

**SAMARCO**



**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO  
MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE  
LINHARES – ES**

**NOVEMBRO DE 2016**



## 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  
Rodovia do Sol ES 060 S/N  
**Endereço:** 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: 1420160000003093223

## 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	29/11/2016	MDGEO	Samarco	Revisão final

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>10</b>
4.1	CLIMA E PLUVIOMETRIA.....	10
4.2	HIDROGRAFIA.....	10
4.3	GEOMORFOLOGIA.....	12
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>13</b>
5.1	COMPLEXO PARAÍBA DO SUL.....	15
5.2	GRUPO BARREIRAS.....	15
5.3	FORMAÇÃO LINHARES (DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS).....	15
<b>6</b>	<b>CADASTRO DE PONTOS D'ÁGUA</b> .....	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>AMOSTRAGEM HIDROQUÍMICA</b> .....	<b>25</b>
7.1	MÉTODOS E PARÂMETROS.....	25
<b>8</b>	<b>AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA</b> .....	<b>30</b>
8.1	ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	30
8.2	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS AVALIADOS.....	40
8.2.1	<i>Condutividade elétrica</i> .....	40
8.2.2	<i>Potencial de oxidação - redução</i> .....	44
8.2.1	<i>Potencial hidrogeniônico</i> .....	44
8.2.2	<i>Turbidez</i> .....	46
8.3	CÁTIONS E ÂNIONS AVALIADOS.....	47
8.3.1	<i>Alcalinidade de bicarbonatos</i> .....	47
8.3.2	<i>Boro total</i> .....	48
8.3.1	<i>Bário total</i> .....	49
8.3.2	<i>Cloreto total</i> .....	51
8.3.3	<i>Sódio total</i> .....	52
8.3.4	<i>Sulfato</i> .....	53
8.3.5	<i>Cálcio total</i> .....	54
8.3.6	<i>Magnésio total</i> .....	55
8.3.7	<i>Potássio total</i> .....	56
8.3.8	<i>Alumínio total</i> .....	57
8.3.9	<i>Coliformes termotolerantes</i> .....	59
8.3.10	<i>Ferro total</i> .....	60
8.3.11	<i>Manganês total</i> .....	62
8.4	BALANÇO IÔNICO.....	63
8.5	CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	67
<b>9</b>	<b>MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL</b> .....	<b>75</b>
9.1	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO.....	75
9.1.1	<i>Aquífero</i> .....	75
9.1.2	<i>Aquitardo</i> .....	76
9.1.3	<i>Aquiclude</i> .....	76
9.1.4	<i>Aquífugo</i> .....	76
9.2	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	77
9.3	PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS.....	79
9.4	FLUXO D'ÁGUA SUBTERRÂNEO.....	80
9.4.1	<i>Condições de fluxo subterrâneo</i> .....	80
9.4.2	<i>Potenciometria</i> .....	80

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>83</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>86</b>
<b>12</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo na região do município de Linhares-ES.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4.1: Mapa hidrográfico da região de estudo (Linhares-ES).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5.1: Mapa geológico da região de estudo (Linhares-ES).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6.1: Localização dos poços e lagoas cadastrados na região de Linhares (SIRGAS2000).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 7.1: Localização dos poços amostrados na região de Linhares.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8.1: Condutividade elétrica das amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8.2: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE) a partir da campanha hidroquímica de Ago/Set de 2016.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 8.3: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE) a partir do cadastro de poços.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 8.4: Eh das amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 8.5: pH das amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 8.6: Distribuição do Eh e pH das amostras de águas subterrâneas da região de Linhares.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 8.7: Turbidez das amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 8.8: Alcalinidade de bicarbonatos das amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 8.9: Concentração de boro total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 8.10: Concentração de bário total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 8.11: Concentração de cloreto total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 8.12: Concentração de sódio total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 8.13: Concentração de sulfato total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 8.14: Concentração de cálcio total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 8.15: Concentração de magnésio total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 8.16: Concentração de potássio total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 8.17: Concentração de alumínio total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 8.18: Concentração de coliformes termotolerantes nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 8.19: Concentração de ferro dissolvido nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 8.20: Concentração de manganês total nas amostras de água subterrânea analisadas.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 8.21: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas analisadas na campanha.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 8.22: Diagramas de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 1 até 37.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 8.23: Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 38 a 94.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 8.24: Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 95 e SAAE.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 8.25: Diagrama de Stiff para a amostra do Poço 27.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 8.26: Mapa de distribuição dos Diagramas de Stiff em relação a Geologia.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 8.27: Diagrama de Schoeller para as águas subterrâneas analisadas na campanha.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 9.1: Mapa hidrogeológico da região de estudo. Linhares-ES.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 9.2: Mapa potenciométrico da região de Linhares.....</i>	<i>82</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 6.1: Poços cadastrados em campo (DATUM SIRGAS2000, FUSO 24).....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 6.2: Lagoas cadastradas em campo (DATUM SIRGAS2000, FUSO 24).....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 7.1: Relação dos pontos amostrados e características de rastreamento.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 8.1: Parâmetros contemplados nas análises e limites de usos preponderantes de águas subterrâneas de acordo com a norma 396/2008, CONAMA.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 8.2: Resultados analíticos para as amostras dos poços 1, 3, 4, 5 e 6.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 8.3: Resultados analíticos para as amostras dos poