	54,50	0,13	B
	34	1/1/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	24/1/2009	6/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	1/1/2012	31/12/2014	92	89	0,03	4,44	5,30	0,19	B
	37	14/8/1937	18/2/1953	438	187	0,57	48,14	54,50	0,13	D
	38	7/12/2009	31/12/2011	105	95	0,10	6,42	6,60	0,03	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	39	1/1/2012	31/12/2014	195	188	0,04	47,94	42,50	0,11	B
	40	23/1/1993	3/11/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	41	4/9/2000	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	42	18/3/1957	31/1/1962	187	152	0,19	29,44	26,70	0,09	B
	43	18/11/2001	23/1/2009	550	360	0,35	145,70	170,88	0,17	C
	44	7/12/2009	31/12/2011	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	45	7/12/2009	31/12/2011	194	125	0,36	17,44	17,94	0,03	C
	46	18/3/1957	31/1/1962	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57550000	1	18/12/1997	4/1/1999	305	131	0,57	25,67	26,40	0,03	D
	2	2/1/2005	31/12/2011	338	249	0,26	93,51	93,55	0,00	C
	3	5/1/1999	29/1/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	2/1/2005	31/12/2011	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	2/1/2005	31/12/2011	149	139	0,07	31,36	31,90	0,02	B
	6	15/12/1987	1/8/1989	322	140	0,57	26,72	25,10	0,06	D
	7	30/1/2000	1/1/2005	347	266	0,23	102,80	105,30	0,02	B
	8	30/1/2000	1/1/2005	151	127	0,16	24,02	24,20	0,01	B
	9	18/12/1997	4/1/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	4/1/1997	17/12/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	4/1/1997	17/12/1997	408	130	0,68	27,74	27,80	0,00	D
	12	15/12/1987	1/8/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	2/8/1989	3/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	20/12/1976	24/1/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	1/1/2012	31/12/2014	383	243	0,37	90,57	81,22	0,10	C
	16	2/8/1989	3/1/1997	345	243	0,30	87,63	86,70	0,01	C
	17	14/1/1985	14/12/1987	339	186	0,45	53,38	53,10	0,01	C
	18	18/1/1973	19/12/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	1/1/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	1/10/1968	21/12/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/1/1979	13/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	25/1/1979	13/1/1985	349	229	0,34	77,59	72,40	0,07	C
	23	20/12/1976	24/1/1979	325	227	0,30	69,78	69,40	0,01	C
	24	22/12/1971	17/1/1973	255	267	0,05	103,48	104,00	0,00	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	25	1/10/1968	21/12/1971	348	299	0,14	125,12	128,00	0,02	B
	26	5/1/1999	29/1/2000	273	149	0,45	36,15	38,90	0,08	C
	27	14/1/1985	14/12/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	18/1/1973	19/12/1976	334	265	0,21	98,81	103,00	0,04	B
	29	30/1/2000	1/1/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	22/12/1971	17/1/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57555000	1	1/1/1986	20/10/1998	288	183	0,36	300,78	301,00	0,00	C
	2	21/10/1998	22/11/1999	219	143	0,35	122,24	123,00	0,01	C
	3	21/10/1998	31/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	23/11/1999	18/6/2001	220	149	0,32	128,31	129,00	0,01	C
	5	19/6/2001	18/9/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	19/6/2001	18/9/2001	95	72	0,24	25,88	27,22	0,05	B
	7	19/9/2001	17/11/2001	130	86	0,34	34,87	31,95	0,08	C
	8	19/9/2001	31/12/2005	219	158	0,28	146,55	152,52	0,04	C
	9	18/11/2001	31/12/2005	130	121	0,07	78,17	76,02	0,03	B
	10	20/10/1998	30/4/2010	421	216	0,49	272,71	278,83	0,02	C
	11	3/2/1979	19/10/1998	236	183	0,22	313,36	301,00	0,04	B
	12	28/9/2005	29/12/2006	135	126	0,07	88,02	92,01	0,05	B
	13	30/12/2006	15/12/2007	135	108	0,20	58,62	57,05	0,03	B
	14	16/12/2007	30/4/2010	135	112	0,17	65,75	64,83	0,01	B
	15	18/11/2001	27/9/2005	135	121	0,10	78,59	76,02	0,03	B
	16	1/12/1985	14/11/1986	103	102	0,01	96,22	101,00	0,05	A
	17	15/11/1986	16/12/1987	105	88	0,16	67,40	65,50	0,03	B
	18	3/2/1979	19/10/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	23/12/1989	19/10/1998	105	102	0,03	95,84	102,00	0,06	B
	20	20/10/1998	7/12/1999	135	109	0,19	63,61	65,90	0,04	B
	21	8/12/1999	17/11/2001	135	133	0,01	100,81	89,10	0,12	B
	22	13/12/1972	23/10/1974	243	130	0,47	149,46	157,00	0,05	C
	23	24/10/1974	2/2/1979	90	88	0,02	53,10	55,10	0,04	A
	24	24/10/1974	2/2/1979	328	131	0,60	134,16	131,00	0,02	D
	25	3/2/1979	8/12/1980	105	102	0,03	95,84	93,10	0,03	A
	26	17/12/1987	22/12/1989	105	91	0,13	70,50	68,20	0,03	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	27	9/12/1980	30/11/1985	105	105	0,00	102,80	115,00	0,12	B
	28	1/1/1969	12/12/1972	105	99	0,06	87,90	87,60	0,00	B
	29	1/1/1969	12/12/1972	295	239	0,19	494,27	546,00	0,10	B
	30	13/12/1972	23/10/1974	90	85	0,06	53,17	56,80	0,07	B
57560000	1	18/9/1972	15/10/1973	486	177	0,64	121,99	127,00	0,04	D
	2	15/4/1974	1/11/1974	198	194	0,02	137,49	159,00	0,16	B
	3	18/8/1935	15/7/1937	718	338	0,53	246,23	235,00	0,05	D
	4	13/11/1939	26/10/1947	724	530	0,27	520,99	531,00	0,02	C
	5	22/7/1954	9/3/1960	736	460	0,38	411,32	367,00	0,11	C
	6	16/2/1961	5/12/1964	463	411	0,11	340,92	344,00	0,01	B
	7	16/7/1937	12/11/1939	851	208	0,76	100,71	107,00	0,06	E
	8	27/10/1947	21/7/1954	641	346	0,46	242,60	234,00	0,04	C
	9	10/3/1960	15/2/1961	722	563	0,22	583,00	593,00	0,02	B
	10	6/12/1964	12/11/1967	509	272	0,47	187,08	194,00	0,04	C
	11	12/12/1967	30/8/1968	664	367	0,45	297,11	300,00	0,01	C
	12	6/9/1968	23/2/1969	415	266	0,36	180,82	188,00	0,04	C
	13	6/4/1969	21/10/1969	263	202	0,23	119,38	137,00	0,15	B
	14	13/11/1967	11/12/1967	329	251	0,24	178,75	170,00	0,05	B
	15	31/8/1968	5/9/1968	329	329	0,00	266,24	269,00	0,01	A
	16	24/2/1969	5/4/1969	392	222	0,43	149,81	152,00	0,01	C
	17	22/10/1969	17/9/1972	608	358	0,41	302,18	304,00	0,01	C
	18	3/2/1979	10/10/1979	357	360	0,01	359,42	324,00	0,10	B
	19	11/10/1979	13/2/1980	348	86	0,75	79,21	83,00	0,05	E
	20	16/11/1972	13/2/1980	736	360	0,51	359,10	324,00	0,10	D
	21	23/12/1937	1/1/1940	644	208	0,68	98,70	107,00	0,08	D
	22	27/12/1969	15/11/1972	608	358	0,41	308,18	304,00	0,01	C
	23	16/11/1972	15/10/1973	340	177	0,48	131,35	127,00	0,03	C
	24	16/10/1973	4/1/1975	305	194	0,36	159,26	159,00	0,00	C
	25	5/1/1975	15/12/1975	358	149	0,58	119,81	118,00	0,02	D
	26	16/12/1975	8/10/1977	339	194	0,43	165,24	166,00	0,00	C
	27	9/10/1977	2/2/1979	356	129	0,64	116,40	111,00	0,05	D
	28	29/12/1956	16/12/1957	673	460	0,32	397,24	367,00	0,08	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	29	17/12/1957	6/1/1965	736	563	0,24	585,59	593,00	0,01	B
	30	7/1/1965	31/12/1966	509	272	0,47	191,83	194,00	0,01	C
	31	1/1/1967	30/11/1967	409	181	0,56	113,26	106,00	0,06	D
	32	1/12/1967	10/12/1968	664	367	0,45	304,32	300,00	0,01	C
	33	11/12/1968	26/12/1969	472	222	0,53	152,45	152,00	0,00	D
	34	18/8/1935	22/12/1937	851	338	0,60	254,49	235,00	0,08	D
	35	2/1/1940	13/12/1948	724	530	0,27	529,01	531,00	0,00	C
	36	14/12/1948	13/6/1952	621	346	0,44	244,33	234,00	0,04	C
	37	14/6/1952	27/1/1955	398	184	0,54	91,42	87,60	0,04	D
	38	28/1/1955	28/12/1956	723	209	0,71	117,64	111,00	0,06	D
57580000	1	31/1/1985	29/11/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	4/2/1979	9/12/1980	420	168	0,60	117,31	114,00	0,03	D
	3	26/12/1977	3/2/1979	539	181	0,66	134,40	129,00	0,04	D
	4	14/12/1975	25/12/1977	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	14/12/1975	25/12/1977	367	205	0,44	157,31	152,00	0,03	C
	6	14/12/1975	25/12/1977	82	79	0,04	41,29	39,20	0,05	B
	7	19/11/2001	18/1/2003	302	117	0,61	69,97	73,59	0,05	D
	8	4/2/1979	9/12/1980	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	9/12/1998	30/1/2000	346	140	0,60	101,19	96,90	0,04	D
	10	3/1/1996	19/12/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	6/11/1988	24/1/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	10/12/1980	16/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	17/11/1981	30/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	17/11/1981	30/1/1985	435	265	0,39	222,56	222,00	0,00	C
	15	3/2/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	10/12/1980	16/11/1981	323	219	0,32	178,17	166,00	0,07	C
	17	20/12/1997	8/12/1998	351	122	0,65	82,89	79,60	0,04	D
	18	30/11/1985	16/12/1987	368	131	0,64	88,95	85,80	0,04	D
	19	3/1/1996	19/12/1997	380	319	0,16	298,34	268,00	0,10	B
	20	27/12/1994	2/1/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/1/1993	26/12/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	6/11/1988	24/1/1993	350	216	0,38	176,58	171,00	0,03	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	23	17/12/1987	5/11/1988	408	128	0,69	78,75	62,90	0,20	D
	24	30/11/1985	16/12/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	25/1/1993	26/12/1994	382	97	0,75	56,50	49,50	0,12	D
	26	20/12/1997	8/12/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	1/12/1971	13/12/1975	402	382	0,05	386,60	401,00	0,04	A
	28	9/12/1998	30/1/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	27/12/1994	2/1/1996	372	63	0,83	33,91	34,80	0,03	E
	30	19/11/2001	18/1/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	19/1/2003	14/1/2004	406	151	0,63	86,00	79,99	0,07	D
	32	31/1/1985	29/11/1985	373	237	0,36	179,52	176,00	0,02	C
	33	1/1/1971	30/11/1971	82	78	0,05	40,57	41,20	0,02	A
	34	31/1/2000	18/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	1/12/1971	13/12/1975	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	8/12/2009	2/2/2013	563	182	0,68	137,98	135,00	0,02	D
	37	1/1/1971	30/11/1971	314	226	0,28	181,02	184,00	0,02	C
	38	15/1/2004	6/3/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	39	9/1/2009	7/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	40	1/1/1971	30/11/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	41	19/1/2003	14/1/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	42	15/1/2004	6/3/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	43	15/1/2004	6/3/2005	160	80	0,50	40,24	37,56	0,07	C
	44	31/1/2000	18/11/2001	324	147	0,55	103,00	85,00	0,17	D
	45	3/2/2013	31/12/2014	110	105	0,05	72,21	71,83	0,01	A
	46	7/3/2005	16/12/2005	461	147	0,68	89,88	90,22	0,00	D
	47	9/1/2009	7/12/2009	383	113	0,70	63,46	64,05	0,01	D
	48	17/12/2007	8/1/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	49	17/12/2007	8/1/2009	381	357	0,06	352,34	316,27	0,10	B
	50	7/3/2005	16/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	51	1/1/2007	16/12/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	52	1/1/2007	16/12/2007	461	111	0,76	58,62	57,76	0,01	E
	53	17/12/2005	31/12/2006	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	54	17/12/2005	31/12/2006	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	55	17/12/2005	31/12/2006	192	69	0,64	34,08	34,21	0,00	D
57740000	1	4/1/1996	31/12/2009	568	245	0,57	36,88	36,40	0,01	D
	2	1/8/1937	31/12/1948	378	263	0,30	25,72	25,50	0,01	C
	3	1/8/1937	31/12/1948	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	1/1/1949	8/8/1950	434	241	0,44	27,83	27,80	0,00	C
	5	22/4/1958	6/6/1963	482	192	0,60	20,78	21,20	0,02	D
	6	11/4/1975	15/4/1977	363	311	0,14	33,46	34,50	0,03	B
	7	16/4/1977	10/8/1982	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	16/1/1974	10/4/1975	365	220	0,40	19,41	19,80	0,02	C
	9	7/6/1963	6/11/1963	117	83	0,29	3,46	3,17	0,08	C
	10	11/5/1969	2/1/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	3/1/1972	15/1/1974	210	215	0,02	20,81	20,80	0,00	A
	12	11/5/1969	2/1/1972	226	226	0,00	20,22	19,90	0,02	A
	13	16/4/1977	10/8/1982	377	364	0,03	42,80	40,70	0,05	A
	14	16/4/1977	10/8/1982	205	202	0,01	16,89	18,10	0,07	B
	15	11/4/1975	15/4/1977	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	7/11/1963	10/5/1969	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	11/4/1975	15/4/1977	155	139	0,10	9,20	9,17	0,00	B
	18	16/1/1974	10/4/1975	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	11/5/1969	2/1/1972	377	309	0,18	33,12	31,70	0,04	B
	20	28/11/1987	21/12/1995	202	178	0,12	16,30	13,60	0,17	B
	21	22/12/1995	31/12/2014	598	245	0,59	33,10	36,40	0,10	D
	22	3/1/1972	15/1/1974	357	296	0,17	32,55	31,50	0,03	B
	23	28/11/1987	21/12/1995	464	203	0,56	23,28	23,20	0,00	D
	24	9/8/1950	21/4/1958	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	1/8/1937	31/12/1948	188	182	0,03	14,19	13,30	0,06	B
	26	7/11/1963	10/5/1969	180	177	0,02	16,43	15,70	0,04	A
	27	9/8/1950	21/4/1958	365	287	0,21	29,50	25,60	0,13	B
	28	7/6/1963	6/11/1963	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	9/8/1950	21/4/1958	189	164	0,13	11,46	11,90	0,04	B
	30	11/8/1982	27/11/1987	424	222	0,48	28,81	28,30	0,02	C
	31	28/11/1987	21/12/1995	120	118	0,02	5,11	6,39	0,25	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	32	7/11/1963	10/5/1969	462	399	0,14	52,65	52,60	0,00	B
57770000	1	1/8/2004	31/12/2009	118	91	0,23	3,00	3,41	0,14	B
	2	14/3/1996	2/11/2003	260	230	0,12	26,09	23,70	0,09	B
	3	31/10/1982	31/3/1986	49	48	0,02	0,78	0,77	0,02	A
	4	25/12/1955	18/12/1957	92	91	0,01	2,23	2,14	0,04	A
	5	1/4/1986	1/11/1991	168	104	0,38	4,59	4,64	0,01	C
	6	1/9/1952	4/1/1954	91	56	0,38	1,30	1,31	0,00	C
	7	2/11/1991	24/9/1993	130	83	0,36	3,48	3,44	0,01	C
	8	2/11/1991	24/9/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	1/1/2006	28/10/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	5/1/1954	5/4/1955	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	19/12/1957	30/10/1982	256	249	0,03	31,90	31,90	0,00	A
	12	24/6/1994	13/3/1996	170	94	0,45	3,58	1,74	0,51	C
	13	1/1/2006	28/10/2007	174	84	0,52	2,47	2,78	0,13	D
	14	3/11/2003	31/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	3/11/2003	31/12/2005	92	86	0,07	1,98	2,49	0,26	B
	16	6/4/1955	24/12/1955	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	24/6/1994	13/3/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	25/9/1993	23/6/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	25/9/1993	23/6/1994	84	83	0,01	1,52	1,53	0,01	A
	20	25/9/1993	23/6/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	5/1/1954	5/4/1955	155	71	0,54	1,84	1,63	0,11	D
	22	17/12/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	6/1/2009	16/12/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	1/4/1986	1/11/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	29/10/2007	5/1/2009	70	68	0,03	0,90	0,90	0,00	A
	26	19/12/1957	30/10/1982	171	170	0,01	12,26	12,00	0,02	A
	27	17/12/2013	31/12/2014	69	64	0,07	0,80	1,20	0,50	B
	28	31/10/1982	31/3/1986	254	113	0,56	6,29	6,19	0,02	D
	29	14/3/1996	2/11/2003	53	53	0,00	0,87	1,03	0,18	B
	30	1/9/1952	4/1/1954	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	6/4/1955	24/12/1955	53	38	0,28	0,41	0,39	0,04	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	32	6/1/2009	16/12/2013	168	91	0,46	3,33	3,41	0,02	C
	33	29/10/2007	5/1/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	34	29/10/2007	5/1/2009	84	74	0,12	1,20	0,27	0,78	D
	35	25/12/1955	18/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	14/3/1996	2/11/2003	170	79	0,54	2,50	2,20	0,12	D
	37	17/12/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	38	1/9/1952	4/1/1954	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57880000	1	8/2/2007	31/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	11/7/1972	21/4/1973	136	101	0,26	9,74	9,88	0,01	C
	3	11/11/1981	26/12/1984	366	252	0,31	45,55	48,30	0,06	C
	4	1/1/1968	29/11/1971	291	211	0,27	32,91	33,70	0,02	C
	5	10/12/1993	29/6/1995	90	73	0,19	6,82	6,91	0,01	B
	6	30/6/1995	9/8/1998	138	80	0,42	6,93	6,22	0,10	C
	7	10/8/1998	31/12/2005	66	66	0,00	4,71	3,98	0,16	B
	8	1/1/2006	31/12/2014	151	133	0,12	14,99	14,47	0,03	B
	9	10/12/1993	29/6/1995	383	159	0,58	22,84	13,30	0,42	D
	10	27/12/1984	28/12/1985	171	127	0,26	13,09	13,40	0,02	C
	11	11/7/1972	21/4/1973	98	95	0,03	8,84	9,26	0,05	A
	12	30/11/1971	10/7/1972	326	163	0,50	23,80	23,10	0,03	C
	13	29/12/1985	9/12/1993	89	88	0,01	7,31	7,08	0,03	A
	14	22/4/1973	31/3/1977	254	195	0,23	28,53	27,10	0,05	B
	15	27/12/1984	28/12/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	1/1/2006	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	30/6/1995	9/8/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	22/4/1973	31/3/1977	71	70	0,01	5,13	5,05	0,01	A
	19	1/4/1977	24/12/1977	135	99	0,27	8,43	8,31	0,01	C
	20	1/4/1977	24/12/1977	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/12/1977	28/12/1978	81	64	0,21	4,17	4,04	0,03	B
	22	25/12/1977	28/12/1978	240	117	0,51	11,69	12,00	0,03	D
	23	29/12/1978	10/11/1981	66	66	0,00	5,52	6,16	0,12	B
	24	29/12/1978	10/11/1981	297	96	0,68	10,02	9,29	0,07	D
	25	11/7/1972	21/4/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	26	10/8/1998	31/12/2005	375	131	0,65	14,17	14,68	0,04	D
	27	29/12/1985	9/12/1993	304	158	0,48	19,62	14,40	0,27	C
57930000	1	9/2/2007	31/12/2009	364	281	0,23	161,75	181,37	0,12	B
	2	12/11/1981	2/12/1983	363	345	0,05	196,48	182,00	0,07	B
	3	8/11/1985	7/1/1992	153	134	0,12	60,55	62,00	0,02	B
	4	8/11/1985	7/1/1992	306	278	0,09	144,62	144,00	0,00	B
	5	8/11/1985	7/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	8/11/1985	7/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	8/1/1992	29/10/2007	384	186	0,52	92,41	92,90	0,01	D
	8	8/1/1992	29/10/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	30/10/2007	31/12/2014	29	25	0,14	17,22	16,92	0,02	B
	10	30/10/2007	31/12/2014	406	281	0,31	181,41	181,37	0,00	C
	11	30/10/2007	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	12/11/1981	2/12/1983	460	364	0,21	216,22	216,00	0,00	B
	13	3/12/1983	7/11/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	12/11/1981	2/12/1983	305	275	0,10	142,76	145,00	0,02	B
	15	1/1/1957	6/5/1980	490	430	0,12	347,36	347,00	0,00	B
	16	7/5/1980	11/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	3/12/1983	7/11/1985	551	418	0,24	277,84	275,00	0,01	B
	18	7/5/1980	11/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	12/11/1981	2/12/1983	231	189	0,18	90,04	88,70	0,01	B
	20	1/1/1957	6/5/1980	363	357	0,02	208,19	185,00	0,11	B
	21	1/1/1957	6/5/1980	172	172	0,00	79,05	76,40	0,03	A
	22	7/5/1980	11/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	7/5/1980	11/11/1981	91	56	0,38	29,88	29,90	0,00	C
	24	3/12/1983	7/11/1985	310	300	0,03	147,44	147,00	0,00	A

ANEXO J. CLASSIFICAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE PARA VALORES MÍNIMOS

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
55895000	1	17/3/1979	12/11/1979	80	86	0,08	10,06	9,08	0,10	A
	2	17/3/1979	12/11/1979	109	124	0,14	18,35	17,60	0,04	A
	3	17/3/1979	12/11/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	13/11/1979	2/5/1985	70	87	0,24	8,14	6,56	0,19	B
	5	13/11/1979	2/5/1985	123	128	0,04	16,05	16,00	0,00	A
	6	3/5/1985	1/10/1987	65	82	0,26	4,01	5,13	0,28	C
	7	3/5/1985	1/10/1987	130	134	0,03	15,89	16,00	0,01	A
	8	3/5/1985	1/10/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	3/5/1985	1/10/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	2/10/1987	16/12/1989	45	64	0,42	3,38	3,62	0,07	C
	11	2/10/1987	16/12/1989	128	129	0,01	14,76	14,50	0,02	A
	12	2/10/1987	16/12/1989	286	364	0,27	97,42	101,00	0,04	C
	13	2/10/1987	16/12/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	17/12/1989	21/12/1993	44	61	0,39	6,96	5,34	0,23	C
	15	17/12/1989	21/12/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	17/12/1989	21/12/1993	280	320	0,14	91,48	98,60	0,08	A
	17	22/12/1993	23/3/1996	36	53	0,47	4,57	5,05	0,10	C
	18	22/12/1993	23/3/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	22/12/1993	23/3/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	24/3/1996	25/3/1999	28	44	0,57	2,23	2,20	0,01	D
	21	24/3/1996	25/3/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	26/3/1999	9/12/2000	30	36	0,20	2,61	1,75	0,33	B
	23	26/3/1999	9/12/2000	108	129	0,19	19,76	20,30	0,03	B
	24	26/3/1999	9/12/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	10/12/2000	17/10/2002	37	46	0,24	3,93	5,62	0,43	B
	26	10/12/2000	17/10/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	10/12/2000	17/10/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	18/10/2002	10/12/2003	9	11	0,22	2,25	2,23	0,01	B
	29	18/10/2002	10/12/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	30	18/10/2002	10/12/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	11/12/2003	17/8/2008	8	13	0,63	4,07	3,27	0,20	D
	32	11/12/2003	17/8/2008	54	65	0,20	12,86	13,66	0,06	B
	33	11/12/2003	17/8/2008	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	34	18/8/2008	31/12/2014	101	142	0,41	8,72	8,54	0,02	C
	35	18/8/2008	31/12/2014	174	480	1,76	144,58	144,58	0,00	E
	36	18/8/2008	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	1/1/1963	20/10/1971	43	72	0,67	4,35	4,25	0,02	D
	38	1/1/1963	20/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	39	1/1/1963	20/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	40	21/10/1971	13/9/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	41	21/10/1971	13/9/1972	67	80	0,19	7,07	6,92	0,02	B
	42	21/10/1971	13/9/1972	193	192	0,01	31,90	31,20	0,02	A
	43	21/10/1971	13/9/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	44	14/9/1972	16/3/1979	46	54	0,17	2,53	2,53	0,00	B
	45	14/9/1972	16/3/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
55900000	1	1/1/1968	20/6/1990	18	27	0,50	0,40	0,50	0,23	C
	2	1/1/1968	20/6/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	1/1/1968	20/6/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	21/6/1990	12/4/1996	24	35	0,46	0,67	0,76	0,14	C
	5	21/6/1990	12/4/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	13/4/1996	30/4/2000	22	28	0,27	0,23	0,28	0,20	C
	7	13/4/1996	30/4/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	1/5/2000	8/9/2007	31	32	0,03	0,20	0,20	0,02	A
	9	1/5/2000	8/9/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	9/9/2007	31/12/2014	44	47	0,07	0,38	0,38	0,00	A
	11	9/9/2007	31/12/2014	138	205	0,49	19,08	19,20	0,01	C
55960000	1	1/1/2008	31/12/2015	42	42	0,00	0,66	0,42	0,36	B
	2	1/1/2008	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	14/5/2016	31/12/2017	41	43	0,05	0,28	0,26	0,05	A
	4	2/11/2004	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	30/12/2010	31/12/2014	74	101	0,36	8,20	8,07	0,02	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	6	30/12/2010	31/12/2014	251	252	0,00	85,84	82,44	0,04	A
	7	30/12/2010	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	24/8/1974	20/2/1979	27	32	0,19	8,05	8,30	0,03	B
	9	24/8/1974	20/2/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	24/8/1974	20/2/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	21/2/1979	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	21/2/1979	23/8/1985	84	92	0,10	31,96	31,40	0,02	A
	13	21/2/1979	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	21/2/1979	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	24/8/1985	2/11/1990	30	45	0,50	13,30	12,80	0,04	C
	16	24/8/1985	2/11/1990	276	326	0,18	184,00	184,00	0,00	B
	17	24/8/1985	2/11/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	3/11/1990	10/1/1997	10	23	1,30	12,95	13,00	0,00	E
	19	3/11/1990	10/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	3/11/1990	10/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	11/1/1997	14/7/1998	1	37	36,00	23,87	23,90	0,00	E
	22	11/1/1997	14/7/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	11/1/1997	14/7/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	15/7/1998	1/11/2004	55	70	0,27	3,52	3,58	0,02	C
	25	15/7/1998	1/11/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	2/11/2004	29/12/2010	80	112	0,40	15,08	17,49	0,16	C
	27	2/11/2004	29/12/2010	146	151	0,03	30,54	30,45	0,00	A
	28	2/11/2004	29/12/2010	211	212	0,00	64,45	64,16	0,00	A
56990990	1	7/4/2012	31/12/2014	94	96	0,02	1,63	1,59	0,02	A
	2	26/11/1999	28/4/2003	101	106	0,05	2,52	2,22	0,12	A
	3	26/11/1999	28/4/2003	160	198	0,24	16,94	12,53	0,26	B
	4	29/4/2003	6/4/2012	95	98	0,03	1,73	1,70	0,01	A
	5	29/4/2003	6/4/2012	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	7/4/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	7/4/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	24/8/1985	24/9/1987	96	98	0,02	2,43	2,35	0,03	A
	9	29/4/2003	6/4/2012	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	10	1/1/1978	1/11/1982	126	126	0,00	6,10	6,17	0,01	A
	11	24/8/1985	24/9/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	20/3/1997	25/11/1999	253	250	0,01	24,40	24,10	0,01	A
	13	1/1/1978	1/11/1982	97	103	0,06	2,67	2,67	0,00	A
	14	1/1/1978	1/11/1982	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	2/11/1982	23/8/1985	98	102	0,04	3,01	3,04	0,01	A
	16	2/11/1982	23/8/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	27/4/1993	19/3/1997	160	218	0,36	21,27	16,20	0,24	C
	18	25/9/1987	26/4/1993	96	99	0,03	1,94	2,14	0,10	A
	19	25/9/1987	26/4/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	27/4/1993	19/3/1997	103	102	0,01	2,10	2,06	0,02	A
	21	24/8/1985	24/9/1987	98	98	0,00	2,43	2,35	0,03	A
	22	20/3/1997	25/11/1999	101	111	0,10	2,96	2,94	0,01	A
56991500	1	1/1/1996	19/1/2000	205	216	0,05	43,33	42,50	0,02	A
	2	20/1/2000	13/11/2001	78	87	0,12	5,96	5,72	0,04	A
	3	20/1/2000	13/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	14/11/2001	23/3/2004	86	86	0,00	4,86	5,27	0,08	A
	5	29/12/2010	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	29/12/2010	31/12/2014	76	86	0,13	4,58	4,57	0,00	A
	7	29/12/2010	31/12/2014	151	151	0,00	16,58	18,17	0,10	A
	8	14/11/2001	23/3/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	12/12/1967	12/12/1986	123	123	0,00	16,46	15,30	0,07	A
	10	24/3/2004	28/12/2010	77	85	0,10	3,88	6,41	0,65	C
	11	1/1/1996	19/1/2000	69	73	0,06	4,86	4,61	0,05	A
	12	25/3/1991	31/12/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	25/3/1991	31/12/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	25/3/1991	31/12/1995	55	61	0,11	4,31	4,31	0,00	A
	15	13/12/1986	24/3/1991	136	138	0,01	18,60	18,58	0,00	A
	16	12/12/1967	12/12/1986	234	234	0,00	61,50	61,50	0,00	A
	17	12/12/1967	12/12/1986	50	60	0,20	4,98	4,98	0,00	B
	18	23/8/1967	11/12/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	23/8/1967	11/12/1967	55	80	0,45	5,67	5,69	0,00	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	20	13/12/1986	24/3/1991	61	78	0,28	6,02	6,02	0,00	C
	21	24/3/2004	28/12/2010	160	162	0,01	16,91	16,68	0,01	A
56992000	1	15/3/1983	25/1/1985	93	105	0,13	10,47	11,30	0,08	A
	2	6/12/1948	25/2/1949	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	4/5/1978	30/5/1981	74	78	0,05	9,84	10,60	0,08	A
	4	4/5/1978	30/5/1981	123	130	0,06	27,68	26,10	0,06	A
	5	4/5/1978	30/5/1981	148	152	0,03	36,61	34,90	0,05	A
	6	31/5/1981	14/3/1983	86	88	0,02	9,80	9,91	0,01	A
	7	31/5/1981	14/3/1983	103	109	0,06	16,11	15,60	0,03	A
	8	3/10/1976	3/5/1978	117	122	0,04	20,46	22,30	0,09	A
	9	31/5/1981	14/3/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	3/10/1976	3/5/1978	103	109	0,06	16,11	16,10	0,00	A
	11	15/3/1983	25/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	15/3/1983	25/1/1985	183	382	1,09	266,42	223,00	0,16	E
	13	26/1/1985	13/2/1986	108	109	0,01	17,68	16,20	0,08	A
	14	26/2/1949	21/11/1950	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	22/11/1950	27/12/1956	30	31	0,03	3,32	3,38	0,02	A
	16	22/11/1950	27/12/1956	46	46	0,00	6,08	7,04	0,16	B
	17	22/11/1950	27/12/1956	81	86	0,06	16,79	16,10	0,04	A
	18	31/5/1981	14/3/1983	117	122	0,04	20,46	20,20	0,01	A
	19	6/12/1971	26/6/1972	119	110	0,08	8,93	10,50	0,18	B
	20	26/2/1949	21/11/1950	49	53	0,08	8,33	9,08	0,09	A
	21	26/2/1949	21/11/1950	67	71	0,06	13,62	13,80	0,01	A
	22	26/2/1949	21/11/1950	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	29/4/1965	13/2/1967	136	154	0,13	29,72	28,60	0,04	A
	24	29/4/1965	13/2/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	29/4/1965	13/2/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	14/2/1967	5/12/1971	104	100	0,04	4,51	5,47	0,21	B
	27	3/10/1976	3/5/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	14/2/1967	5/12/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	28/12/1956	31/12/1958	88	92	0,05	18,01	17,60	0,02	A
	30	6/12/1971	26/6/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	31	27/6/1972	26/12/1974	94	96	0,02	7,46	9,59	0,29	B
	32	27/6/1972	26/12/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	33	27/6/1972	26/12/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	34	27/12/1974	2/10/1976	72	76	0,06	5,60	5,64	0,01	A
	35	27/12/1974	2/10/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	3/10/1976	3/5/1978	75	79	0,05	7,42	6,68	0,10	A
	37	14/2/1967	5/12/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	38	16/2/1990	6/1/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	39	29/4/1965	13/2/1967	92	93	0,01	6,10	5,83	0,04	A
	40	26/1/1985	13/2/1986	212	216	0,02	69,68	74,00	0,06	A
	41	14/2/1986	31/3/1988	78	88	0,13	7,86	8,34	0,06	A
	42	14/2/1986	31/3/1988	184	199	0,08	56,11	49,00	0,13	A
	43	1/4/1988	15/2/1990	64	72	0,13	6,57	6,96	0,06	A
	44	1/4/1988	15/2/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	45	22/11/1950	27/12/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	46	16/2/1990	6/1/1994	71	83	0,17	6,65	6,84	0,03	B
	47	25/6/1963	13/1/1964	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	48	7/1/1994	1/11/2003	59	65	0,10	4,79	4,74	0,01	A
	49	7/1/1994	1/11/2003	117	123	0,05	20,83	20,00	0,04	A
	50	7/1/1994	1/11/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	51	2/11/2003	7/12/2009	71	63	0,11	3,12	4,68	0,50	B
	52	2/11/2003	7/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	53	8/12/2009	31/12/2014	34	54	0,59	6,53	7,09	0,09	D
	54	8/12/2009	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	55	1/4/1988	15/2/1990	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	56	4/6/1961	15/8/1962	70	70	0,00	7,70	7,70	0,00	A
	57	16/8/1962	24/6/1963	60	71	0,18	6,65	6,71	0,01	B
	58	28/12/1956	31/12/1958	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	59	28/12/1956	31/12/1958	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	60	1/1/1959	4/10/1960	48	49	0,02	5,76	5,72	0,01	A
	61	1/1/1959	4/10/1960	79	82	0,04	14,42	14,50	0,01	A
	62	1/1/1959	4/10/1960	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	63	1/1/1959	4/10/1960	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	64	14/1/1964	28/4/1965	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	65	5/10/1960	3/6/1961	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	66	14/1/1964	28/4/1965	76	73	0,04	4,88	7,25	0,49	B
	67	4/6/1961	15/8/1962	125	124	0,01	25,46	27,50	0,08	A
	68	4/6/1961	15/8/1962	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	69	16/8/1962	24/6/1963	125	126	0,01	26,14	26,80	0,03	A
	70	25/6/1963	13/1/1964	67	68	0,01	5,27	5,30	0,01	A
	71	25/6/1963	13/1/1964	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	72	25/6/1963	13/1/1964	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	73	28/12/1956	31/12/1958	56	70	0,25	11,31	11,30	0,00	B
	74	5/10/1960	3/6/1961	70	78	0,11	11,95	11,60	0,03	A
	75	15/4/1941	14/2/1942	148	165	0,11	60,72	68,00	0,12	A
	76	6/12/1948	25/2/1949	143	158	0,10	51,13	50,50	0,01	A
	77	16/8/1962	24/6/1963	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	78	1/1/1938	14/4/1941	162	164	0,01	0,42	4,30	9,16	E
	79	1/1/1938	14/4/1941	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	80	15/4/1941	14/2/1942	44	53	0,20	12,06	11,60	0,04	B
	81	15/4/1941	14/2/1942	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	82	15/2/1942	12/2/1943	47	58	0,23	12,66	13,20	0,04	B
	83	15/2/1942	12/2/1943	115	118	0,03	35,50	32,70	0,08	A
	84	15/2/1942	12/2/1943	147	155	0,05	54,07	54,00	0,00	A
	85	15/2/1942	12/2/1943	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	86	13/2/1943	26/12/1944	35	36	0,03	7,06	6,82	0,03	A
	87	12/4/1947	5/12/1948	82	83	0,01	20,27	19,40	0,04	A
	88	1/1/1938	14/4/1941	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	89	12/4/1947	5/12/1948	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	90	13/2/1943	26/12/1944	66	86	0,30	22,75	22,20	0,02	C
	91	12/4/1947	5/12/1948	30	38	0,27	6,42	7,08	0,10	C
	92	31/12/1945	11/4/1947	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	93	31/12/1945	11/4/1947	147	147	0,00	48,97	51,30	0,05	A
	94	31/12/1945	11/4/1947	40	50	0,25	11,15	11,00	0,01	B

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	95	27/12/1944	30/12/1945	143	149	0,04	47,28	45,90	0,03	A
	96	27/12/1944	30/12/1945	81	88	0,09	21,91	22,70	0,04	A
	97	27/12/1944	30/12/1945	49	49	0,00	9,20	10,90	0,18	B
	98	13/2/1943	26/12/1944	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	99	13/2/1943	26/12/1944	149	180	0,21	71,22	68,30	0,04	B
56993551	1	19/9/2001	3/2/2007	88	92	0,05	0,46	0,39	0,15	A
	2	1/1/1974	21/11/1976	17	17	0,00	1,64	1,62	0,01	A
	3	1/1/1974	21/11/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	22/11/1976	9/11/1987	7	15	1,14	1,77	1,77	0,00	E
	5	22/11/1976	9/11/1987	90	94	0,04	11,03	11,20	0,02	A
	6	10/11/1987	31/12/1989	10	12	0,20	1,41	1,43	0,02	B
	7	10/11/1987	31/12/1989	47	57	0,21	5,08	5,20	0,02	B
	8	10/11/1987	31/12/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	1/1/1990	3/3/1995	1	9	8,00	1,61	1,61	0,00	E
	10	4/2/2007	13/12/2013	68	83	0,22	0,34	0,33	0,03	B
	11	4/3/1995	18/9/2001	88	99	0,13	0,88	0,85	0,03	A
	12	19/9/2001	3/2/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	19/9/2001	3/2/2007	121	121	0,00	1,98	1,96	0,01	A
	14	14/12/2013	31/12/2014	64	115	0,80	1,33	1,36	0,02	E
	15	1/1/1974	21/11/1976	6	8	0,33	0,99	1,00	0,00	C
	16	1/1/1990	3/3/1995	103	111	0,08	14,19	16,30	0,15	A
	17	4/2/2007	13/12/2013	91	99	0,09	0,88	0,94	0,08	A
56995000	1	1/5/1944	31/12/1966	1	11	10,00	0,42	0,45	0,09	E
56995500	1	3/12/1984	5/5/1993	261	448	0,72	150,79	155,00	0,03	D
	2	8/12/2004	27/11/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	8/12/2004	27/11/2013	145	148	0,02	15,37	15,77	0,03	A
	4	8/12/2004	27/11/2013	16	31	0,94	0,90	0,84	0,07	E
	5	13/1/1998	7/12/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	13/1/1998	7/12/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	13/1/1998	7/12/2004	160	180	0,13	19,82	18,70	0,06	A
	8	13/1/1998	7/12/2004	20	23	0,15	0,22	0,20	0,08	A
	9	6/5/1993	12/1/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	10	6/5/1993	12/1/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	3/12/1978	10/2/1983	59	72	0,22	4,36	3,84	0,12	B
	12	6/5/1993	12/1/1998	35	43	0,23	1,07	1,00	0,07	B
	13	28/11/2013	31/12/2014	185	181	0,02	20,02	20,07	0,00	A
	14	3/12/1984	5/5/1993	181	215	0,19	27,06	32,70	0,21	B
	15	3/12/1984	5/5/1993	39	49	0,26	1,70	1,92	0,13	C
	16	11/2/1983	2/12/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	11/2/1983	2/12/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	11/2/1983	2/12/1984	61	72	0,18	3,51	3,40	0,03	B
	19	3/12/1978	10/2/1983	264	264	0,00	39,18	43,60	0,11	A
	20	3/12/1978	10/2/1983	145	181	0,25	21,26	22,90	0,08	B
	21	6/5/1993	12/1/1998	94	140	0,49	11,96	11,20	0,06	C
	22	13/11/1970	17/11/1972	33	60	0,82	2,81	2,79	0,01	E
	23	30/6/1974	25/11/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	1/11/1965	8/11/1966	38	48	0,26	1,22	1,28	0,05	C
	25	1/11/1965	8/11/1966	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	1/11/1965	8/11/1966	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	9/11/1966	20/3/1968	38	44	0,16	1,07	0,97	0,10	B
	28	9/11/1966	20/3/1968	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	9/11/1966	20/3/1968	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	21/3/1968	12/11/1970	32	41	0,28	1,27	1,11	0,13	C
	31	28/11/2013	31/12/2014	44	95	1,16	6,36	6,47	0,02	E
	32	21/3/1968	12/11/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	33	28/11/2013	31/12/2014	160	181	0,13	20,01	20,07	0,00	A
	34	13/11/1970	17/11/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	13/11/1970	17/11/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	13/11/1970	17/11/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	18/11/1972	29/6/1974	35	45	0,29	1,85	1,87	0,01	C
	38	18/11/1972	29/6/1974	145	174	0,20	19,95	19,60	0,02	B
	39	18/11/1972	29/6/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	40	30/6/1974	25/11/1976	25	29	0,16	0,97	0,87	0,11	B
	41	28/11/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	42	11/2/1983	2/12/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	43	21/3/1968	12/11/1970	181	200	0,10	23,85	23,90	0,00	A
	44	26/11/1976	2/12/1978	185	204	0,10	28,53	26,80	0,06	A
	45	26/11/1976	2/12/1978	28	33	0,18	1,45	1,52	0,05	B
	46	3/12/1984	5/5/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	47	26/11/1976	2/12/1978	286	297	0,04	59,39	55,20	0,07	A
56998400	1	1/1/2015	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	1/1/2015	31/12/2015	48	71	0,48	0,86	0,86	0,00	C
	3	1/1/2016	31/12/2016	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	1/1/2016	31/12/2016	48	51	0,06	0,21	0,09	0,59	C
	5	24/9/1989	19/4/1997	221	292	0,32	56,38	57,70	0,02	C
	6	1/1/1967	10/7/1972	70	72	0,03	1,06	1,06	0,00	A
	7	5/6/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	1/1/1967	10/7/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	11/7/1972	27/2/1978	72	71	0,01	1,05	1,05	0,00	A
	10	11/7/1972	27/2/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	28/2/1978	4/1/1983	81	123	0,52	7,06	7,14	0,01	D
	12	28/2/1978	4/1/1983	135	136	0,01	9,13	8,97	0,02	A
	13	20/4/1997	24/5/2003	163	274	0,68	50,73	48,70	0,04	D
	14	20/4/1997	24/5/2003	46	82	0,78	2,74	1,78	0,35	E
	15	24/9/1989	19/4/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	9/9/2007	4/6/2013	54	60	0,11	0,55	0,74	0,34	B
	17	5/1/1983	23/9/1989	158	166	0,05	17,79	17,90	0,01	A
	18	20/4/1997	24/5/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	25/5/2003	8/9/2007	56	54	0,04	0,14	0,64	3,67	E
	20	5/1/1983	23/9/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	9/9/2007	4/6/2013	158	158	0,00	14,94	14,91	0,00	A
	22	9/9/2007	4/6/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	5/1/1983	23/9/1989	67	74	0,10	1,80	1,80	0,00	A
	24	9/9/2007	4/6/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	5/6/2013	31/12/2014	66	85	0,29	2,21	2,03	0,08	C
	26	24/9/1989	19/4/1997	50	60	0,20	0,84	3,01	2,57	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	27	25/5/2003	8/9/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57040008	1	1/1/1983	21/7/1986	152	172	0,13	3,46	3,26	0,06	A
	2	1/1/1983	21/7/1986	113	115	0,02	0,73	0,73	0,00	A
	3	30/11/2004	27/10/2009	118	122	0,03	1,14	0,95	0,17	B
	4	20/1/1992	26/12/1995	113	115	0,02	0,17	0,69	3,15	E
	5	22/7/1986	8/8/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	30/11/2004	27/10/2009	91	104	0,14	0,44	0,58	0,30	B
	7	28/6/2001	29/11/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	10/3/1989	19/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	28/6/2001	29/11/2004	93	95	0,02	0,24	0,23	0,04	A
	10	28/10/2009	31/12/2014	111	111	0,00	0,55	0,55	0,01	A
	11	7/11/1997	27/6/2001	186	195	0,05	2,86	2,44	0,15	A
	12	7/11/1997	27/6/2001	115	122	0,06	0,34	0,37	0,07	A
	13	27/12/1995	6/11/1997	185	193	0,04	3,55	3,62	0,02	A
	14	28/6/2001	29/11/2004	96	100	0,04	0,42	0,65	0,57	C
	15	10/3/1989	19/1/1992	120	121	0,01	0,56	0,56	0,00	A
	16	10/3/1989	19/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	9/8/1988	9/3/1989	132	153	0,16	0,88	0,83	0,05	B
	18	20/1/1992	26/12/1995	167	169	0,01	1,96	1,77	0,10	A
	19	9/8/1988	9/3/1989	120	120	0,00	0,26	0,27	0,03	A
	20	22/7/1986	8/8/1988	115	117	0,02	0,33	0,30	0,10	A
	21	28/10/2009	31/12/2014	103	111	0,08	0,55	0,55	0,01	A
	22	27/12/1995	6/11/1997	116	124	0,07	0,60	0,63	0,04	A
57130000	1	23/2/1986	23/8/1989	42	54	0,29	2,27	3,30	0,46	C
	2	29/12/1969	7/7/1971	132	138	0,05	22,62	22,80	0,01	A
	3	29/12/1969	7/7/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	8/7/1971	8/2/1980	42	47	0,12	2,16	2,28	0,05	A
	5	8/7/1971	8/2/1980	131	131	0,00	21,44	22,50	0,05	A
	6	8/7/1971	8/2/1980	151	177	0,17	34,57	33,50	0,03	B
	7	11/10/1996	20/6/2001	295	307	0,04	64,40	66,40	0,03	A
	8	9/2/1980	22/2/1986	65	73	0,12	6,52	6,02	0,08	A
	9	29/12/1969	7/7/1971	56	79	0,41	7,51	6,75	0,10	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	10	9/2/1980	22/2/1986	214	229	0,07	49,27	37,40	0,24	B
	11	1/9/1949	23/5/1951	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	23/2/1986	23/8/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	24/8/1989	10/10/1996	51	62	0,22	2,57	2,66	0,03	B
	14	24/8/1989	10/10/1996	295	325	0,10	68,02	60,20	0,11	A
	15	12/5/1959	16/8/1967	151	154	0,02	27,42	32,40	0,18	B
	16	17/8/1967	28/12/1969	294	300	0,02	63,00	61,30	0,03	A
	17	9/2/1980	22/2/1986	128	128	0,00	19,70	17,90	0,09	A
	18	1/9/1949	23/5/1951	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	22/8/2008	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	1/9/1949	23/5/1951	54	63	0,17	8,16	6,85	0,16	B
	21	12/5/1959	16/8/1967	40	54	0,35	4,46	4,65	0,04	C
	22	22/8/2008	31/12/2014	58	88	0,52	4,62	5,93	0,28	D
	23	11/10/1996	20/6/2001	184	217	0,18	41,06	43,10	0,05	B
	24	24/5/1951	20/8/1956	34	49	0,44	5,44	5,92	0,09	C
	25	11/10/1996	20/6/2001	62	75	0,21	2,86	3,34	0,17	B
	26	12/5/1959	16/8/1967	76	76	0,00	8,14	6,79	0,17	B
	27	21/8/1956	11/5/1959	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	21/8/1956	11/5/1959	23	35	0,52	3,36	3,01	0,11	D
	29	24/5/1951	20/8/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	22/8/2008	31/12/2014	100	102	0,02	7,40	10,34	0,40	B
	31	12/5/1959	16/8/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	32	17/8/1967	28/12/1969	50	79	0,58	7,30	8,63	0,18	D
	33	21/6/2001	21/8/2008	62	60	0,03	2,84	3,32	0,17	B
	34	21/6/2001	21/8/2008	122	132	0,08	19,10	17,77	0,07	A
	35	8/7/1971	8/2/1980	215	238	0,11	50,97	51,00	0,00	A
	36	21/6/2001	21/8/2008	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	24/8/1989	10/10/1996	141	205	0,45	37,90	37,20	0,02	C
	38	21/6/2001	21/8/2008	141	168	0,19	28,36	25,76	0,09	B
57170000	1	3/7/2011	30/1/2013	39	46	0,18	7,18	6,87	0,04	B
	2	3/7/2011	30/1/2013	83	90	0,08	19,87	19,91	0,00	A
	3	1/1/2015	31/12/2015	15	34	1,27	4,62	4,69	0,02	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	4	1/1/2015	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	31/1/2013	16/12/2014	35	44	0,26	7,32	7,59	0,04	C
	6	17/12/2014	31/12/2015	30	34	0,13	4,62	4,69	0,02	A
	7	17/12/2014	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	1/1/2016	31/12/2016	14	15	0,07	1,54	0,75	0,52	C
	9	1/1/2016	31/12/2016	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	17/10/1978	26/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	17/10/1978	26/1/1985	42	46	0,10	7,01	7,20	0,03	A
	12	14/3/2000	31/12/2014	70	70	0,00	13,94	13,37	0,04	A
	13	14/3/2000	31/12/2014	31	35	0,13	4,96	4,97	0,00	A
	14	2/11/1992	13/3/2000	107	110	0,03	28,21	101,00	2,58	E
	15	2/11/1992	13/3/2000	30	36	0,20	5,60	5,93	0,06	B
	16	21/9/1987	1/11/1992	70	70	0,00	13,94	12,10	0,13	A
	17	27/1/1985	20/9/1987	32	42	0,31	7,08	7,34	0,04	C
	18	27/1/1985	20/9/1987	107	109	0,02	27,81	28,60	0,03	A
	19	1/1/1955	31/8/1971	40	46	0,15	8,02	7,99	0,00	A
	20	1/1/1955	31/8/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	1/9/1971	16/10/1978	38	39	0,03	5,28	5,32	0,01	A
	22	21/9/1987	1/11/1992	44	45	0,02	7,31	7,26	0,01	A
	23	17/10/1978	26/1/1985	109	109	0,00	25,92	23,80	0,08	A
	24	1/1/1955	31/8/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	21/9/1987	1/11/1992	30	38	0,27	5,48	5,48	0,00	C
	26	15/12/1999	30/11/2017	20	20	0,00	2,30	2,69	0,17	B
	27	15/12/1999	30/11/2017	35	35	0,00	4,87	4,97	0,02	A
57190000	1	28/1/1980	28/4/1982	94	101	0,07	3,66	3,49	0,05	A
	2	29/4/1982	7/6/1987	104	109	0,05	3,28	3,50	0,07	A
	3	17/1/1977	27/1/1980	90	92	0,02	3,16	3,27	0,04	A
	4	1/1/1976	16/1/1977	83	83	0,00	2,81	3,00	0,07	A
	5	17/1/1977	27/1/1980	127	139	0,09	8,11	7,44	0,08	A
	6	8/6/1987	31/12/1990	109	112	0,03	2,82	2,90	0,03	A
57250000	1	23/7/1986	13/5/1991	72	75	0,04	3,46	3,34	0,04	A
	2	1/1/1949	9/11/1970	59	59	0,00	2,65	2,51	0,05	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	3	4/12/1981	22/7/1986	60	66	0,10	3,27	3,16	0,03	A
	4	4/12/1981	22/7/1986	68	70	0,03	3,71	3,71	0,00	A
	5	4/12/1981	22/7/1986	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	23/7/1986	13/5/1991	44	59	0,34	2,08	3,83	0,84	D
	7	11/2/1974	7/3/1979	58	58	0,00	2,44	2,39	0,02	A
	8	15/7/2003	26/12/2005	58	62	0,07	2,16	2,17	0,00	A
	9	10/11/1970	10/2/1974	62	62	0,00	3,11	3,06	0,02	A
	10	15/7/2003	26/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	27/12/2005	19/3/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	27/12/2005	19/3/2013	61	68	0,11	2,94	2,93	0,00	A
	13	27/12/2005	19/3/2013	178	176	0,01	18,14	17,93	0,01	A
	14	20/3/2013	31/12/2014	60	72	0,20	2,96	3,08	0,04	B
	15	20/3/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	23/7/1986	13/5/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	13/5/1995	22/4/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	23/4/1997	14/7/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	13/5/1995	22/4/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	11/2/1974	7/3/1979	60	60	0,00	2,59	2,61	0,01	A
	21	10/11/1970	10/2/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	10/11/1970	10/2/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	1/1/1949	9/11/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	1/1/1949	9/11/1970	45	46	0,02	1,56	1,62	0,04	A
	25	8/3/1979	3/12/1981	59	61	0,03	2,85	2,80	0,02	A
	26	11/2/1974	7/3/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	20/3/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	23/4/1997	14/7/2003	88	88	0,00	4,25	4,60	0,08	A
	29	23/7/1986	13/5/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	14/5/1991	12/5/1995	66	67	0,02	2,93	2,94	0,00	A
	31	14/5/1991	12/5/1995	103	143	0,39	12,70	12,20	0,04	C
	32	8/3/1979	3/12/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	33	13/5/1995	22/4/1997	59	63	0,07	2,13	2,36	0,11	A
	34	8/3/1979	3/12/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	35	23/4/1997	14/7/2003	63	65	0,03	2,12	2,12	0,00	A
	36	15/7/2003	26/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	37	14/5/1991	12/5/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57300000	1	26/5/2007	31/12/2015	60	63	0,05	1,04	1,94	0,86	D
	2	26/5/2007	31/12/2015	94	94	0,00	5,94	6,57	0,10	A
	3	1/1/1971	21/11/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	27/12/1994	29/11/1998	19	23	0,21	1,91	2,42	0,26	B
	5	23/9/1978	11/1/1985	38	48	0,26	2,99	3,24	0,08	C
	6	3/10/2004	16/11/2006	82	89	0,09	1,19	3,35	1,82	E
	7	21/7/1976	22/9/1978	45	52	0,16	2,92	2,92	0,00	B
	8	24/8/1973	20/7/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	1/1/1971	21/11/1971	179	191	0,07	23,32	18,40	0,21	B
	10	11/3/1972	16/9/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	17/11/2006	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	1/1/1971	21/11/1971	90	106	0,18	6,83	6,70	0,02	B
	13	3/10/2004	16/11/2006	178	194	0,09	24,17	24,17	0,00	A
	14	30/11/1998	6/8/2002	42	50	0,19	9,32	9,33	0,00	B
	15	23/9/1978	11/1/1985	102	107	0,05	13,00	13,00	0,00	A
	16	17/9/1972	23/8/1973	50	56	0,12	4,04	4,44	0,10	A
	17	22/11/1971	10/3/1972	61	64	0,05	7,14	6,66	0,07	A
	18	22/11/1971	10/3/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	17/11/2006	31/12/2014	64	74	0,16	3,07	2,70	0,12	B
	20	11/3/1972	16/9/1972	40	43	0,08	4,40	4,40	0,00	A
	21	30/11/1998	6/8/2002	4	18	3,50	3,63	3,26	0,10	E
	22	7/8/2002	2/10/2004	103	109	0,06	2,47	2,47	0,00	A
	23	7/8/2002	2/10/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	7/8/2002	2/10/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	17/9/1972	23/8/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	17/9/1972	23/8/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	1/1/1971	21/11/1971	68	78	0,15	3,38	3,28	0,03	A
	28	24/8/1973	20/7/1976	40	46	0,15	2,50	2,81	0,12	A
	29	23/9/1978	11/1/1985	191	247	0,29	46,71	46,70	0,00	C

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	30	21/7/1976	22/9/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	19/7/1991	26/12/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	32	19/7/1991	26/12/1994	86	91	0,06	14,55	14,20	0,02	A
	33	19/7/1991	26/12/1994	31	41	0,32	4,33	4,45	0,03	C
	34	12/1/1985	18/7/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	12/1/1985	18/7/1991	103	105	0,02	15,18	15,10	0,01	A
	36	12/1/1985	18/7/1991	25	37	0,48	2,75	2,96	0,07	C
57320000	1	1/1/1975	23/12/1999	60	63	0,05	1,21	1,12	0,07	A
	2	24/12/1999	31/12/2016	81	81	0,00	4,41	4,21	0,05	A
	3	24/12/1999	31/12/2016	34	35	0,03	0,59	0,72	0,23	B
	4	1/1/1975	23/12/1999	95	98	0,03	8,94	10,20	0,14	A
	5	1/1/1941	17/9/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	3/12/1997	25/11/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	22/11/2008	4/5/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	18/9/1974	20/1/1988	60	63	0,05	1,12	1,12	0,00	A
	9	21/1/1988	22/8/1989	67	70	0,04	1,67	1,71	0,02	A
	10	21/1/1988	22/8/1989	82	82	0,00	3,52	3,38	0,04	A
	11	23/8/1989	2/12/1997	85	100	0,18	8,99	11,40	0,27	B
	12	3/12/1997	25/11/1999	60	66	0,10	1,12	1,12	0,00	A
	13	1/1/1941	17/9/1974	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	22/11/2008	4/5/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	21/1/1988	22/8/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	3/12/1997	25/11/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	26/11/1999	21/11/2008	83	83	0,00	4,75	4,98	0,05	A
	18	5/5/2010	31/12/2014	48	56	0,17	1,75	1,82	0,04	B
	19	23/8/1989	2/12/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	23/8/1989	2/12/1997	60	68	0,13	1,45	1,71	0,18	B
	21	22/11/2008	4/5/2010	55	82	0,49	4,05	4,05	0,00	C
	22	1/1/1941	17/9/1974	60	66	0,10	1,79	1,79	0,00	A
	23	26/11/1999	21/11/2008	39	45	0,15	1,08	1,09	0,01	B
	24	5/5/2010	31/12/2014	86	87	0,01	5,77	5,61	0,03	A
	25	8/8/2002	30/11/2017	81	81	0,00	4,37	4,21	0,04	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	26	8/8/2002	30/11/2017	42	42	0,00	0,95	0,96	0,01	A
57350000	1	19/7/1985	3/4/1988	84	89	0,06	1,02	1,18	0,16	B
	2	22/12/1989	8/3/1995	87	90	0,03	1,23	1,21	0,02	A
	3	19/7/1985	3/4/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	7/4/1984	18/7/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	7/4/1984	18/7/1985	92	95	0,03	1,54	1,40	0,09	A
	6	16/7/1982	6/4/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	1/10/1968	16/9/1972	160	160	0,00	19,45	18,90	0,03	A
	8	17/9/1972	29/3/1976	88	91	0,03	1,22	1,18	0,03	A
	9	30/3/1976	2/1/1980	84	92	0,10	1,13	1,10	0,03	A
	10	3/1/1980	15/7/1982	90	92	0,02	1,46	1,28	0,12	A
	11	16/7/1982	6/4/1984	88	96	0,09	1,79	1,91	0,07	A
	12	4/4/1988	21/12/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	17/9/1972	29/3/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	3/1/1980	15/7/1982	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	12/5/2010	30/10/2011	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	1/10/1968	16/9/1972	87	90	0,03	1,23	1,37	0,11	A
	17	30/3/1976	2/1/1980	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	4/4/1988	21/12/1989	92	93	0,01	1,16	1,43	0,23	B
	19	31/10/2011	31/12/2014	84	94	0,12	1,42	1,46	0,03	A
	20	12/5/2010	30/10/2011	88	90	0,02	1,12	1,31	0,17	B
	21	23/5/2002	11/5/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	23/5/2002	11/5/2010	86	88	0,02	0,72	0,81	0,11	A
	23	16/2/1998	22/5/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	16/2/1998	22/5/2002	86	93	0,08	1,31	1,42	0,08	A
	25	5/1/1997	15/2/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	5/1/1997	15/2/1998	86	94	0,09	1,70	1,71	0,01	A
	27	9/3/1995	4/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	9/3/1995	4/1/1997	85	90	0,06	0,88	1,03	0,17	B
	29	22/12/1989	8/3/1995	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	31/10/2011	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57360000	1	30/12/2010	22/5/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	2	13/3/2000	18/1/2005	38	42	0,11	3,17	3,20	0,01	A
	3	22/11/1996	12/3/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	22/11/1996	12/3/2000	26	50	0,92	5,12	5,12	0,00	E
	5	9/4/1996	21/11/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	9/4/1996	21/11/1996	43	47	0,09	4,39	4,52	0,03	A
	7	30/12/2010	22/5/2013	123	183	0,49	27,42	28,47	0,04	C
	8	7/12/1976	4/9/1978	70	75	0,07	3,02	2,96	0,02	A
	9	16/10/1971	30/1/1974	240	243	0,01	20,32	20,60	0,01	A
	10	30/9/1984	8/4/1996	169	169	0,00	21,63	21,60	0,00	A
	11	2/12/1982	25/10/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	13/3/2000	18/1/2005	94	130	0,38	15,18	16,12	0,06	C
	13	10/12/1968	3/10/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	16/10/1971	30/1/1974	138	138	0,00	9,85	9,75	0,01	A
	15	4/10/1970	15/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	13/3/2000	18/1/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	19/1/2005	29/12/2010	34	43	0,26	3,59	3,15	0,12	C
	18	19/1/2005	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	19/1/2005	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	3/3/1956	14/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	30/12/2010	22/5/2013	39	49	0,26	4,73	4,70	0,01	C
	22	10/12/1968	3/10/1970	30	46	0,53	3,17	3,17	0,00	D
	23	10/12/1968	3/10/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	10/12/1968	3/10/1970	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	4/10/1970	15/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	4/10/1970	15/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	3/3/1956	14/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	19/1/2005	29/12/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	31/1/1974	4/2/1976	31	62	1,00	3,44	3,44	0,00	E
	30	12/11/1961	9/12/1968	166	166	0,00	12,70	12,70	0,00	A
	31	26/10/1983	29/9/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	32	12/11/1961	9/12/1968	63	64	0,02	4,98	4,72	0,05	A
	33	4/10/1970	15/10/1971	50	54	0,08	2,81	2,91	0,03	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	34	1/1/1952	2/3/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	2/12/1982	25/10/1983	103	107	0,04	9,66	8,12	0,16	B
	36	26/10/1983	29/9/1984	69	75	0,09	3,70	3,70	0,00	A
	37	2/12/1982	25/10/1983	119	121	0,02	12,12	9,01	0,26	B
	38	2/12/1982	25/10/1983	52	66	0,27	4,61	4,61	0,00	C
	39	5/6/1981	1/12/1982	214	211	0,01	23,27	23,40	0,01	A
	40	5/6/1981	1/12/1982	42	55	0,31	4,04	4,04	0,00	C
	41	5/9/1978	4/6/1981	77	110	0,43	6,08	6,07	0,00	C
	42	1/1/1952	2/3/1956	-2	1	-1,50	1,64	1,62	0,01	A
	43	30/9/1984	8/4/1996	35	47	0,34	3,41	3,52	0,03	C
	44	5/9/1978	4/6/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	45	5/2/1976	6/12/1976	69	85	0,23	2,50	2,50	0,00	B
	46	31/1/1974	4/2/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	47	26/10/1983	29/9/1984	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	48	31/1/1974	4/2/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	49	16/10/1971	30/1/1974	47	63	0,34	4,13	4,13	0,00	C
	50	3/3/1956	14/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	51	15/12/1957	11/11/1961	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	52	7/12/1976	4/9/1978	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	53	23/5/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	54	12/11/1961	9/12/1968	11	30	1,73	2,79	2,94	0,06	E
	55	15/12/1957	11/11/1961	14	32	1,29	3,48	3,46	0,01	E
	56	5/2/1976	6/12/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	57	15/12/1957	11/11/1961	137	137	0,00	11,40	11,40	0,00	A
	58	23/5/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	59	3/3/1956	14/12/1957	-2	3	-2,50	1,44	1,44	0,00	A
	60	23/5/2013	31/12/2014	32	43	0,34	3,48	3,48	0,00	C
	61	23/5/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57370000	1	3/4/1988	10/3/1989	86	88	0,02	4,66	4,79	0,03	A
	2	29/5/1981	16/10/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	11/3/1989	25/6/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	3/4/1988	10/3/1989	75	78	0,04	3,36	3,36	0,00	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	5	7/8/1998	31/12/2014	78	78	0,00	8,56	7,92	0,08	A
	6	26/6/1996	6/8/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	7/8/1998	31/12/2014	136	150	0,10	30,61	30,80	0,01	A
	8	11/3/1989	25/6/1996	65	71	0,09	3,32	3,63	0,09	A
	9	26/6/1996	6/8/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	7/8/1998	31/12/2014	49	55	0,12	3,73	3,64	0,02	A
	11	17/10/1983	2/4/1988	73	78	0,07	3,87	3,55	0,08	A
	12	1/1/1968	28/5/1981	88	89	0,01	5,17	4,44	0,14	A
	13	29/5/1981	16/10/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	17/10/1983	2/4/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	1/1/1968	28/5/1981	156	160	0,03	22,20	21,50	0,03	A
	16	29/5/1981	16/10/1983	77	88	0,14	4,66	5,25	0,13	A
	17	26/6/1996	6/8/1998	54	55	0,02	4,04	3,88	0,04	A
	18	11/3/1989	25/6/1996	112	130	0,16	13,28	13,20	0,01	B
	19	1/1/1968	28/5/1981	68	76	0,12	3,45	4,06	0,18	B
	20	3/4/1988	10/3/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57400000	1	6/11/1996	23/9/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	7/1/1968	17/10/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	1/1/1961	6/1/1968	102	106	0,04	12,10	12,80	0,06	A
	4	6/11/1996	23/9/2002	76	84	0,11	5,73	5,56	0,03	A
	5	1/1/1961	6/1/1968	75	84	0,12	5,85	5,36	0,08	A
	6	7/1/1968	17/10/1971	77	84	0,09	6,16	5,91	0,04	A
	7	27/3/1991	11/1/1994	90	91	0,01	6,53	6,62	0,01	A
	8	18/10/1971	10/10/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	11/10/1976	10/1/1985	96	96	0,00	8,29	7,75	0,07	A
	10	11/1/1985	8/6/1987	77	84	0,09	5,48	5,60	0,02	A
	11	11/1/1985	8/6/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	9/6/1987	25/6/1989	80	89	0,11	5,48	5,70	0,04	A
	13	1/1/1961	6/1/1968	93	97	0,04	9,41	9,31	0,01	A
	14	9/6/1987	25/6/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	18/10/1971	10/10/1976	80	84	0,05	5,59	5,59	0,00	A
	16	26/6/1989	26/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	17	7/12/2009	31/12/2014	67	80	0,19	4,73	5,52	0,17	B
	18	27/3/1991	11/1/1994	96	100	0,04	9,23	9,14	0,01	A
	19	12/1/1994	5/11/1996	114	119	0,04	5,90	5,88	0,00	A
	20	7/12/2009	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	6/11/1996	23/9/2002	143	160	0,12	29,84	29,30	0,02	A
	22	24/9/2002	28/10/2004	89	95	0,07	5,86	12,46	1,13	E
	23	24/9/2002	28/10/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	29/10/2004	6/12/2009	78	81	0,04	4,45	5,38	0,21	B
	25	29/10/2004	6/12/2009	110	115	0,05	13,40	13,56	0,01	A
	26	29/10/2004	6/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	26/6/1989	26/3/1991	80	87	0,09	6,17	6,15	0,00	A
	28	9/6/1987	25/6/1989	138	158	0,14	24,37	22,80	0,06	A
	29	11/10/1976	10/1/1985	82	90	0,10	6,20	6,07	0,02	A
57420000	1	16/5/2013	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	16/5/2013	31/12/2015	9	22	1,44	1,99	1,80	0,09	E
	3	1/1/2015	31/12/2015	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	1/1/2015	31/12/2015	9	22	1,44	1,99	1,80	0,09	E
	5	1/1/2016	31/12/2016	9	19	1,11	1,80	1,88	0,05	E
	6	1/1/2016	31/12/2016	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	15/2/1961	22/12/1964	14	23	0,64	2,14	2,05	0,04	D
	8	28/7/1983	13/12/1987	19	25	0,32	2,43	2,41	0,01	C
	9	12/6/1953	16/12/1956	68	69	0,01	5,72	5,47	0,04	A
	10	1/1/1952	11/6/1953	32	40	0,25	4,08	4,24	0,04	B
	11	1/1/1952	11/6/1953	49	49	0,00	4,64	4,55	0,02	A
	12	12/6/1953	16/12/1956	10	20	1,00	1,82	1,74	0,04	E
	13	21/9/1995	31/12/2014	8	16	1,00	1,65	1,65	0,00	E
	14	14/12/1987	21/12/1989	68	71	0,04	5,97	5,99	0,00	A
	15	17/12/1956	14/2/1961	16	40	1,50	3,78	3,49	0,08	E
	16	15/2/1961	22/12/1964	32	34	0,06	2,91	2,86	0,02	A
	17	15/2/1961	22/12/1964	111	117	0,05	12,93	12,70	0,02	A
	18	23/12/1964	3/3/1967	62	113	0,82	12,71	13,50	0,06	E
	19	23/12/1964	3/3/1967	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	20	12/6/1953	16/12/1956	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	4/9/1968	14/8/1982	18	22	0,22	2,23	2,22	0,00	B
	22	14/12/1987	21/12/1989	22	27	0,23	2,29	2,26	0,01	B
	23	15/8/1982	27/7/1983	30	33	0,10	4,07	2,96	0,27	B
	24	21/9/1995	31/12/2014	115	119	0,03	13,22	12,30	0,07	A
	25	15/8/1982	27/7/1983	112	122	0,09	17,36	11,70	0,33	B
	26	22/12/1989	20/9/1995	10	22	1,20	2,31	2,30	0,01	E
	27	23/12/1964	3/3/1967	29	48	0,66	4,27	4,27	0,00	D
	28	14/12/1987	21/12/1989	115	116	0,01	12,78	15,80	0,24	B
	29	4/3/1967	3/9/1968	22	31	0,41	3,00	3,06	0,02	C
57450000	1	3/12/1980	14/2/1983	174	177	0,02	75,59	66,60	0,12	A
	2	3/12/1980	14/2/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	3	3/12/1980	14/2/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	15/2/1983	3/4/1987	201	209	0,04	109,66	97,40	0,11	A
	5	1/8/1935	20/12/1943	60	66	0,10	9,81	10,20	0,04	A
	6	4/4/1987	22/3/1991	72	84	0,17	11,43	12,90	0,13	B
	7	4/4/1987	22/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	4/4/1987	22/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	3/12/1980	14/2/1983	78	88	0,13	13,65	13,50	0,01	A
	10	23/3/1991	22/5/2002	72	80	0,11	10,70	11,53	0,08	A
	11	1/8/1935	20/12/1943	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	23/3/1991	22/5/2002	179	222	0,24	117,40	109,00	0,07	B
	13	21/12/1943	24/12/1969	43	65	0,51	8,02	9,25	0,15	D
	14	15/2/1983	3/4/1987	72	83	0,15	13,01	13,50	0,04	B
	15	23/5/2002	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	23/5/2002	31/12/2014	242	249	0,03	144,31	137,29	0,05	A
	17	23/5/2002	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	23/5/2002	31/12/2014	73	81	0,11	9,85	10,00	0,02	A
	19	23/3/1991	22/5/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	4/4/1987	22/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/12/1969	2/12/1980	197	200	0,02	102,35	103,00	0,01	A
	22	21/12/1943	24/12/1969	155	155	0,00	71,21	70,50	0,01	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	23	15/2/1983	3/4/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	25/12/1969	2/12/1980	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	23/3/1991	22/5/2002	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	25/12/1969	2/12/1980	72	78	0,08	10,85	11,80	0,09	A
	27	23/5/2012	31/12/2017	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	23/5/2002	31/12/2017	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	1/1/2015	31/12/2015	45	47	0,04	2,49	2,53	0,02	A
	30	1/1/2016	31/12/2017	32	41	0,28	2,85	2,95	0,03	C
	31	23/5/2002	31/12/2017	70	71	0,01	6,37	6,11	0,04	A
	32	23/5/2002	31/12/2017	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57460000	1	14/8/1989	4/11/1995	125	132	0,06	11,70	9,87	0,16	B
	2	14/8/1989	17/11/2001	242	248	0,02	215,85	169,00	0,22	B
	3	1/1/1995	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	5/11/1995	2/1/2000	125	130	0,04	11,08	13,20	0,19	B
	5	3/1/2000	2/1/2001	127	140	0,10	18,30	17,30	0,05	A
	6	3/1/2001	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	3/1/2001	17/11/2001	123	129	0,05	12,25	11,94	0,03	A
	8	18/11/2001	31/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	18/11/2001	16/1/2003	127	130	0,02	9,76	9,29	0,05	A
	10	17/1/2003	12/1/2005	130	133	0,02	11,01	10,78	0,02	A
	11	13/1/2004	31/12/2005	137	139	0,01	14,52	12,78	0,12	A
	12	21/4/1989	16/2/1990	133	138	0,04	15,53	17,10	0,10	A
	13	7/9/2006	7/9/2007	136	159	0,17	38,86	39,02	0,00	B
	14	8/9/2007	30/4/2010	130	134	0,03	12,88	14,44	0,12	A
	15	14/4/2003	11/12/2004	130	133	0,02	10,96	10,78	0,02	A
	16	12/12/2004	6/9/2006	139	160	0,15	38,51	38,33	0,00	B
	17	3/10/1997	30/4/2010	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	14/12/1992	12/1/1994	130	138	0,06	16,77	17,00	0,01	A
	19	17/2/1990	15/11/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	16/11/1991	13/12/1992	140	143	0,02	20,22	20,60	0,02	A
	21	23/6/1984	2/10/1997	195	195	0,00	103,30	107,00	0,04	A
	22	3/10/1997	29/1/2000	125	130	0,04	12,99	13,20	0,02	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	23	30/1/2000	19/12/2000	127	140	0,10	19,87	17,30	0,13	A
	24	20/12/2000	10/12/2001	123	129	0,05	12,28	11,94	0,03	A
	25	15/9/1996	2/10/1997	137	143	0,04	20,22	19,30	0,05	A
	26	11/12/2001	13/4/2003	127	130	0,02	9,89	9,29	0,06	A
	27	15/2/1986	5/4/1987	131	135	0,03	14,27	15,10	0,06	A
	28	6/4/1987	5/11/1988	133	135	0,02	12,17	12,00	0,01	A
	29	6/11/1988	20/4/1989	142	146	0,03	18,97	20,40	0,08	A
	30	13/1/1994	14/4/1995	132	141	0,07	21,74	22,20	0,02	A
	31	15/4/1995	1/1/1996	125	132	0,06	10,68	9,87	0,08	A
	32	2/1/1996	14/9/1996	132	139	0,05	19,84	21,10	0,06	A
	33	23/6/1984	13/5/1985	135	137	0,01	13,76	12,00	0,13	A
	34	14/5/1985	14/2/1986	147	149	0,01	22,24	25,30	0,14	A
57476500	1	27/8/1988	1/1/1997	80	88	0,10	1,83	1,53	0,17	B
	2	29/11/1985	26/8/1988	85	90	0,06	2,44	2,48	0,02	A
	3	15/1/2004	31/12/2014	70	82	0,17	1,96	2,01	0,03	B
	4	2/1/2001	14/1/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	13/6/1984	13/1/1985	91	95	0,04	3,25	3,28	0,01	A
	6	13/6/1984	13/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	14/1/1985	28/11/1985	97	97	0,00	4,27	6,53	0,53	C
	8	13/6/1984	13/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	16/4/2000	1/1/2001	81	86	0,06	2,52	2,58	0,02	A
	10	2/1/1997	15/4/2000	78	86	0,10	2,07	2,07	0,00	A
	11	27/8/1988	1/1/1997	186	204	0,10	42,35	27,50	0,35	B
	12	2/1/2001	14/1/2004	70	80	0,14	1,31	1,30	0,01	A
	13	16/4/2000	1/1/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	29/11/1985	26/8/1988	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57490000	1	4/9/2000	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	7/2/1989	23/3/1991	86	95	0,10	6,60	6,28	0,05	A
	3	11/12/1983	9/12/1986	78	86	0,10	4,07	4,24	0,04	A
	4	24/12/1977	10/12/1983	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	24/12/1977	10/12/1983	80	86	0,08	5,33	5,65	0,06	A
	6	6/3/1976	23/12/1977	80	82	0,03	3,60	3,46	0,04	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	7	18/6/1972	5/3/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	26/12/1971	17/6/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	24/1/2009	6/12/2009	86	107	0,24	11,51	11,18	0,03	B
	10	1/1/2012	31/12/2014	92	93	0,01	5,61	5,47	0,03	A
	11	11/12/1983	9/12/1986	147	147	0,00	27,16	26,50	0,02	A
	12	23/1/1993	3/11/1994	90	99	0,10	6,15	6,22	0,01	A
	13	18/6/1972	5/3/1976	69	88	0,28	5,74	4,75	0,17	C
	14	4/4/1988	6/2/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	24/3/1991	22/1/1993	94	91	0,03	7,48	7,48	0,00	A
	16	4/4/1988	6/2/1989	84	85	0,01	2,63	2,60	0,01	A
	17	10/12/1986	3/4/1988	84	90	0,07	5,69	5,22	0,08	A
	18	11/12/1983	9/12/1986	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	7/2/1989	23/3/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	24/3/1991	22/1/1993	186	239	0,28	75,34	78,70	0,04	C
	21	4/4/1988	6/2/1989	93	94	0,01	4,66	5,18	0,11	A
	22	18/11/2001	23/1/2009	77	79	0,03	1,81	1,85	0,02	A
	23	10/12/1986	3/4/1988	191	299	0,57	109,17	103,00	0,06	D
	24	4/11/1994	3/9/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	19/2/1953	17/3/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	26	19/2/1953	17/3/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	19/2/1953	17/3/1957	57	73	0,28	3,06	3,13	0,02	C
	28	26/12/1971	17/6/1972	100	100	0,00	10,00	9,83	0,02	A
	29	4/11/1994	3/9/2000	82	84	0,02	2,87	2,85	0,01	A
	30	1/2/1962	25/12/1971	62	75	0,21	3,32	2,76	0,17	B
	31	4/9/2000	17/11/2001	80	92	0,15	3,85	3,85	0,00	A
	32	1/2/1962	25/12/1971	374	362	0,03	146,94	174,00	0,18	B
	33	14/8/1937	18/2/1953	64	69	0,08	3,20	3,17	0,01	A
	34	1/1/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	24/1/2009	6/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	1/1/2012	31/12/2014	83	87	0,05	3,89	4,03	0,04	A
	37	14/8/1937	18/2/1953	187	187	0,00	48,14	54,50	0,13	A
	38	7/12/2009	31/12/2011	76	81	0,07	2,59	2,59	0,00	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	39	1/1/2012	31/12/2014	123	139	0,13	22,29	21,22	0,05	A
	40	23/1/1993	3/11/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	41	4/9/2000	17/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	42	18/3/1957	31/1/1962	68	79	0,16	4,97	5,16	0,04	B
	43	18/11/2001	23/1/2009	196	360	0,84	145,70	170,88	0,17	E
	44	7/12/2009	31/12/2011	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	45	7/12/2009	31/12/2011	105	125	0,19	17,44	17,94	0,03	B
	46	18/3/1957	31/1/1962	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57550000	1	18/12/1997	4/1/1999	76	93	0,22	10,57	9,83	0,07	B
	2	2/1/2005	31/12/2011	149	164	0,10	43,79	42,64	0,03	A
	3	5/1/1999	29/1/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	2/1/2005	31/12/2011	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	2/1/2005	31/12/2011	68	82	0,21	8,09	8,11	0,00	B
	6	15/12/1987	1/8/1989	80	83	0,04	6,23	6,76	0,09	A
	7	30/1/2000	1/1/2005	151	266	0,76	102,80	105,30	0,02	E
	8	30/1/2000	1/1/2005	70	72	0,03	4,29	4,13	0,04	A
	9	18/12/1997	4/1/1999	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	4/1/1997	17/12/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	4/1/1997	17/12/1997	80	85	0,06	9,24	8,78	0,05	A
	12	15/12/1987	1/8/1989	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	2/8/1989	3/1/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	20/12/1976	24/1/1979	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	1/1/2012	31/12/2014	68	76	0,12	6,26	6,37	0,02	A
	16	2/8/1989	3/1/1997	73	81	0,11	6,72	7,23	0,08	A
	17	14/1/1985	14/12/1987	75	80	0,07	6,42	6,75	0,05	A
	18	18/1/1973	19/12/1976	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	1/1/2012	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	20	1/10/1968	21/12/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/1/1979	13/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	25/1/1979	13/1/1985	79	86	0,09	7,45	8,17	0,10	A
	23	20/12/1976	24/1/1979	86	92	0,07	8,04	9,83	0,22	B
	24	22/12/1971	17/1/1973	89	94	0,06	10,92	10,20	0,07	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	25	1/10/1968	21/12/1971	82	90	0,10	8,70	8,07	0,07	A
	26	5/1/1999	29/1/2000	70	73	0,04	5,11	4,89	0,04	A
	27	14/1/1985	14/12/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	28	18/1/1973	19/12/1976	84	87	0,04	7,32	7,61	0,04	A
	29	30/1/2000	1/1/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	30	22/12/1971	17/1/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57555000	1	1/1/1986	20/10/1998	32	48	0,50	17,62	18,80	0,07	C
	2	21/10/1998	22/11/1999	57	65	0,14	17,79	23,70	0,33	B
	3	21/10/1998	31/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	23/11/1999	18/6/2001	62	81	0,31	30,00	30,30	0,01	C
	5	19/6/2001	18/9/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	19/6/2001	18/9/2001	53	72	0,36	25,88	27,22	0,05	C
	7	19/9/2001	17/11/2001	63	86	0,37	34,87	31,95	0,08	C
	8	19/9/2001	31/12/2005	130	158	0,22	146,55	152,52	0,04	B
	9	18/11/2001	31/12/2005	60	65	0,08	15,46	17,24	0,11	A
	10	20/10/1998	30/4/2010	135	137	0,01	108,19	110,00	0,02	A
	11	3/2/1979	19/10/1998	105	105	0,00	102,81	115,00	0,12	A
	12	28/9/2005	29/12/2006	70	126	0,80	88,02	92,01	0,05	E
	13	30/12/2006	15/12/2007	61	76	0,25	24,45	26,41	0,08	B
	14	16/12/2007	30/4/2010	60	71	0,18	22,55	24,82	0,10	B
	15	18/11/2001	27/9/2005	60	65	0,08	16,86	17,24	0,02	A
	16	1/12/1985	14/11/1986	42	48	0,14	18,96	18,80	0,01	A
	17	15/11/1986	16/12/1987	48	54	0,13	22,74	28,80	0,27	B
	18	3/2/1979	19/10/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	23/12/1989	19/10/1998	32	58	0,81	26,43	28,70	0,09	E
	20	20/10/1998	7/12/1999	57	65	0,14	19,73	23,70	0,20	B
	21	8/12/1999	17/11/2001	53	72	0,36	23,27	27,22	0,17	C
	22	13/12/1972	23/10/1974	90	104	0,16	89,73	87,70	0,02	B
	23	24/10/1974	2/2/1979	55	59	0,07	20,94	21,50	0,03	A
	24	24/10/1974	2/2/1979	90	92	0,02	59,23	68,00	0,15	A
	25	3/2/1979	8/12/1980	56	59	0,05	27,42	27,00	0,02	A
	26	17/12/1987	22/12/1989	46	52	0,13	18,51	20,40	0,10	A

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	27	9/12/1980	30/11/1985	46	54	0,17	20,11	22,30	0,11	B
	28	1/1/1969	12/12/1972	51	54	0,06	20,11	19,50	0,03	A
	29	1/1/1969	12/12/1972	105	106	0,01	105,11	106,00	0,01	A
	30	13/12/1972	23/10/1974	55	56	0,02	20,22	21,20	0,05	A
57560000	1	18/9/1972	15/10/1973	45	57	0,27	34,80	32,10	0,08	C
	2	15/4/1974	1/11/1974	26	32	0,23	22,20	21,70	0,02	B
	3	18/8/1935	15/7/1937	78	78	0,00	22,29	18,60	0,17	B
	4	13/11/1939	26/10/1947	83	86	0,04	26,07	22,90	0,12	A
	5	22/7/1954	9/3/1960	47	62	0,32	15,47	14,40	0,07	C
	6	16/2/1961	5/12/1964	49	55	0,12	12,81	13,20	0,03	A
	7	16/7/1937	12/11/1939	83	91	0,10	23,21	16,60	0,28	B
	8	27/10/1947	21/7/1954	76	86	0,13	20,94	21,70	0,04	A
	9	10/3/1960	15/2/1961	88	222	1,52	137,50	130,00	0,05	E
	10	6/12/1964	12/11/1967	57	59	0,04	22,24	21,40	0,04	A
	11	12/12/1967	30/8/1968	90	92	0,02	39,11	37,60	0,04	A
	12	6/9/1968	23/2/1969	80	103	0,29	45,54	49,40	0,08	C
	13	6/4/1969	21/10/1969	51	53	0,04	19,59	19,30	0,01	A
	14	13/11/1967	11/12/1967	70	68	0,03	33,08	28,80	0,13	A
	15	31/8/1968	5/9/1968	96	322	2,35	257,83	256,00	0,01	E
	16	24/2/1969	5/4/1969	90	90	0,00	45,54	40,80	0,10	A
	17	22/10/1969	17/9/1972	44	53	0,20	25,50	23,60	0,07	B
	18	3/2/1979	10/10/1979	17	36	1,12	34,01	34,60	0,02	E
	19	11/10/1979	13/2/1980	17	42	1,47	45,02	44,30	0,02	E
	20	16/11/1972	13/2/1980	378	360	0,05	359,10	324,00	0,10	A
	21	23/12/1937	1/1/1940	83	91	0,10	19,17	16,60	0,13	A
	22	27/12/1969	15/11/1972	44	53	0,20	26,39	23,60	0,11	B
	23	16/11/1972	15/10/1973	45	57	0,27	32,80	32,10	0,02	C
	24	16/10/1973	4/1/1975	26	32	0,23	22,31	21,70	0,03	B
	25	5/1/1975	15/12/1975	19	32	0,68	29,59	29,60	0,00	D
	26	16/12/1975	8/10/1977	6	12	1,00	20,50	23,30	0,14	E
	27	9/10/1977	2/2/1979	6	16	1,67	27,20	26,40	0,03	E
	28	29/12/1956	16/12/1957	68	242	2,56	131,42	148,00	0,13	E

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	29	17/12/1957	6/1/1965	49	55	0,12	12,49	13,20	0,06	A
	30	7/1/1965	31/12/1966	57	64	0,12	23,71	25,30	0,07	A
	31	1/1/1967	30/11/1967	58	59	0,02	22,53	21,40	0,05	A
	32	1/12/1967	10/12/1968	88	92	0,05	38,85	37,60	0,03	A
	33	11/12/1968	26/12/1969	51	53	0,04	19,35	19,30	0,00	A
	34	18/8/1935	22/12/1937	78	78	0,00	18,51	18,60	0,00	A
	35	2/1/1940	13/12/1948	79	86	0,09	22,55	22,90	0,02	A
	36	14/12/1948	13/6/1952	76	101	0,33	26,49	24,90	0,06	C
	37	14/6/1952	27/1/1955	68	75	0,10	17,07	15,20	0,11	A
	38	28/1/1955	28/12/1956	47	62	0,32	15,39	14,40	0,06	C
57580000	1	31/1/1985	29/11/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	4/2/1979	9/12/1980	55	96	0,75	53,17	57,30	0,08	D
	3	26/12/1977	3/2/1979	52	68	0,31	34,95	34,70	0,01	C
	4	14/12/1975	25/12/1977	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	5	14/12/1975	25/12/1977	82	98	0,20	55,50	54,90	0,01	B
	6	14/12/1975	25/12/1977	46	48	0,04	20,93	21,30	0,02	A
	7	19/11/2001	18/1/2003	38	49	0,29	20,72	20,54	0,01	C
	8	4/2/1979	9/12/1980	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	9/12/1998	30/1/2000	30	38	0,27	19,61	19,90	0,01	C
	10	3/1/1996	19/12/1997	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	6/11/1988	24/1/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	10/12/1980	16/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	13	17/11/1981	30/1/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	17/11/1981	30/1/1985	56	62	0,11	25,58	25,70	0,00	A
	15	3/2/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	10/12/1980	16/11/1981	42	66	0,57	35,29	33,30	0,06	D
	17	20/12/1997	8/12/1998	44	44	0,00	23,34	22,20	0,05	A
	18	30/11/1985	16/12/1987	30	46	0,53	22,83	23,00	0,01	D
	19	3/1/1996	19/12/1997	48	68	0,42	33,77	33,80	0,00	C
	20	27/12/1994	2/1/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/1/1993	26/12/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	22	6/11/1988	24/1/1993	32	51	0,59	27,10	26,10	0,04	D

Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	23	17/12/1987	5/11/1988	43	46	0,07	19,16	19,60	0,02	A
	24	30/11/1985	16/12/1987	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	25/1/1993	26/12/1994	42	60	0,43	29,59	29,60	0,00	C
	26	20/12/1997	8/12/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	27	1/12/1971	13/12/1975	52	63	0,21	26,31	25,90	0,02	B
	28	9/12/1998	30/1/2000	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	27/12/1994	2/1/1996	32	39	0,22	18,67	20,60	0,10	B
	30	19/11/2001	18/1/2003	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	19/1/2003	14/1/2004	48	49	0,02	16,64	18,07	0,09	A
	32	31/1/1985	29/11/1985	88	93	0,06	43,06	44,50	0,03	A
	33	1/1/1971	30/11/1971	49	54	0,10	24,53	22,40	0,09	A
	34	31/1/2000	18/11/2001	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	35	1/12/1971	13/12/1975	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	8/12/2009	2/2/2013	36	45	0,25	21,59	24,29	0,13	B
	37	1/1/1971	30/11/1971	82	220	1,68	174,13	174,00	0,00	E
	38	15/1/2004	6/3/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	39	9/1/2009	7/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	40	1/1/1971	30/11/1971	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	41	19/1/2003	14/1/2004	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	42	15/1/2004	6/3/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	43	15/1/2004	6/3/2005	60	60	0,00	26,96	27,07	0,00	A
	44	31/1/2000	18/11/2001	36	46	0,28	22,22	22,99	0,03	C
	45	3/2/2013	31/12/2014	14	35	1,50	22,49	24,30	0,08	E
	46	7/3/2005	16/12/2005	80	117	0,46	63,46	60,10	0,05	C
	47	9/1/2009	7/12/2009	80	113	0,41	63,46	64,05	0,01	C
	48	17/12/2007	8/1/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	49	17/12/2007	8/1/2009	43	51	0,19	23,92	24,29	0,02	B
	50	7/3/2005	16/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	51	1/1/2007	16/12/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	52	1/1/2007	16/12/2007	50	65	0,30	25,73	26,40	0,03	C
	53	17/12/2005	31/12/2006	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	54	17/12/2005	31/12/2006	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

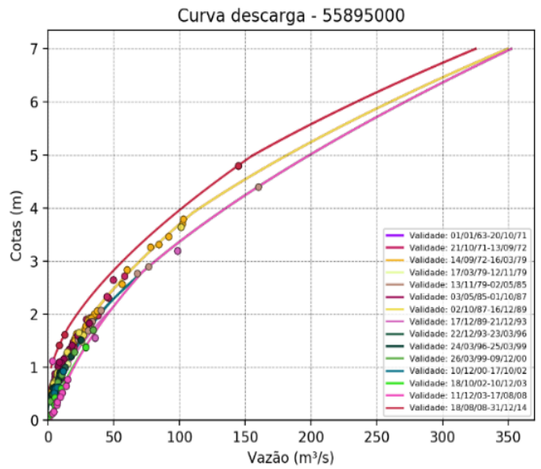
Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	55	17/12/2005	31/12/2006	62	69	0,11	34,08	34,21	0,00	A
57740000	1	4/1/1996	31/12/2009	97	103	0,06	3,99	5,20	0,30	B
	2	1/8/1937	31/12/1948	188	190	0,01	15,38	17,40	0,13	A
	3	1/8/1937	31/12/1948	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	4	1/1/1949	8/8/1950	99	182	0,84	17,40	17,00	0,02	E
	5	22/4/1958	6/6/1963	54	75	0,39	4,40	4,24	0,04	C
	6	11/4/1975	15/4/1977	155	311	1,01	33,46	34,50	0,03	E
	7	16/4/1977	10/8/1982	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	8	16/1/1974	10/4/1975	84	91	0,08	4,67	3,87	0,17	B
	9	7/6/1963	6/11/1963	61	68	0,11	2,23	2,48	0,11	A
	10	11/5/1969	2/1/1972	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	3/1/1972	15/1/1974	88	93	0,06	5,34	4,98	0,07	A
	12	11/5/1969	2/1/1972	79	87	0,10	4,52	4,52	0,00	A
	13	16/4/1977	10/8/1982	205	208	0,01	17,76	16,80	0,05	A
	14	16/4/1977	10/8/1982	90	93	0,03	3,28	3,13	0,05	A
	15	11/4/1975	15/4/1977	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	7/11/1963	10/5/1969	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	11/4/1975	15/4/1977	87	94	0,08	4,45	4,45	0,00	A
	18	16/1/1974	10/4/1975	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	11/5/1969	2/1/1972	226	226	0,00	20,25	19,90	0,02	A
	20	28/11/1987	21/12/1995	120	122	0,02	5,74	6,27	0,09	A
	21	22/12/1995	31/12/2014	88	98	0,11	3,29	2,60	0,21	B
	22	3/1/1972	15/1/1974	222	231	0,04	22,95	23,30	0,02	A
	23	28/11/1987	21/12/1995	202	203	0,00	23,28	23,20	0,00	A
	24	9/8/1950	21/4/1958	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	1/8/1937	31/12/1948	80	91	0,14	2,65	2,43	0,08	A
	26	7/11/1963	10/5/1969	64	87	0,36	4,99	4,94	0,01	C
	27	9/8/1950	21/4/1958	189	284	0,50	29,02	24,80	0,15	D
	28	7/6/1963	6/11/1963	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	29	9/8/1950	21/4/1958	75	92	0,23	2,74	3,11	0,13	B
	30	11/8/1982	27/11/1987	91	97	0,07	3,39	3,39	0,00	A
	31	28/11/1987	21/12/1995	92	105	0,14	2,75	3,69	0,34	B

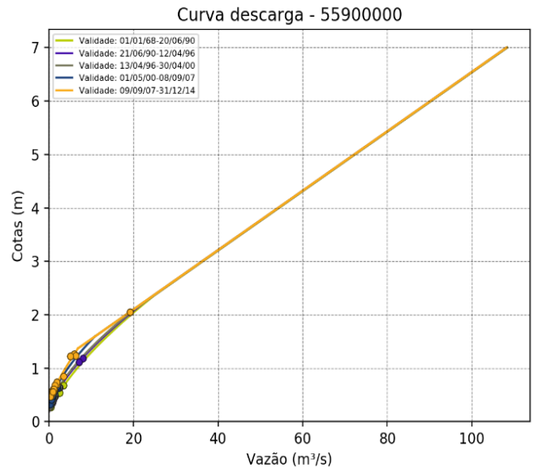
Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	32	7/11/1963	10/5/1969	180	181	0,01	17,00	17,00	0,00	A
57770000	1	1/8/2004	31/12/2009	54	59	0,09	0,60	0,32	0,47	B
	2	14/3/1996	2/11/2003	172	230	0,34	26,09	23,70	0,09	C
	3	31/10/1982	31/3/1986	43	48	0,12	0,78	0,77	0,02	A
	4	25/12/1955	18/12/1957	32	42	0,31	0,25	0,25	0,01	C
	5	1/4/1986	1/11/1991	40	47	0,18	0,62	0,54	0,12	B
	6	1/9/1952	4/1/1954	40	50	0,25	1,01	1,01	0,00	B
	7	2/11/1991	24/9/1993	46	47	0,02	1,00	0,72	0,28	B
	8	2/11/1991	24/9/1993	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	1/1/2006	28/10/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	10	5/1/1954	5/4/1955	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	11	19/12/1957	30/10/1982	171	176	0,03	13,33	13,30	0,00	A
	12	24/6/1994	13/3/1996	40	41	0,03	0,34	0,41	0,20	B
	13	1/1/2006	28/10/2007	54	61	0,13	1,02	0,78	0,24	B
	14	3/11/2003	31/12/2005	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	15	3/11/2003	31/12/2005	52	61	0,17	0,88	0,75	0,15	B
	16	6/4/1955	24/12/1955	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	24/6/1994	13/3/1996	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	25/9/1993	23/6/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	25/9/1993	23/6/1994	69	77	0,12	1,30	1,32	0,02	A
	20	25/9/1993	23/6/1994	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	5/1/1954	5/4/1955	30	43	0,43	0,41	0,42	0,03	C
	22	17/12/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	6/1/2009	16/12/2013	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	24	1/4/1986	1/11/1991	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	25	29/10/2007	5/1/2009	50	59	0,18	0,33	0,32	0,03	B
	26	19/12/1957	30/10/1982	35	43	0,23	0,46	0,44	0,03	B
	27	17/12/2013	31/12/2014	39	48	0,23	0,24	0,24	0,00	B
	28	31/10/1982	31/3/1986	49	55	0,12	1,11	0,81	0,27	B
	29	14/3/1996	2/11/2003	35	41	0,17	0,56	0,55	0,01	B
	30	1/9/1952	4/1/1954	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	31	6/4/1955	24/12/1955	30	38	0,27	0,41	0,39	0,04	C

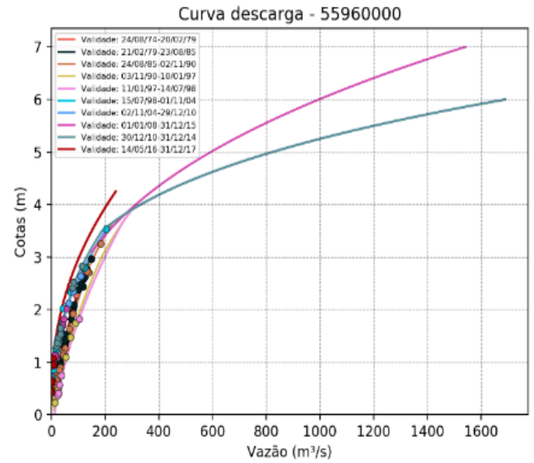
Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	32	6/1/2009	16/12/2013	38	48	0,26	0,60	0,54	0,09	C
	33	29/10/2007	5/1/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	34	29/10/2007	5/1/2009	70	74	0,06	1,20	0,27	0,78	D
	35	25/12/1955	18/12/1957	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	36	14/3/1996	2/11/2003	53	53	0,00	0,89	1,03	0,16	B
	37	17/12/2013	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	38	1/9/1952	4/1/1954	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
57880000	1	8/2/2007	31/12/2009	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	2	11/7/1972	21/4/1973	100	101	0,01	9,74	9,88	0,01	A
	3	11/11/1981	26/12/1984	46	54	0,17	3,51	3,71	0,06	B
	4	1/1/1968	29/11/1971	40	49	0,23	3,06	2,89	0,06	B
	5	10/12/1993	29/6/1995	48	60	0,25	5,29	5,29	0,00	B
	6	30/6/1995	9/8/1998	40	46	0,15	3,19	3,05	0,04	A
	7	10/8/1998	31/12/2005	40	41	0,03	1,94	1,71	0,12	A
	8	1/1/2006	31/12/2014	20	27	0,35	1,75	1,67	0,04	C
	9	10/12/1993	29/6/1995	90	108	0,20	12,11	10,90	0,10	B
	10	27/12/1984	28/12/1985	69	74	0,07	4,70	4,79	0,02	A
	11	11/7/1972	21/4/1973	53	58	0,09	3,99	3,98	0,00	A
	12	30/11/1971	10/7/1972	60	65	0,08	5,41	5,04	0,07	A
	13	29/12/1985	9/12/1993	26	44	0,69	1,87	3,06	0,64	D
	14	22/4/1973	31/3/1977	71	72	0,01	5,36	5,56	0,04	A
	15	27/12/1984	28/12/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	16	1/1/2006	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	30/6/1995	9/8/1998	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	18	22/4/1973	31/3/1977	44	54	0,23	3,14	3,14	0,00	B
	19	1/4/1977	24/12/1977	50	54	0,08	2,64	2,69	0,02	A
	20	1/4/1977	24/12/1977	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	21	25/12/1977	28/12/1978	48	56	0,17	3,24	3,26	0,01	B
	22	25/12/1977	28/12/1978	81	82	0,01	6,55	6,37	0,03	A
	23	29/12/1978	10/11/1981	42	47	0,12	3,52	3,45	0,02	A
	24	29/12/1978	10/11/1981	66	66	0,00	5,54	6,16	0,11	A
	25	11/7/1972	21/4/1973	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E

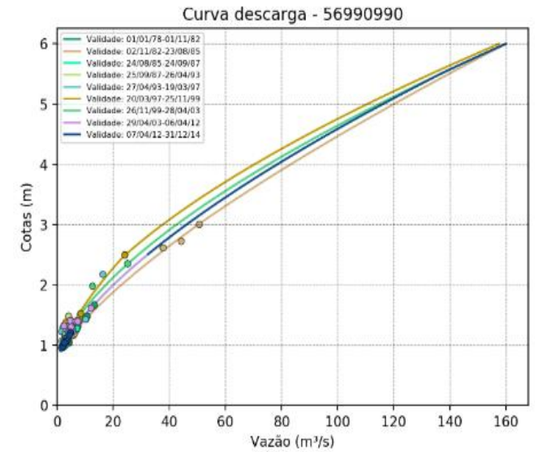
Posto	Curva-chave	Validade		C_0	C_m	$\frac{\lvert C_0 - C_m \rvert}{C_0}$	Q_0	Q_m	$\frac{\lvert Q_0 - Q_m \rvert}{Q_0}$	Nota
		Início	Fim							
	26	10/8/1998	31/12/2005	66	66	0,00	4,70	3,98	0,15	B
	27	29/12/1985	9/12/1993	89	90	0,01	7,60	7,52	0,01	A
57930000	1	9/2/2007	31/12/2009	245	281	0,15	161,75	181,37	0,12	A
	2	12/11/1981	2/12/1983	308	324	0,05	177,28	170,00	0,04	A
	3	8/11/1985	7/1/1992	14	27	0,93	15,49	15,30	0,01	E
	4	8/11/1985	7/1/1992	153	278	0,82	144,62	144,00	0,00	E
	5	8/11/1985	7/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	6	8/11/1985	7/1/1992	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	7	8/1/1992	29/10/2007	10	28	1,80	17,20	17,20	0,00	E
	8	8/1/1992	29/10/2007	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	9	30/10/2007	31/12/2014	4	14	2,50	14,00	11,88	0,15	E
	10	30/10/2007	31/12/2014	29	30	0,03	18,94	21,82	0,15	B
	11	30/10/2007	31/12/2014	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	12	12/11/1981	2/12/1983	363	364	0,00	216,22	216,00	0,00	A
	13	3/12/1983	7/11/1985	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	14	12/11/1981	2/12/1983	231	246	0,06	125,02	123,00	0,02	A
	15	1/1/1957	6/5/1980	363	401	0,10	283,33	293,00	0,03	A
	16	7/5/1980	11/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	17	3/12/1983	7/11/1985	417	418	0,00	277,84	275,00	0,01	A
	18	7/5/1980	11/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	19	12/11/1981	2/12/1983	42	57	0,36	24,60	24,60	0,00	C
	20	1/1/1957	6/5/1980	172	172	0,00	79,05	76,40	0,03	A
	21	1/1/1957	6/5/1980	20	39	0,95	17,77	17,00	0,04	E
	22	7/5/1980	11/11/1981	Fora dos limites	-	-	Fora dos limites	-	-	E
	23	7/5/1980	11/11/1981	30	54	0,80	28,91	29,60	0,02	E
	24	3/12/1983	7/11/1985	46	68	0,48	26,12	27,90	0,07	C

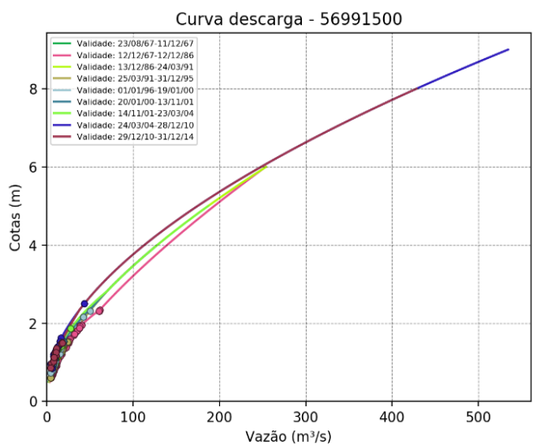
ANEXO K. CURVA DESCARGA DAS ESTAÇÕES SELECIONADAS

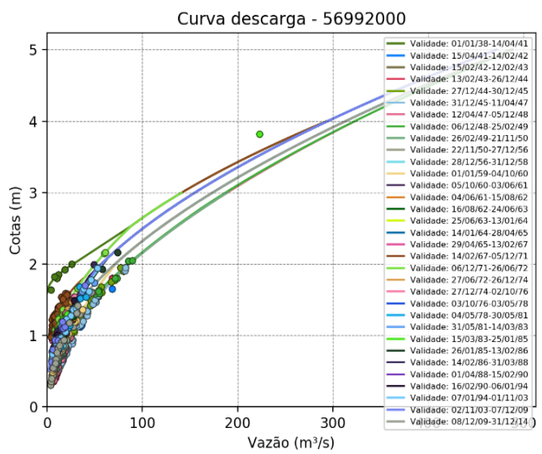


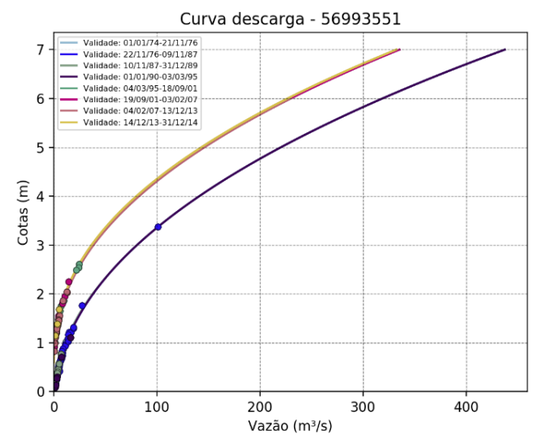


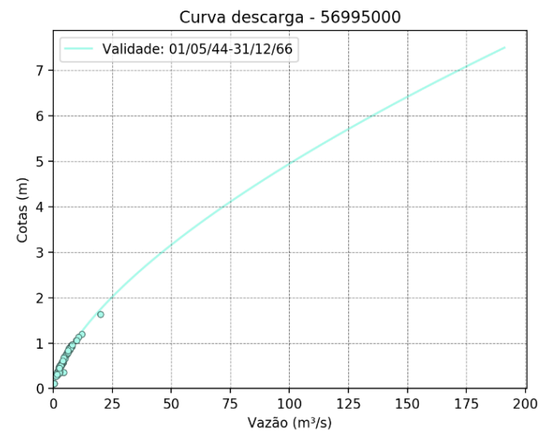


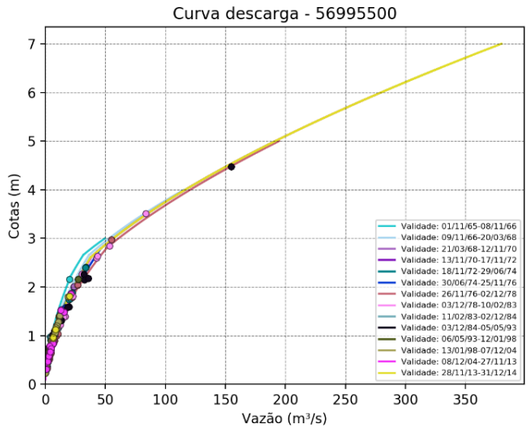


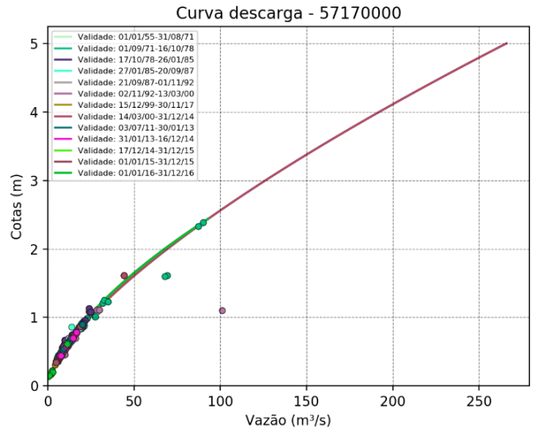


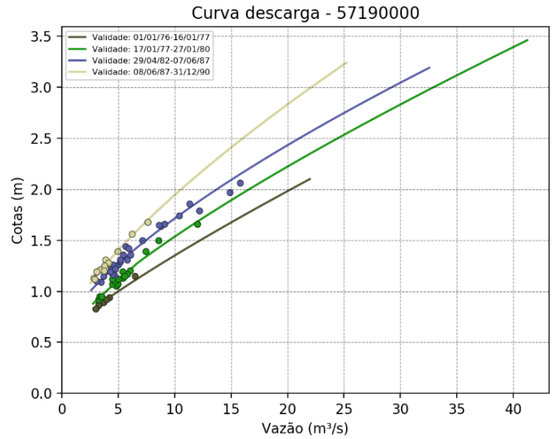


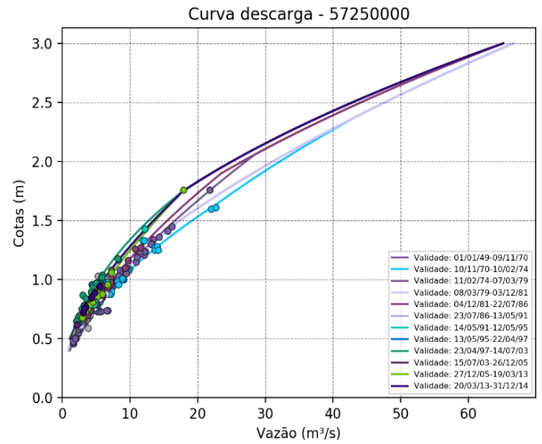


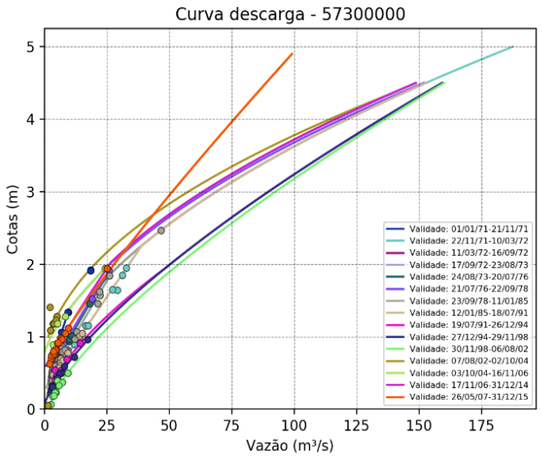


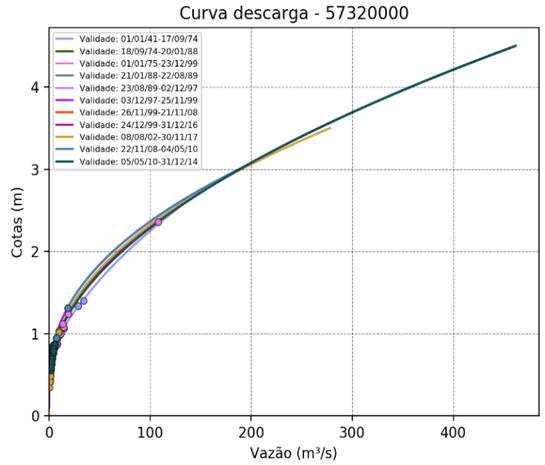

Curva descarga - 56995500
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/11/65-08/11/66
Validade: 09/11/66-20/03/68
Validade: 21/03/68-12/11/70
Validade: 13/11/70-17/11/72
Validade: 18/11/72-29/06/74
Validade: 30/06/74-25/11/76
Validade: 26/11/76-02/12/78
Validade: 03/12/78-10/02/83
Validade: 11/02/83-02/12/84
Validade: 03/12/84-05/05/93
Validade: 06/05/93-12/01/98
Validade: 13/01/98-07/12/04
Validade: 08/12/04-27/11/13
Validade: 28/11/13-31/12/14

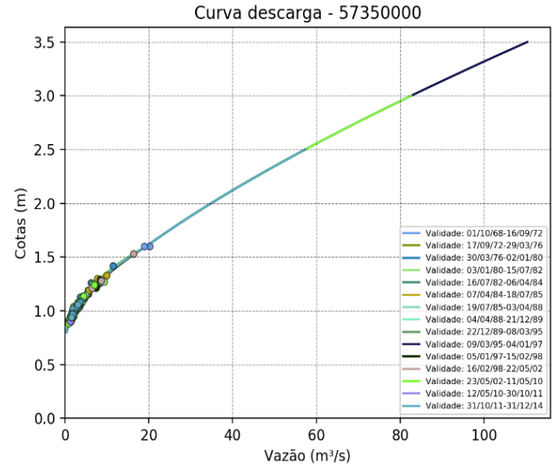

Curva descarga - 57170000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/55-31/08/71
Validade: 01/09/71-16/10/78
Validade: 17/10/78-26/01/85
Validade: 27/01/85-20/09/87
Validade: 21/09/87-01/11/92
Validade: 02/11/92-13/03/00
Validade: 15/12/99-30/11/17
Validade: 14/03/00-31/12/14
Validade: 03/07/11-30/01/13
Validade: 31/01/13-16/12/14
Validade: 17/12/14-31/12/15
Validade: 01/01/15-31/12/15
Validade: 01/01/16-31/12/16

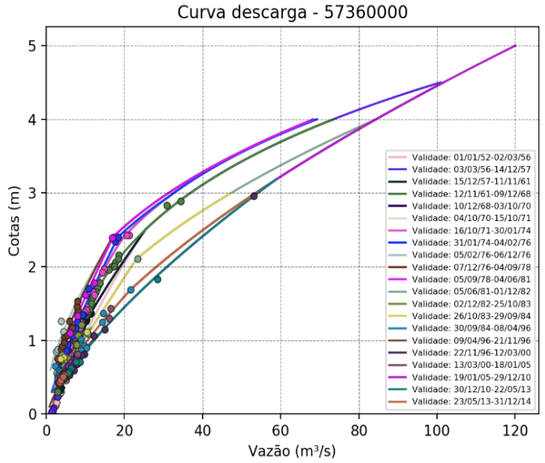

Curva descarga - 57190000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/76-16/01/77
Validade: 17/01/77-27/01/80
Validade: 29/04/82-07/06/87
Validade: 08/06/87-31/12/90

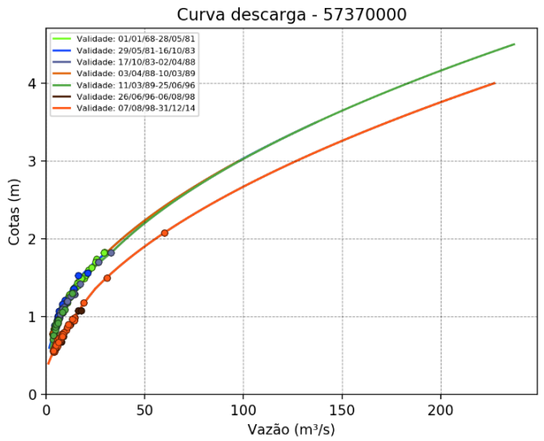

Curva descarga - 57250000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/49-09/11/70
Validade: 10/11/70-10/02/74
Validade: 11/02/74-07/03/79
Validade: 08/03/79-03/12/81
Validade: 04/12/81-22/07/86
Validade: 23/07/86-13/05/91
Validade: 14/05/91-12/05/95
Validade: 13/05/95-22/04/97
Validade: 23/04/97-14/07/03
Validade: 15/07/03-26/12/05
Validade: 27/12/05-19/03/13
Validade: 20/03/13-31/12/14

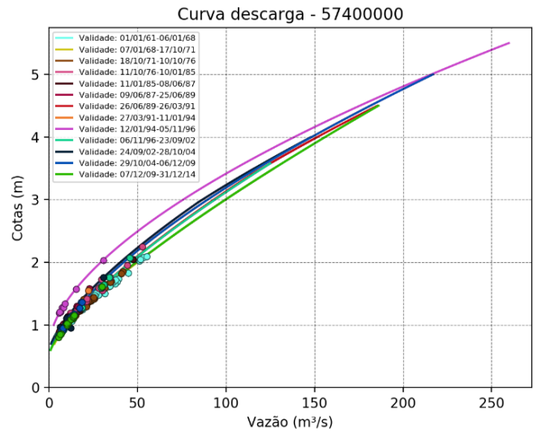

Curva descarga - 57300000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/71-21/11/71
Validade: 22/11/71-10/03/72
Validade: 11/03/72-16/09/72
Validade: 17/09/72-23/08/73
Validade: 24/08/73-20/07/76
Validade: 21/07/76-22/09/78
Validade: 23/09/78-11/01/85
Validade: 12/01/85-18/07/91
Validade: 19/07/91-26/12/94
Validade: 27/12/94-29/11/98
Validade: 30/11/98-06/08/02
Validade: 07/08/02-02/10/04
Validade: 03/10/04-16/11/06
Validade: 17/11/06-31/12/14
Validade: 26/05/07-31/12/15

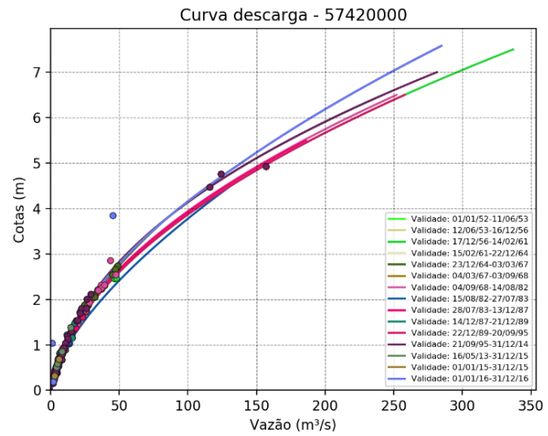

Curva descarga - 57320000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/41-17/09/74
Validade: 18/09/74-20/01/88
Validade: 01/01/75-23/12/99
Validade: 21/01/88-22/08/89
Validade: 23/08/89-02/12/97
Validade: 03/12/97-25/11/99
Validade: 26/11/99-21/11/08
Validade: 24/12/99-31/12/16
Validade: 08/08/02-30/11/17
Validade: 22/11/08-04/05/10
Validade: 05/05/10-31/12/14

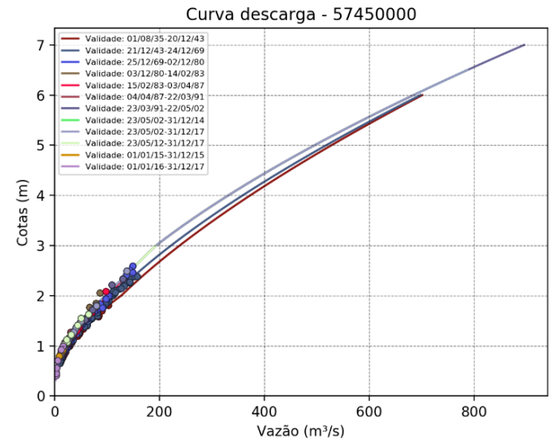

Curva descarga - 57350000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/10/68-16/09/72
Validade: 17/09/72-29/03/76
Validade: 30/03/76-02/01/80
Validade: 03/01/80-15/07/82
Validade: 16/07/82-06/04/84
Validade: 07/04/84-18/07/85
Validade: 19/07/85-03/04/88
Validade: 04/04/88-21/12/89
Validade: 22/12/89-08/03/95
Validade: 09/03/95-04/01/97
Validade: 05/01/97-15/02/98
Validade: 16/02/98-22/05/02
Validade: 23/05/02-11/05/10
Validade: 12/05/10-30/10/11
Validade: 31/10/11-31/12/14

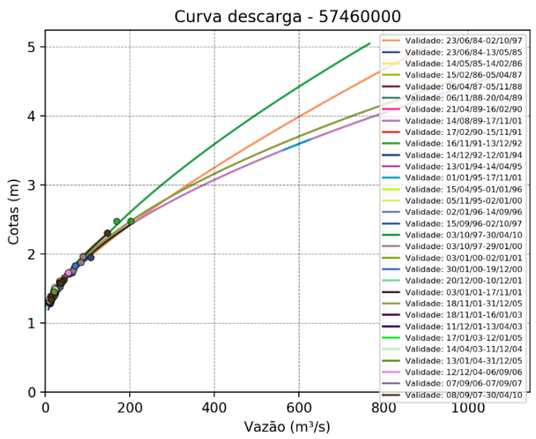

Curva descarga - 57360000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/52-02/03/56
Validade: 03/03/56-14/12/57
Validade: 15/12/57-11/11/61
Validade: 12/11/61-09/12/68
Validade: 10/12/68-03/10/70
Validade: 04/10/70-15/10/71
Validade: 16/10/71-30/01/74
Validade: 31/01/74-04/02/76
Validade: 05/02/76-06/12/76
Validade: 07/12/76-04/09/78
Validade: 05/09/78-04/06/81
Validade: 05/06/81-01/12/82
Validade: 02/12/82-25/10/83
Validade: 26/10/83-29/09/84
Validade: 30/09/84-08/04/96
Validade: 09/04/96-21/11/96
Validade: 22/11/96-12/03/00
Validade: 13/03/00-18/01/05
Validade: 19/01/05-29/12/10
Validade: 30/12/10-22/05/13
Validade: 23/05/13-31/12/14

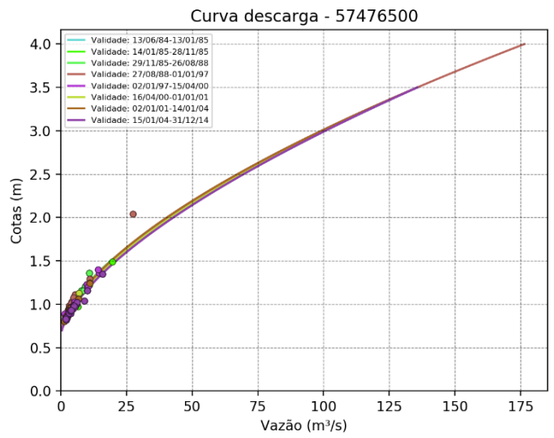

Curva descarga - 57370000
Validade: 01/01/68-28/05/81
Validade: 29/05/81-16/10/83
Validade: 17/10/83-02/04/88
Validade: 03/04/88-10/03/89
Validade: 11/03/89-25/06/96
Validade: 26/06/96-06/08/98
Validade: 07/08/98-31/12/14
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

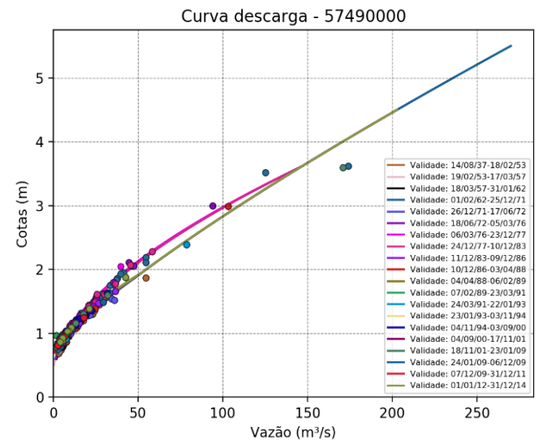

Curva descarga - 57400000
Validade: 01/01/61-06/01/68
Validade: 07/01/68-17/10/71
Validade: 18/10/71-10/10/76
Validade: 11/10/76-10/01/85
Validade: 11/01/85-08/06/87
Validade: 09/06/87-25/06/89
Validade: 26/06/89-26/03/91
Validade: 27/03/91-11/01/94
Validade: 12/01/94-05/11/96
Validade: 06/11/96-23/09/02
Validade: 24/09/02-28/10/04
Validade: 29/10/04-06/12/09
Validade: 07/12/09-31/12/14
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

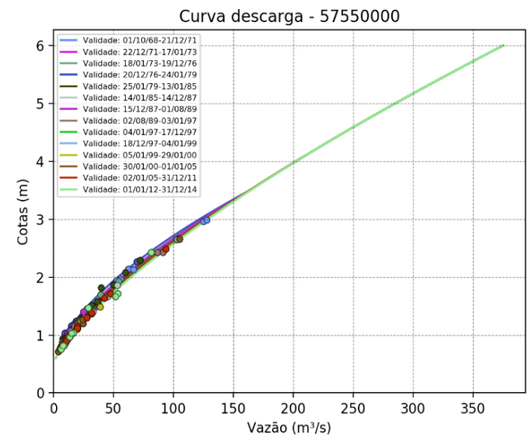

Curva descarga - 57420000
Validade: 01/01/52-11/06/53
Validade: 12/06/53-16/12/56
Validade: 17/12/56-14/02/61
Validade: 15/02/61-22/12/64
Validade: 23/12/64-03/03/67
Validade: 04/03/67-03/09/68
Validade: 04/09/68-14/08/82
Validade: 15/08/82-27/07/83
Validade: 28/07/83-13/12/87
Validade: 14/12/87-21/12/89
Validade: 22/12/89-20/09/95
Validade: 21/09/95-31/12/14
Validade: 16/05/13-31/12/15
Validade: 01/01/15-31/12/15
Validade: 01/01/16-31/12/16
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

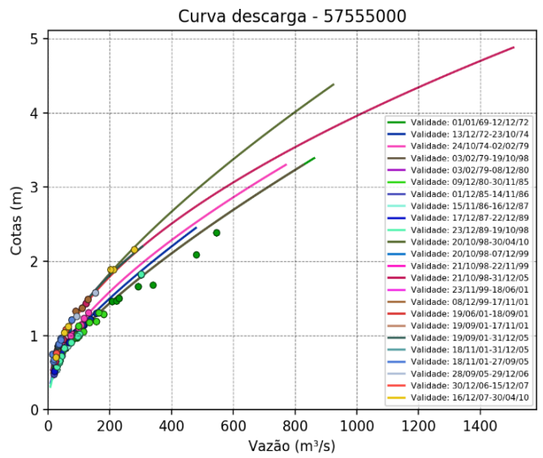

Curva descarga - 57450000
Validade: 01/08/35-20/12/43
Validade: 21/12/43-24/12/69
Validade: 25/12/69-02/12/80
Validade: 03/12/80-14/02/83
Validade: 15/02/83-03/04/87
Validade: 04/04/87-22/03/91
Validade: 23/03/91-22/05/02
Validade: 23/05/02-31/12/14
Validade: 23/05/02-31/12/17
Validade: 23/05/12-31/12/17
Validade: 01/01/15-31/12/15
Validade: 01/01/16-31/12/17
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

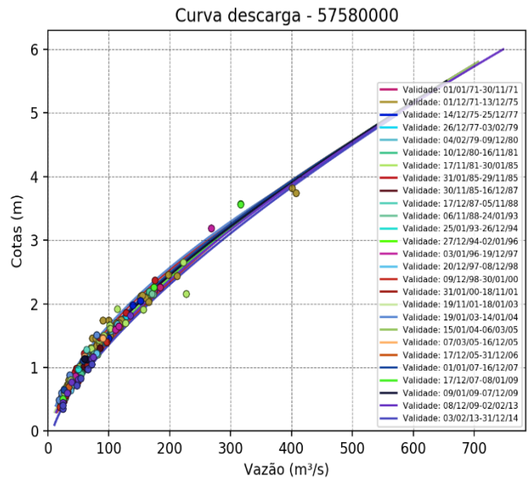

Curva descarga - 57460000
Validade: 23/06/84-02/10/97
Validade: 23/06/84-13/05/85
Validade: 14/05/85-14/02/86
Validade: 15/02/86-05/04/87
Validade: 06/04/87-05/11/88
Validade: 06/11/88-20/04/89
Validade: 21/04/89-16/02/90
Validade: 14/08/89-17/11/01
Validade: 17/02/90-15/11/91
Validade: 16/11/91-13/12/92
Validade: 14/12/92-12/01/94
Validade: 13/01/94-14/04/95
Validade: 01/01/95-17/11/01
Validade: 15/04/95-01/01/96
Validade: 05/11/95-02/01/00
Validade: 02/01/96-14/09/96
Validade: 15/09/96-02/10/97
Validade: 03/10/97-30/04/10
Validade: 03/10/97-29/01/00
Validade: 03/01/00-02/01/01
Validade: 30/01/00-19/12/00
Validade: 20/12/00-10/12/01
Validade: 03/01/01-17/11/01
Validade: 18/11/01-31/12/05
Validade: 18/11/01-16/01/03
Validade: 11/12/01-13/04/03
Validade: 17/01/03-12/01/05
Validade: 14/04/03-11/12/04
Validade: 13/01/04-31/12/05
Validade: 12/12/04-06/09/06
Validade: 07/09/06-07/09/07
Validade: 08/09/07-30/04/10
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

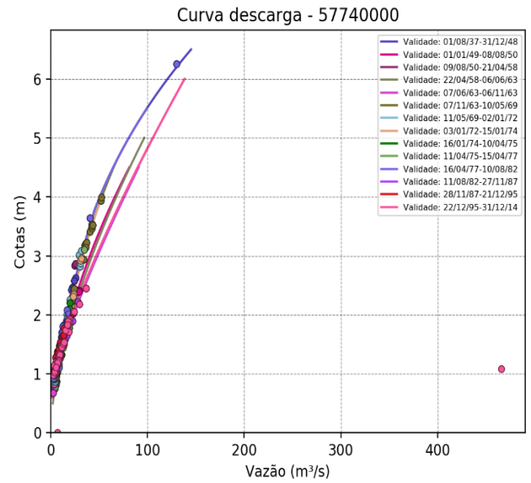

Curva descarga - 57476500
Validade: 13/06/84-13/01/85
Validade: 14/01/85-28/11/85
Validade: 29/11/85-26/08/88
Validade: 27/08/88-01/01/97
Validade: 02/01/97-15/04/00
Validade: 16/04/00-01/01/01
Validade: 02/01/01-14/01/04
Validade: 15/01/04-31/12/14
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

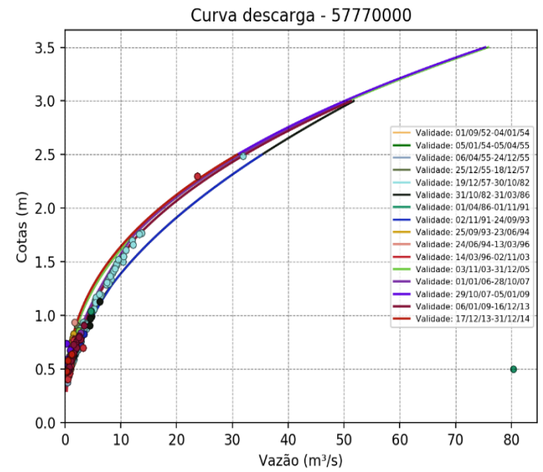

Curva descarga - 57490000
Validade: 14/08/37-18/02/53
Validade: 19/02/53-17/03/57
Validade: 18/03/57-31/01/62
Validade: 01/02/62-25/12/71
Validade: 26/12/71-17/06/72
Validade: 18/06/72-05/03/76
Validade: 06/03/76-23/12/77
Validade: 24/12/77-10/12/83
Validade: 11/12/83-09/12/86
Validade: 10/12/86-03/04/88
Validade: 04/04/88-06/02/89
Validade: 07/02/89-23/03/91
Validade: 24/03/91-22/01/93
Validade: 23/01/93-03/11/94
Validade: 04/11/94-03/09/00
Validade: 04/09/00-17/11/01
Validade: 18/11/01-23/01/09
Validade: 24/01/09-06/12/09
Validade: 07/12/09-31/12/11
Validade: 01/01/12-31/12/14
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

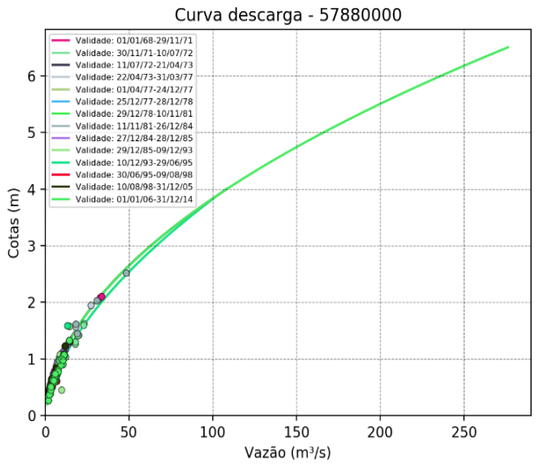

Curva descarga - 57550000
Validade: 01/10/68-21/12/71
Validade: 22/12/71-17/01/73
Validade: 18/01/73-19/12/76
Validade: 20/12/76-24/01/79
Validade: 25/01/79-13/01/85
Validade: 14/01/85-14/12/87
Validade: 15/12/87-01/08/89
Validade: 02/08/89-03/01/97
Validade: 04/01/97-17/12/97
Validade: 18/12/97-04/01/99
Validade: 05/01/99-29/01/00
Validade: 30/01/00-01/01/05
Validade: 02/01/05-31/12/11
Validade: 01/01/12-31/12/14
Cotas (m)
Vazão (m³/s)

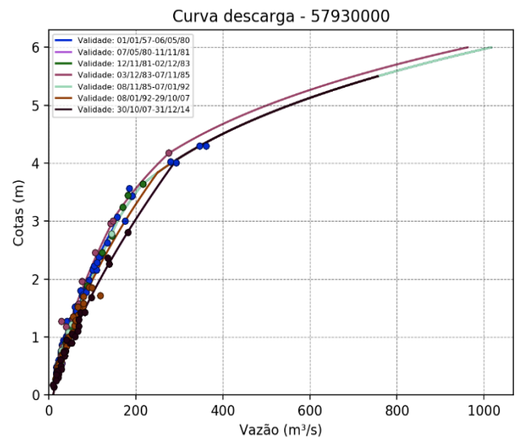

Curva descarga - 57555000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/69-12/12/72
Validade: 13/12/72-23/10/74
Validade: 24/10/74-02/02/79
Validade: 03/02/79-19/10/98
Validade: 03/02/79-08/12/80
Validade: 09/12/80-30/11/85
Validade: 01/12/85-14/11/86
Validade: 15/11/86-16/12/87
Validade: 17/12/87-22/12/89
Validade: 23/12/89-19/10/98
Validade: 20/10/98-30/04/10
Validade: 20/10/98-07/12/99
Validade: 21/10/98-22/11/99
Validade: 21/10/98-31/12/05
Validade: 23/11/99-18/06/01
Validade: 08/12/99-17/11/01
Validade: 19/06/01-18/09/01
Validade: 19/09/01-17/11/01
Validade: 19/09/01-31/12/05
Validade: 18/11/01-31/12/05
Validade: 18/11/01-27/09/05
Validade: 28/09/05-29/12/06
Validade: 30/12/06-15/12/07
Validade: 16/12/07-30/04/10


Curva descarga - 57580000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/71-30/11/71
Validade: 01/12/71-13/12/75
Validade: 14/12/75-25/12/77
Validade: 26/12/77-03/02/79
Validade: 04/02/79-09/12/80
Validade: 10/12/80-16/11/81
Validade: 17/11/81-30/01/85
Validade: 31/01/85-29/11/85
Validade: 30/11/85-16/12/87
Validade: 17/12/87-05/11/88
Validade: 06/11/88-24/01/93
Validade: 25/01/93-26/12/94
Validade: 27/12/94-02/01/96
Validade: 03/01/96-19/12/97
Validade: 20/12/97-08/12/98
Validade: 09/12/98-30/01/00
Validade: 31/01/00-18/11/01
Validade: 19/11/01-18/01/03
Validade: 19/01/03-14/01/04
Validade: 15/01/04-06/03/05
Validade: 07/03/05-16/12/05
Validade: 17/12/05-31/12/06
Validade: 01/01/07-16/12/07
Validade: 17/12/07-08/01/09
Validade: 09/01/09-07/12/09
Validade: 08/12/09-02/02/13
Validade: 03/02/13-31/12/14


Curva descarga - 57740000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/08/37-31/12/48
Validade: 01/01/49-08/08/50
Validade: 09/08/50-21/04/58
Validade: 22/04/58-06/06/63
Validade: 07/06/63-06/11/63
Validade: 07/11/63-10/05/69
Validade: 11/05/69-02/01/72
Validade: 03/01/72-15/01/74
Validade: 16/01/74-10/04/75
Validade: 11/04/75-15/04/77
Validade: 16/04/77-10/08/82
Validade: 11/08/82-27/11/87
Validade: 28/11/87-21/12/95
Validade: 22/12/95-31/12/14

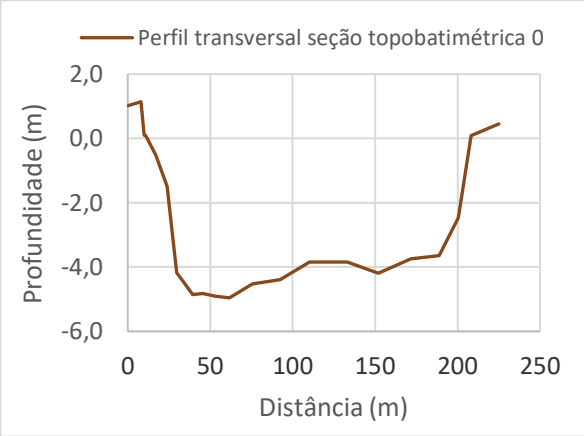

Curva descarga - 57770000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/09/52-04/01/54
Validade: 05/01/54-05/04/55
Validade: 06/04/55-24/12/55
Validade: 25/12/55-18/12/57
Validade: 19/12/57-30/10/82
Validade: 31/10/82-31/03/86
Validade: 01/04/86-01/11/91
Validade: 02/11/91-24/09/93
Validade: 25/09/93-23/06/94
Validade: 24/06/94-13/03/96
Validade: 14/03/96-02/11/03
Validade: 03/11/03-31/12/05
Validade: 01/01/06-28/10/07
Validade: 29/10/07-05/01/09
Validade: 06/01/09-16/12/13
Validade: 17/12/13-31/12/14

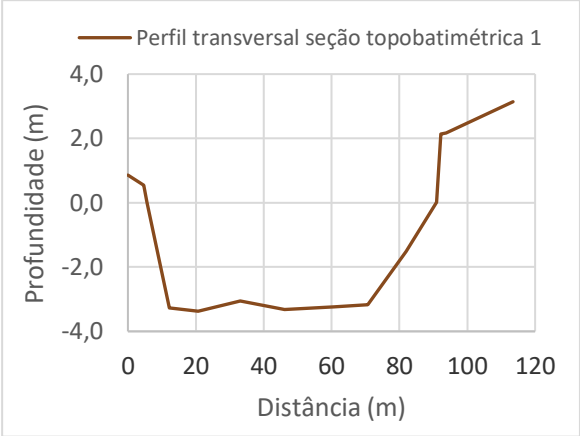

Curva descarga - 57880000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/68-29/11/71
Validade: 30/11/71-10/07/72
Validade: 11/07/72-21/04/73
Validade: 22/04/73-31/03/77
Validade: 01/04/77-24/12/77
Validade: 25/12/77-28/12/78
Validade: 29/12/78-10/11/81
Validade: 11/11/81-26/12/84
Validade: 27/12/84-28/12/85
Validade: 29/12/85-09/12/93
Validade: 10/12/93-29/06/95
Validade: 30/06/95-09/08/98
Validade: 10/08/98-31/12/05
Validade: 01/01/06-31/12/14

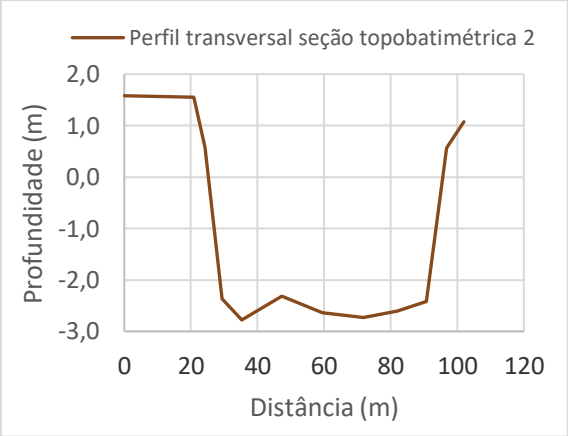

Curva descarga - 57930000
Cotas (m)
Vazão (m³/s)
Validade: 01/01/57-06/05/80
Validade: 07/05/80-11/11/81
Validade: 12/11/81-02/12/83
Validade: 03/12/83-07/11/85
Validade: 08/11/85-07/01/92
Validade: 08/01/92-29/10/07
Validade: 30/10/07-31/12/14

ANEXO L. SEÇÕES TRANSVERSAIS LEVANTADAS

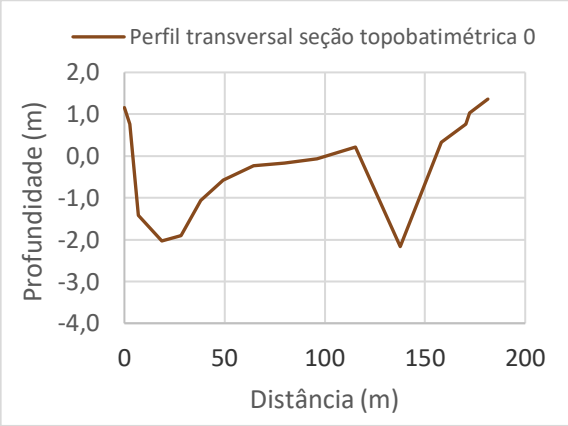
São Mateus

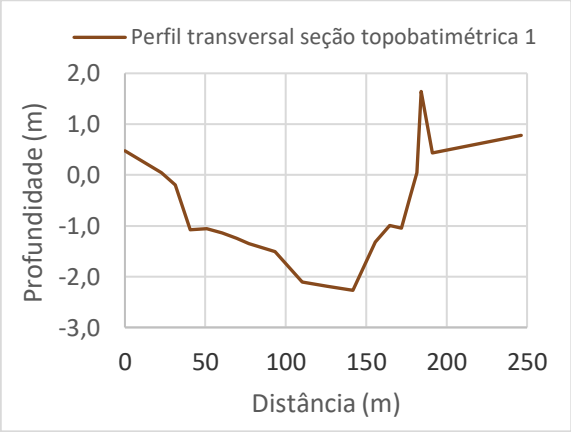


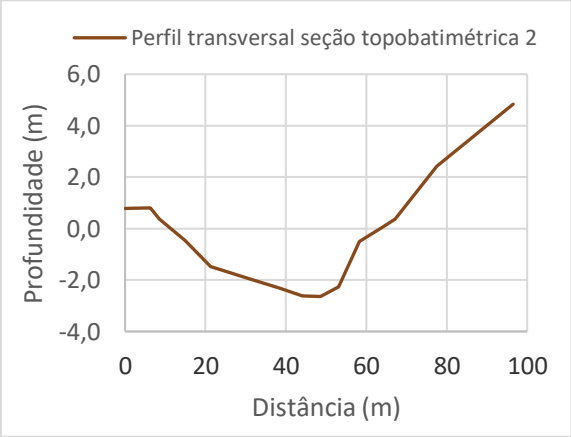




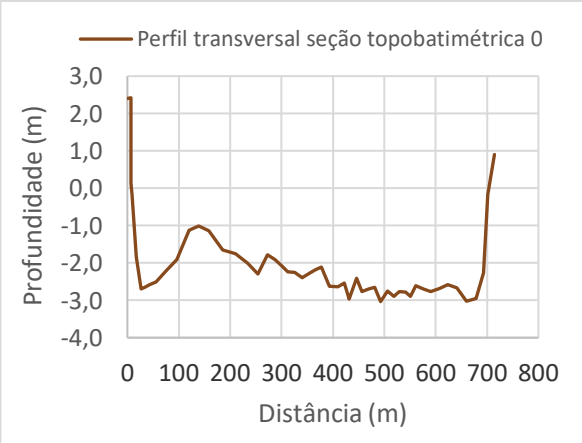
Ranchinho

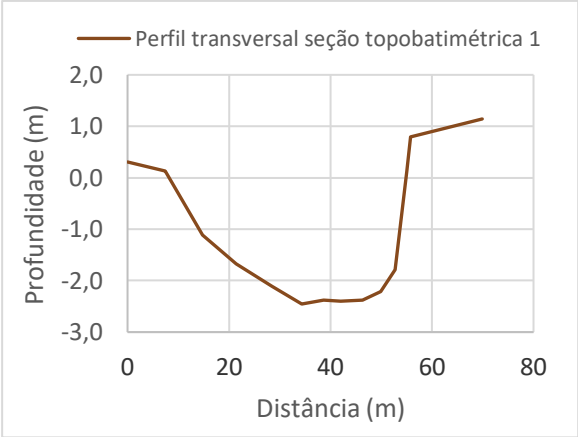


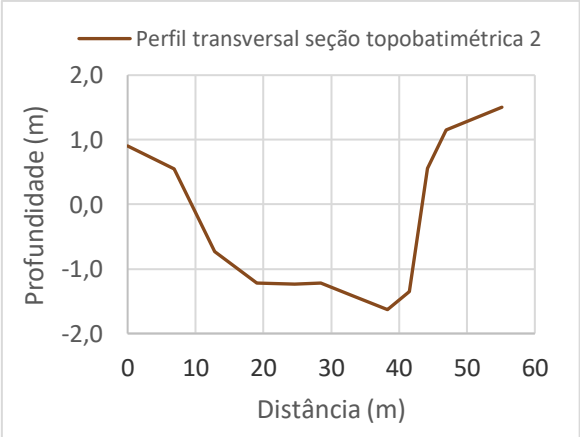




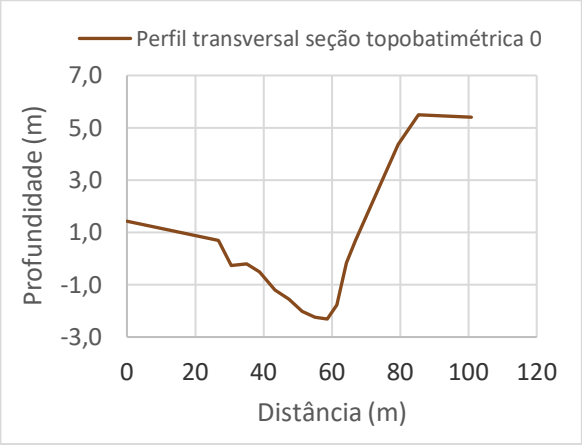
Conceição da Barra

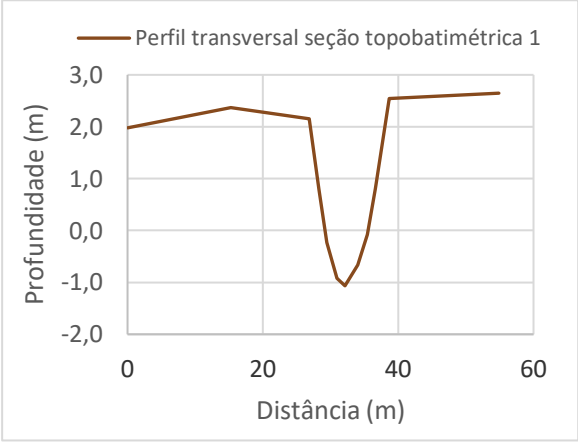


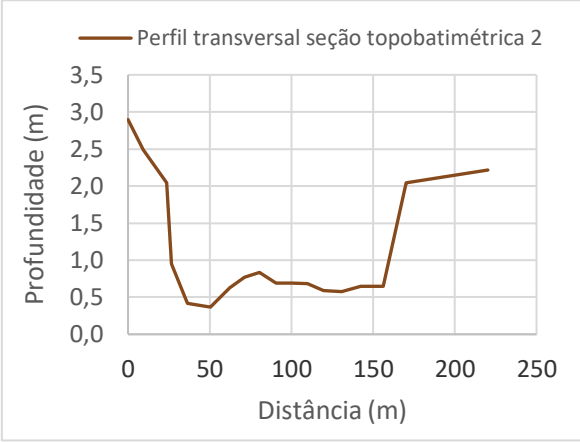




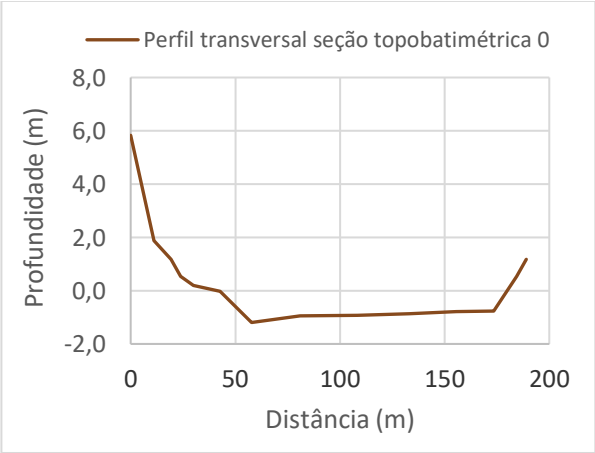
Degredo

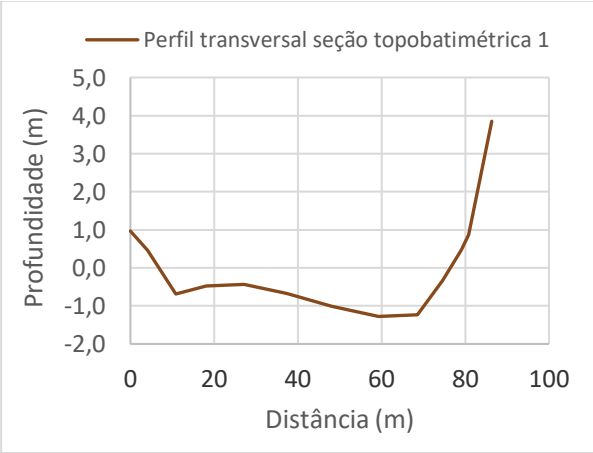


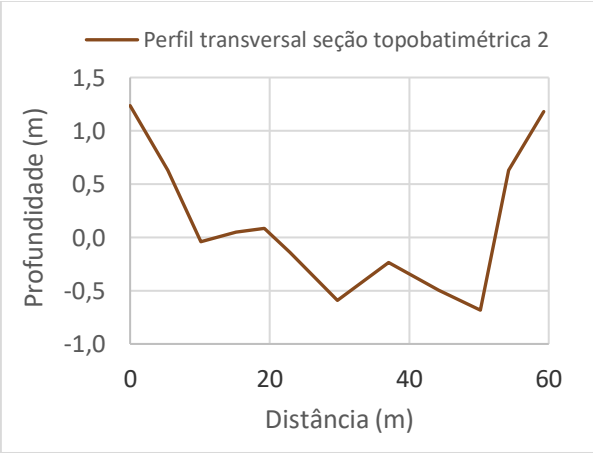




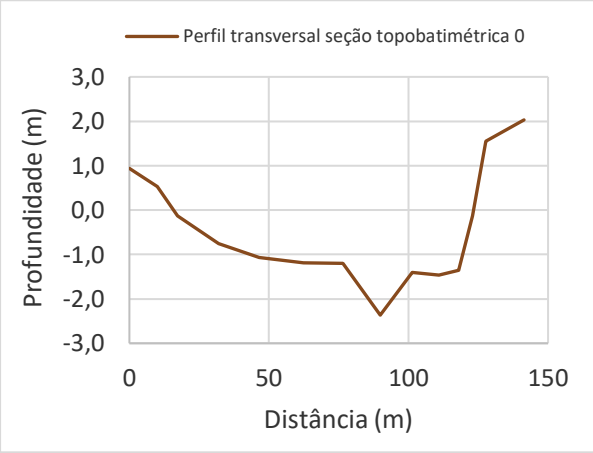
Barra Seca

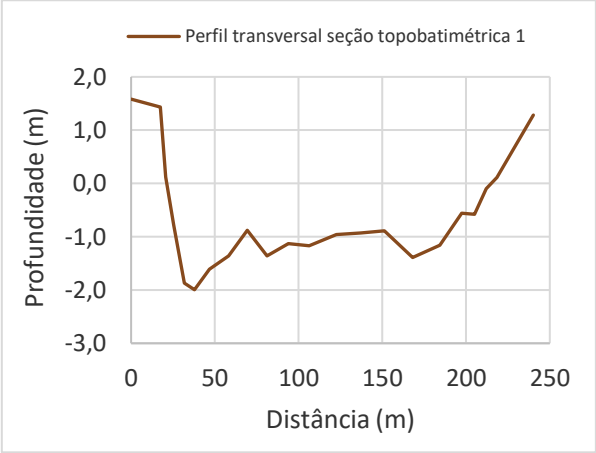


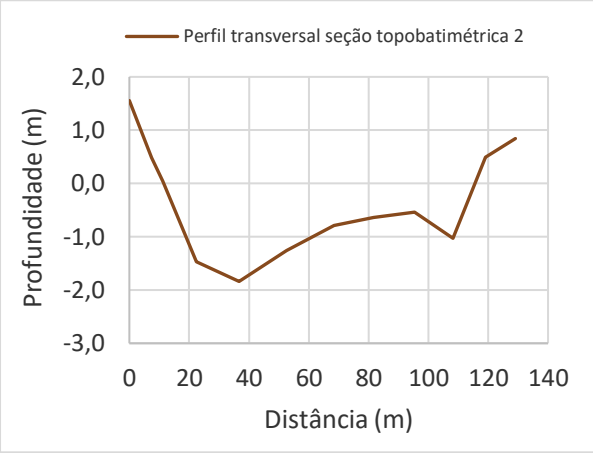




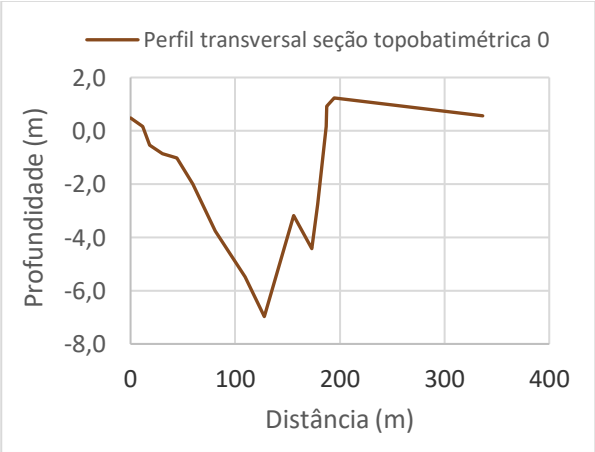
Nova Almeida

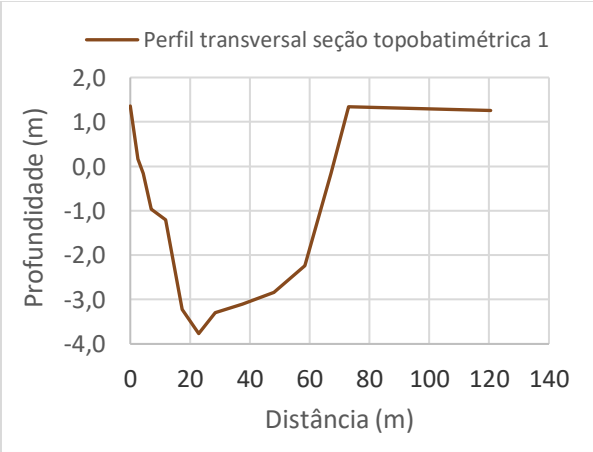




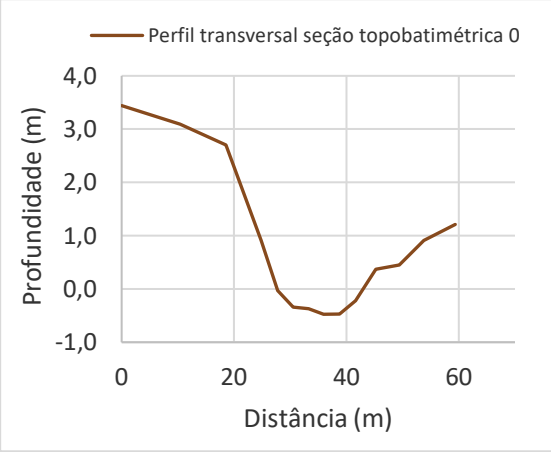


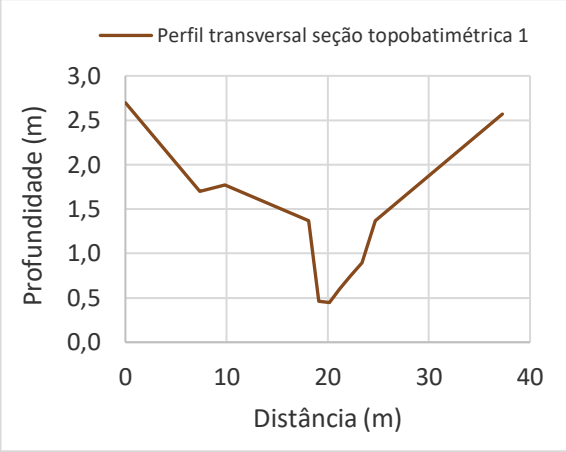
Barra Nova



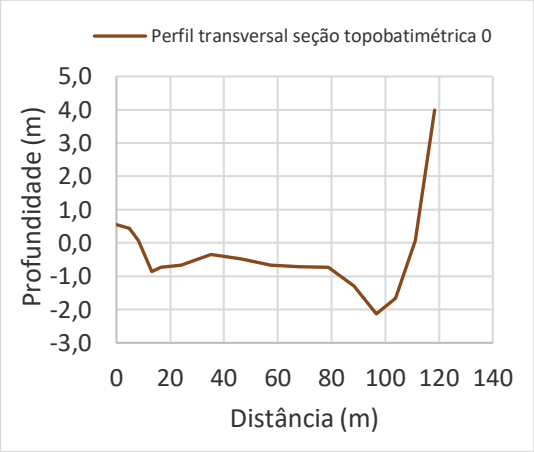


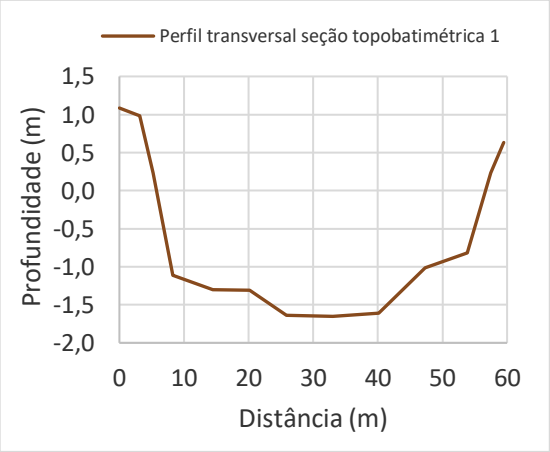
Barra do Sahy



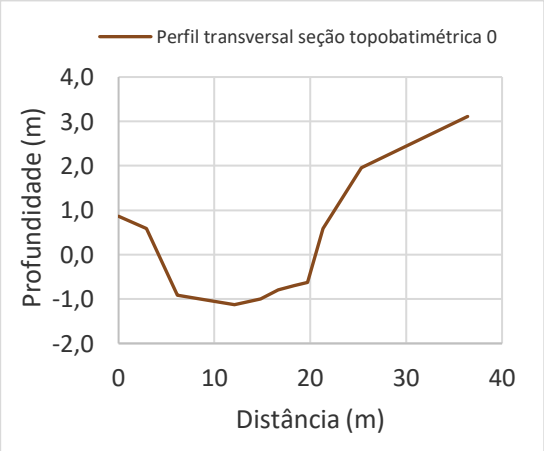


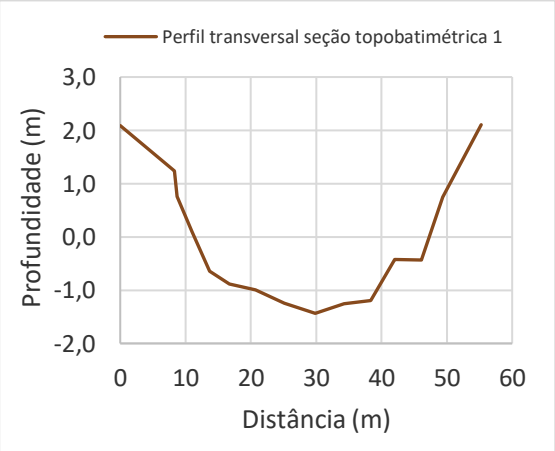
Barra do Riacho



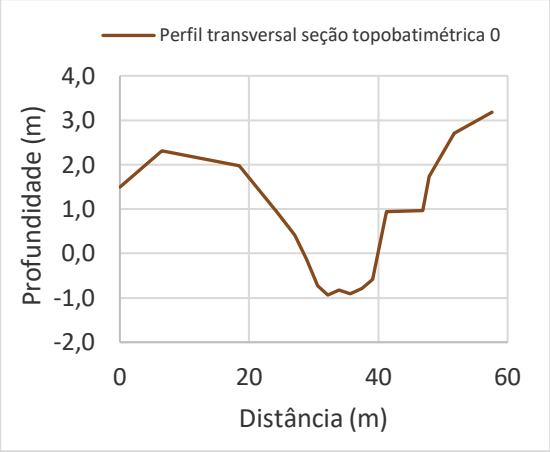


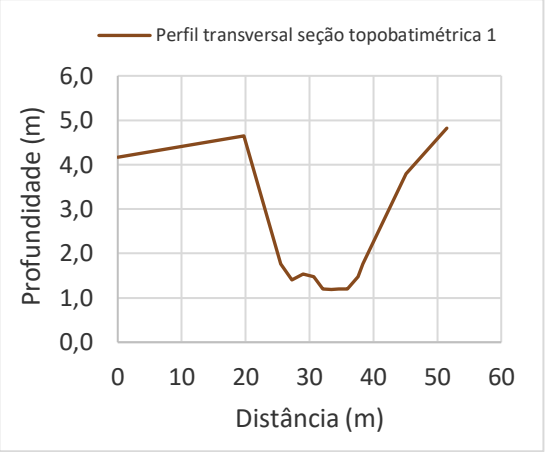
Vila do Riacho



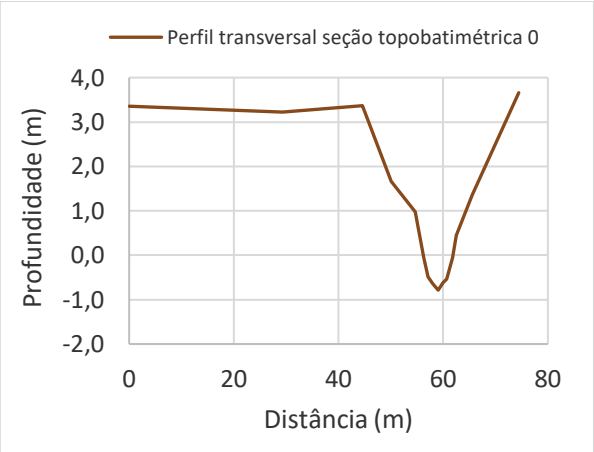


Regência





Sauê



ANEXO M. TRECHOS DE CONEXÃO DO MANANCIAL COM O MAR

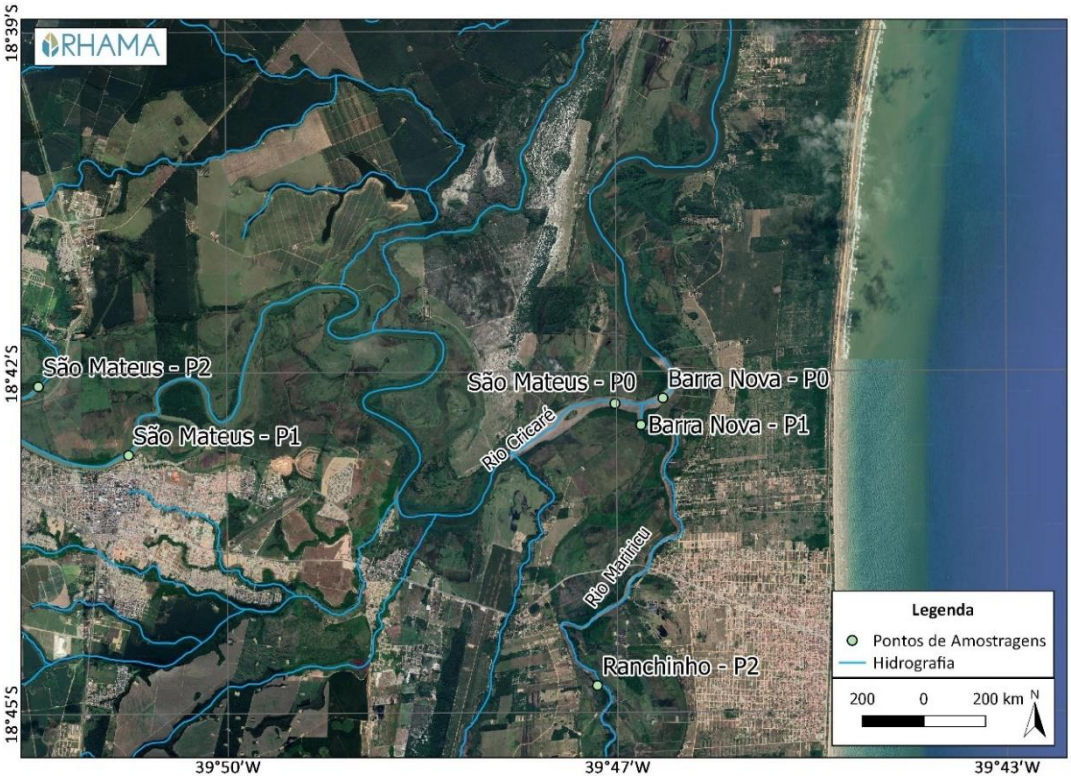


Figura 32. Localização das seções das localidades de Barra Nova e São Mateus – ES.

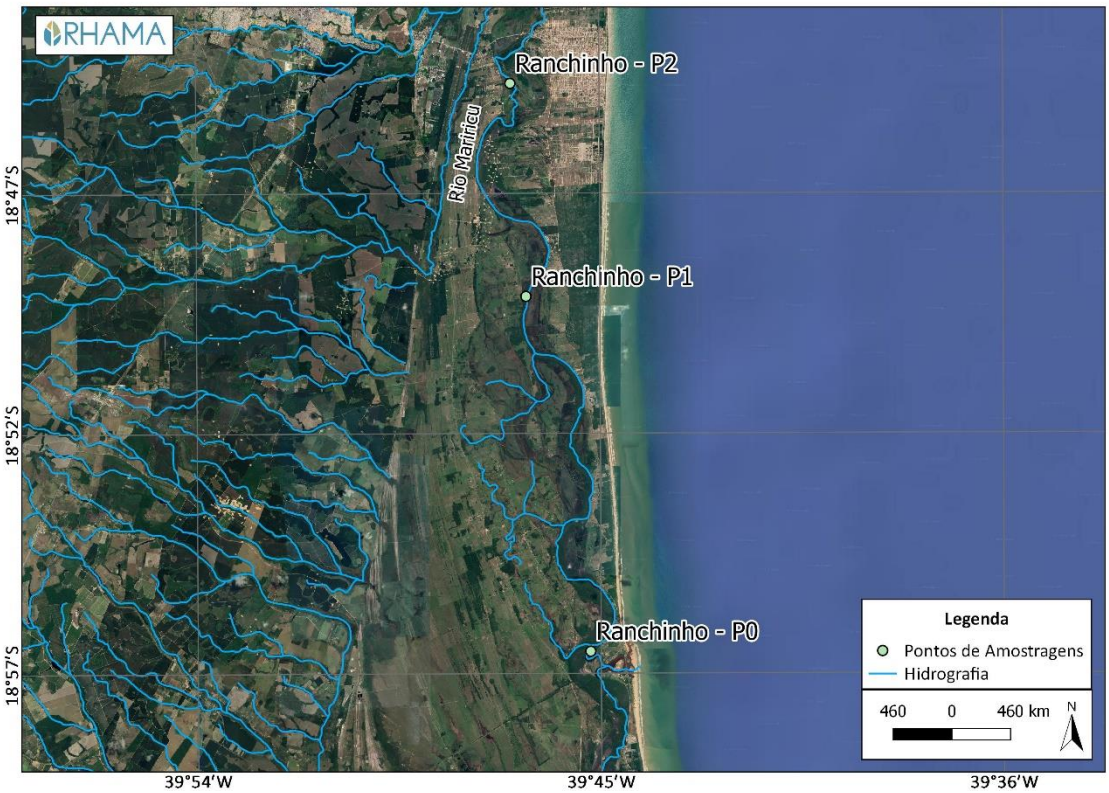


Figura 33. Localização das seções da localidade de Ranchinho – ES.

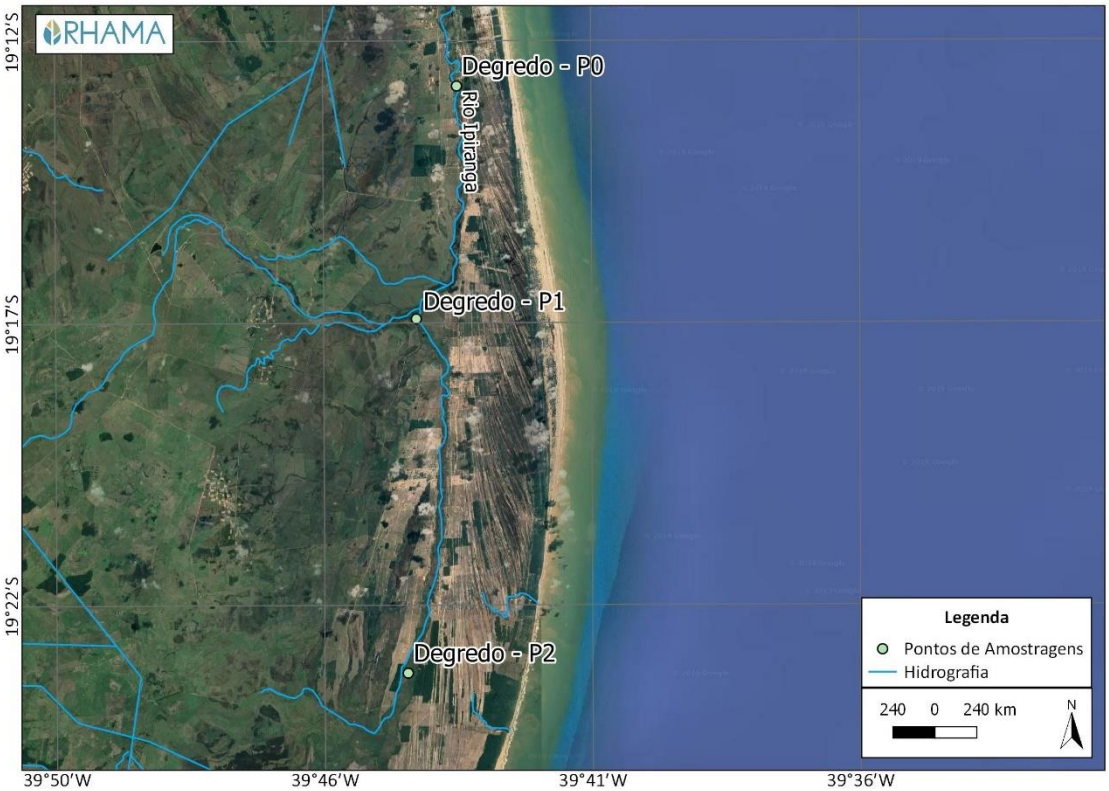


Figura 34. Localização das seções da localidade de Degredo – ES.

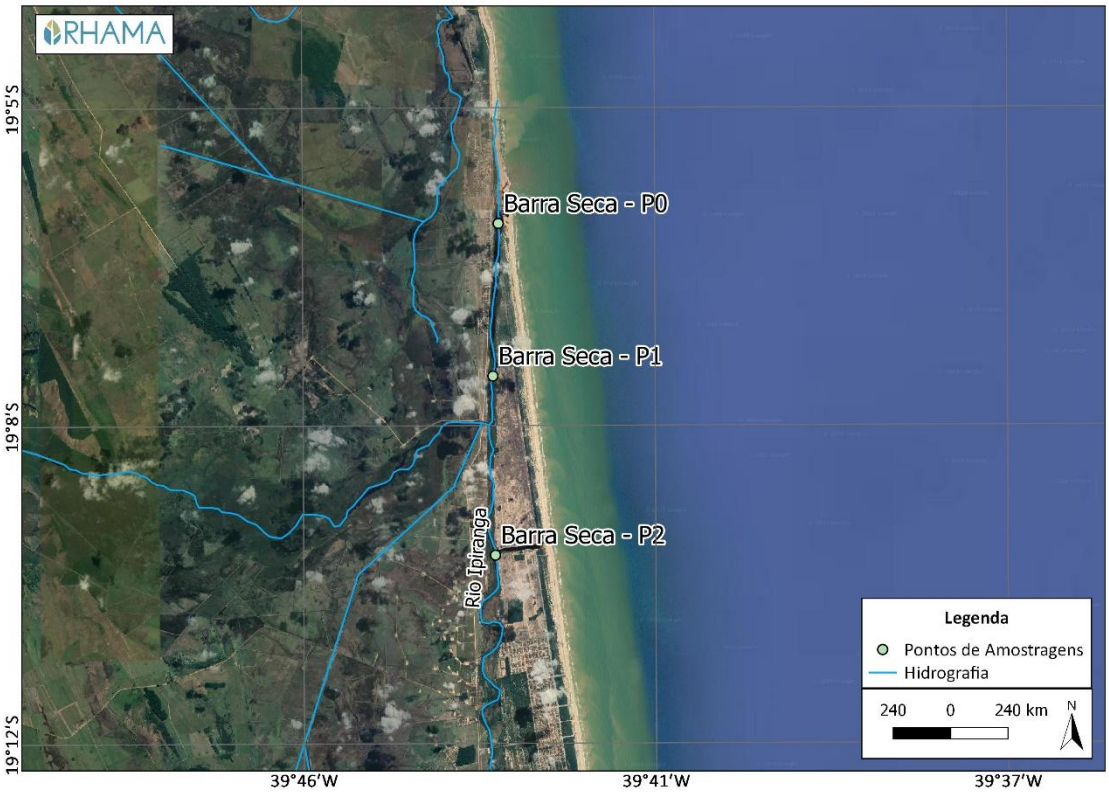


Figura 35. Localização das seções da localidade de Barra Seca – ES.

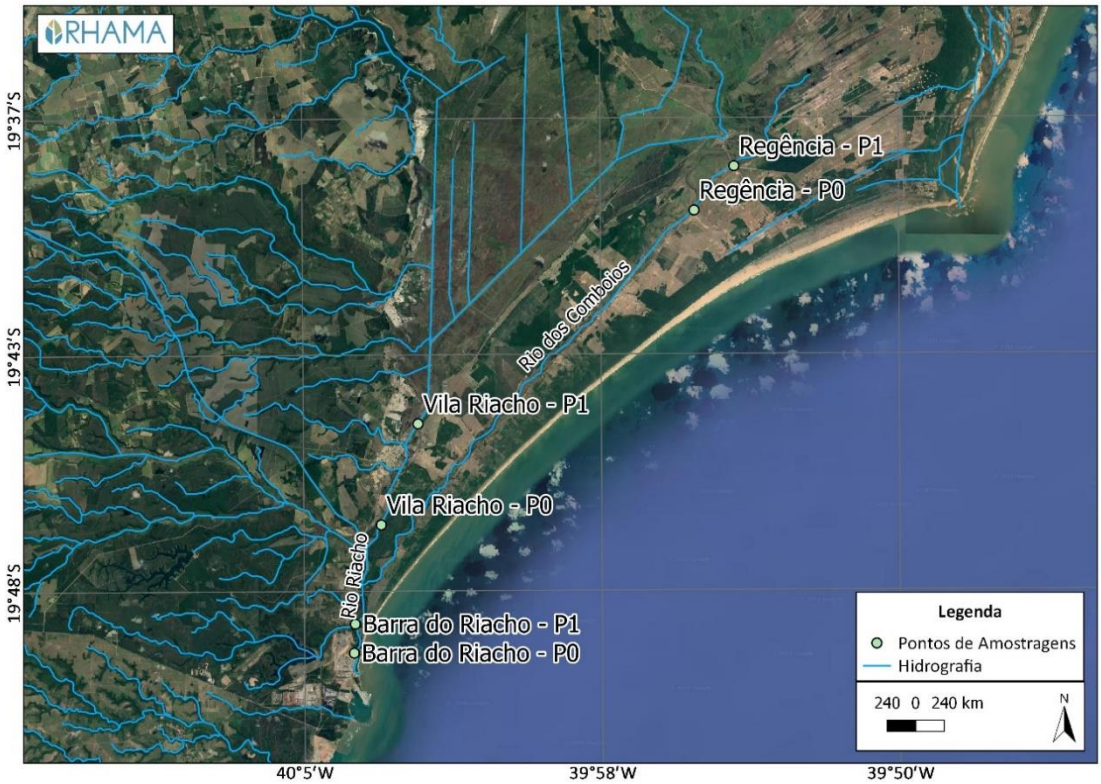


Figura 36. Localização das seções das localidades de Barra do Riacho, Regência e Vila Riacho – ES.

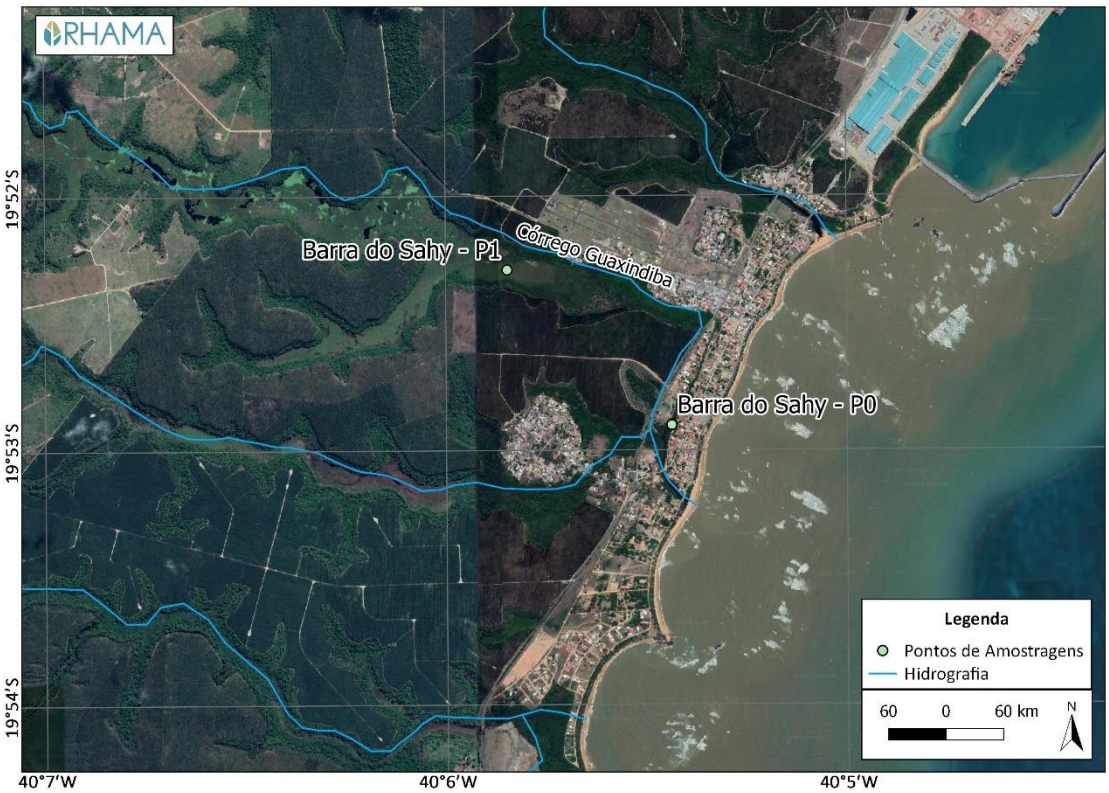


Figura 37. Localização das seções da localidade de Barra do Sahy – ES.

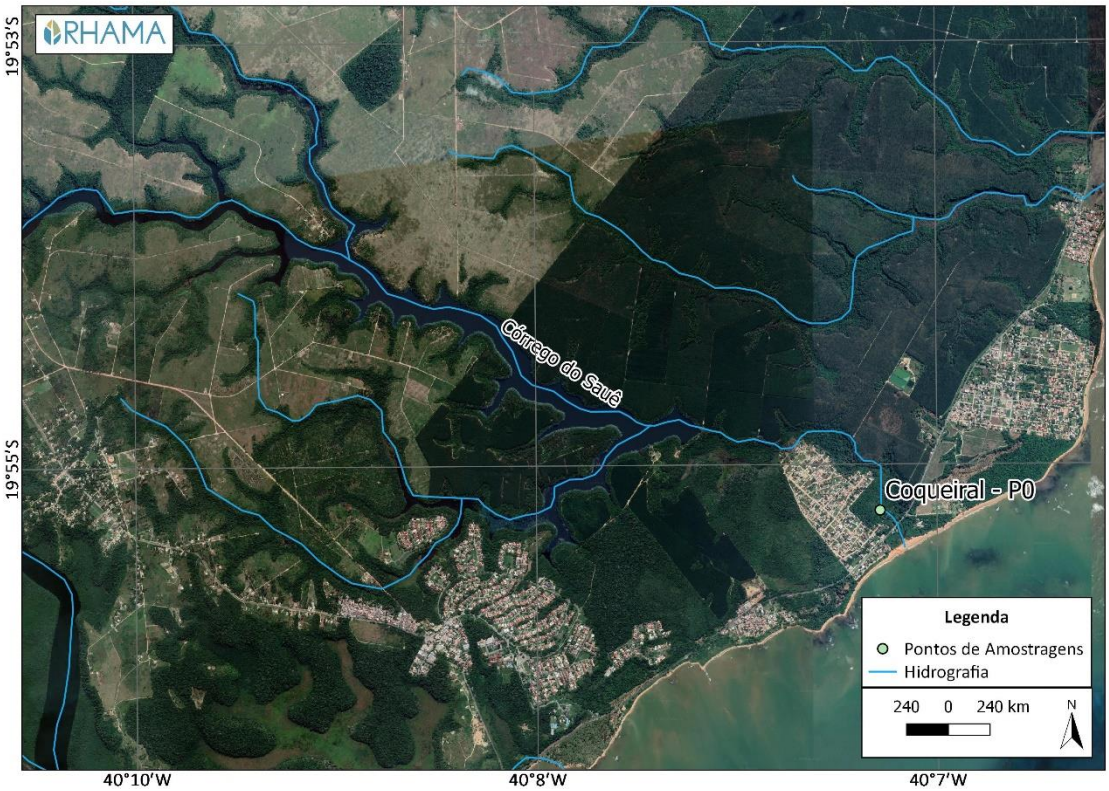


Figura 38. Localização da seção da localidade de Coqueiral – ES.

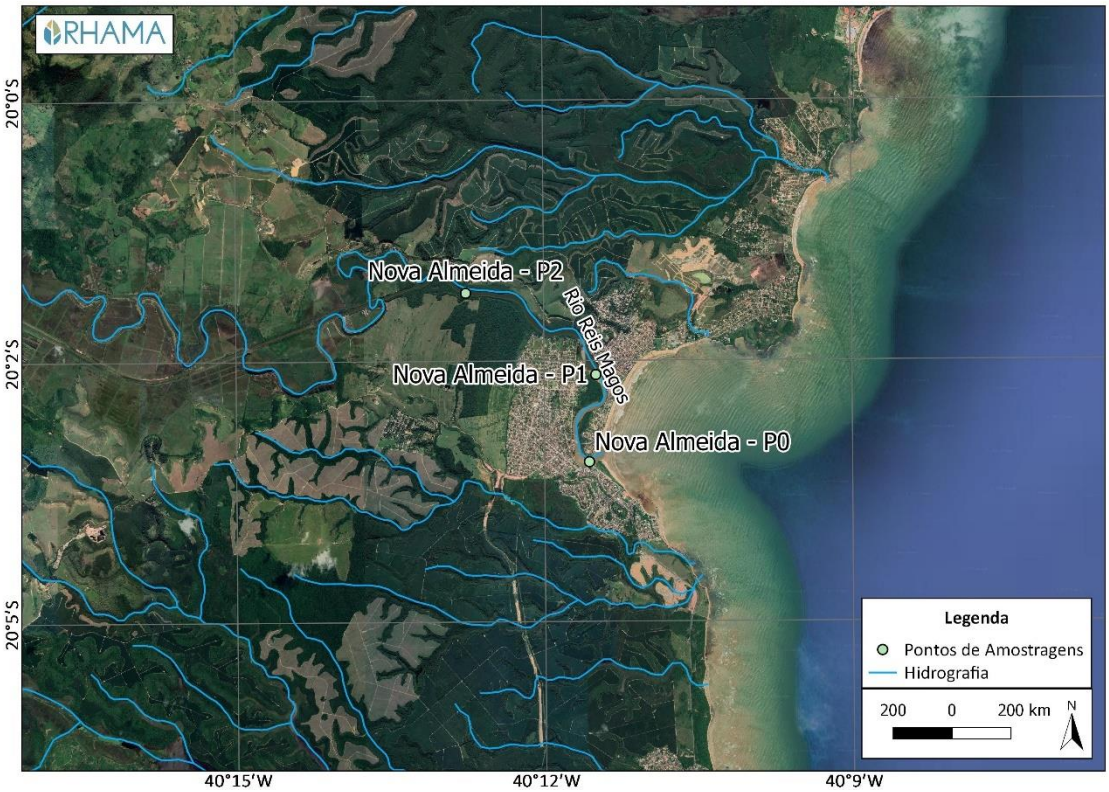


Figura 39. Localização das seções da localidade de Nova Almeida – ES.

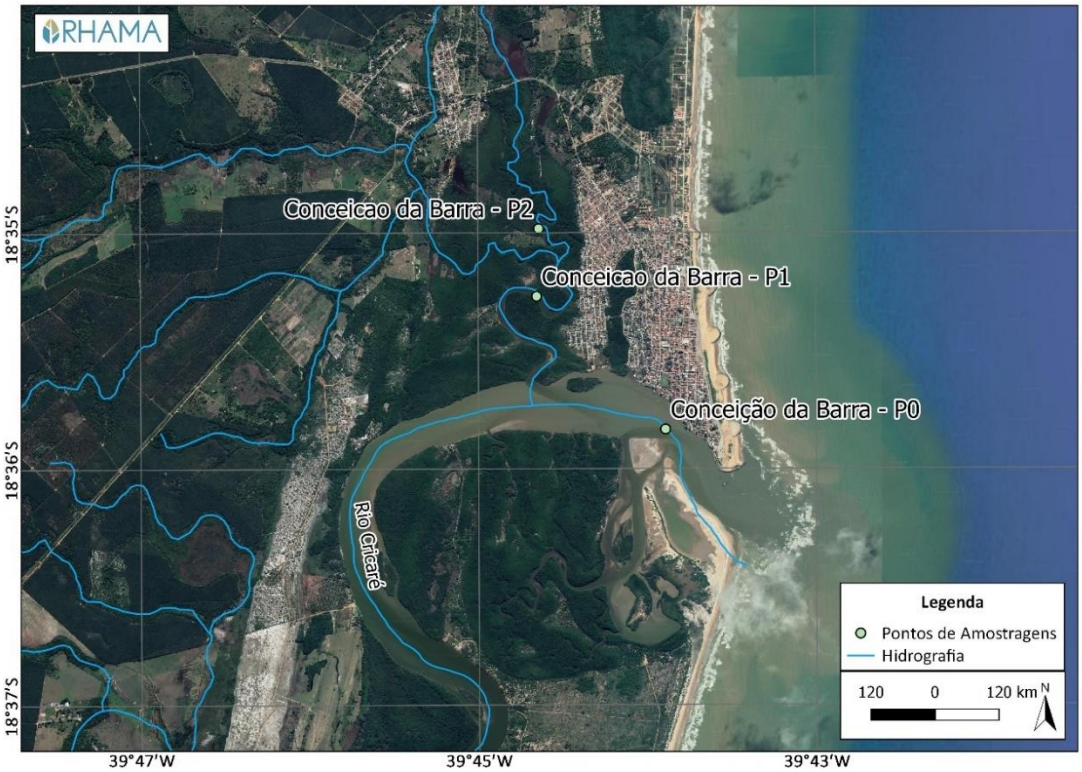


Figura 40. Localização das seções da localidade de Conceição da Barra – ES.

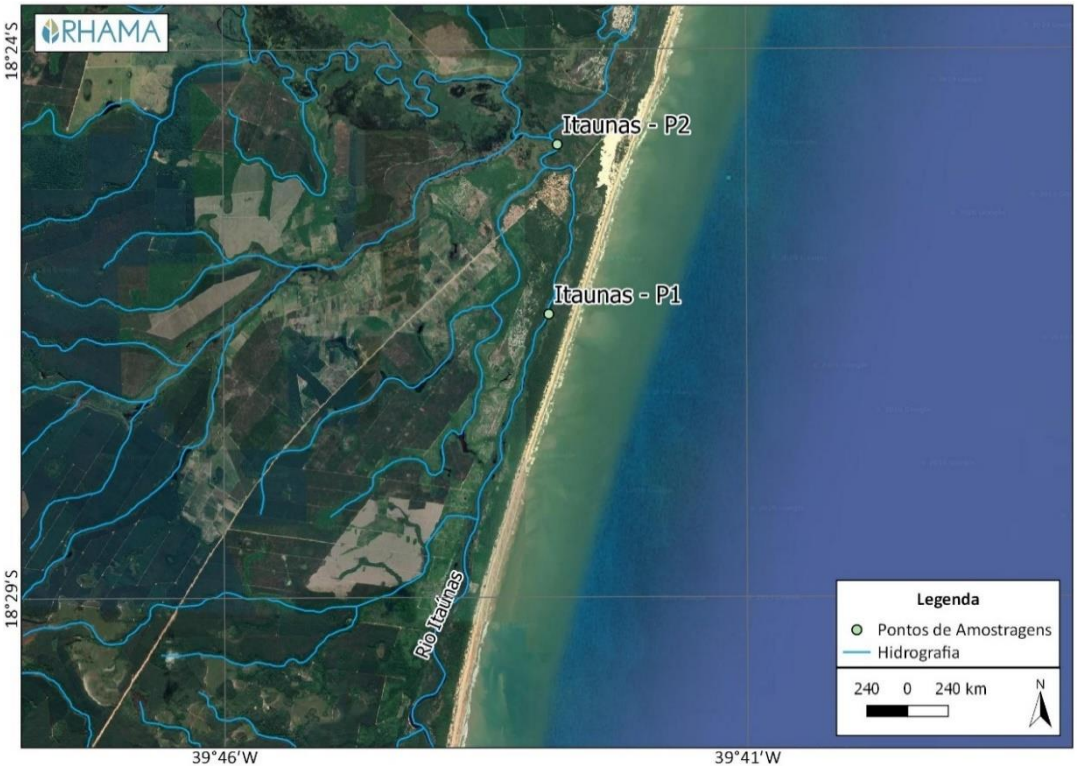


Figura 41. Localização das seções da localidade de Itaunas – ES.

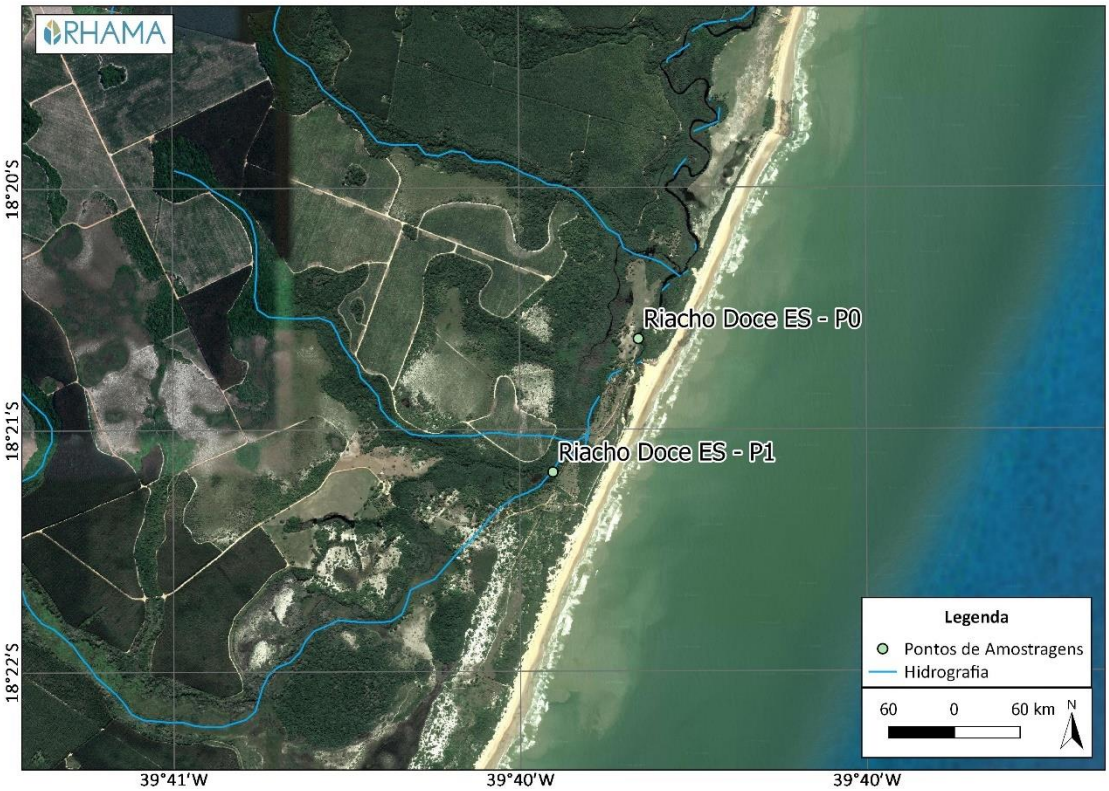


Figura 42. Localização das seções da localidade de Riacho Doce – ES.

ART

DocuSign Envelope ID: 757E69C9-8346-49EC-BE89-141ADCD31BA4

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

CREA-RS

ART Número
10270266

Tipo: PRESTAÇÃO DE SERVIÇO **Participação Técnica:** INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO **Motivo:** NORMAL

Contratado

Carteira: RS006684 **Profissional:** CARLOS EDUARDO MORELLI TUCCI **E-mail:** contato@rhama.com.br
RNP: **Título:** Engenheiro Civil
Empresa: RHAMA - CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA. **Nr.Reg.:** 132508

Contratante

Nome: FUNDAÇÃO RENOVA LINHARES **E-mail:**
Endereço: AVENIDA PRESIDENTE VARGAS 1220 **Telefone:** (31) 2528-0244 **CPF/CNPJ:** 25135507000345
Cidade: LINHARES **Bairro.:** CENTRO **CEP:** 29900210 **UF:** ES

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: FUNDAÇÃO RENOVA LINHARES
Endereço da Obra/Serviço: LOCALIDADES NO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO **CPF/CNPJ:** 25135507000345
Cidade: LINHARES **Bairro:** **CEP:** **UF:** ES
Finalidade: OUTRAS FINALIDADES **Vlr Contrato(R$):** 947.486,10 **Honorários(R$):**
Data Início: 03/04/2019 **Prev.Fim:** 03/12/2019 **Ent.Classe:**

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Estudo	ESTUDO PARA ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA TURBIDEZ DO MAR NOS		
Estudo	RIOS DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO		
Levantamento	DADOS HIDROLÓGICOS, DE MARÉ E ESTUDOS ANTERIORES		
Caracterização	LOCALIDADES E SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA		
Análise	DADOS QUALIDADE DA ÁGUA, PRINCIPALMENTE TURBIDEZ		
Estudo	Hidrologia - Regionalização de Vazões		
Determinação	VAZÕES AFLUENTES A CADA MANANCIAL		
Elaboração de Relatório	RELATÓRIOS PARCIAIS E FINAL		

ART registrada (paga) no CREA-RS em 06/11/2019

Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Porto Alegre, 06/11/19	CARLOS EDUARDO MORELLI TUCCI	DocuSigned by: Rachel Starling Albuquerque Penido S 059081BDFF66401...
	Profissional	Contratante

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODERÁ SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK CIDADÃO - ART CONSULTA

DocuSign Envelope ID: 757E69C9-8346-49EC-BE89-141ADCD31BA4

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

CREA-RS

ART Número
10270266

Contratado

Nr.Carteira: RS006684 **Profissional:** CARLOS EDUARDO MORELLI TUCCI **E-mail:** contato@rhama.com.br
Nr.RNP: **Título:** Engenheiro Civil
Empresa: RHAMA - CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA. **Nr.Reg.:** 132508

Contratante

Nome: FUNDAÇÃO RENOVA LINHARES **E-mail:**
Endereço: AVENIDA PRESIDENTE VARGAS 1220 **Telefone:** (31) 2528-0244 **CPF/CNPJ:** 25135507000345
Cidade: LINHARES **Bairro:** CENTRO **CEP:** 29900210 **UF:** ES

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Pedido de compra nº 4800017121 - Fundação Renova Linhares
Objeto do contrato: estudo para análise da interferência da turbidez do mar nos rios do litoral que serão realizados no(s) município(s) de Linhares, sem a ele se limitar, no Estado do Espírito Santo.

Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima	Data
Porto Alegre, 06/11/19	Profissional	DocuSigned by: Rachel Starling Albuquerque Penido S 059081BDFF66401... Contratante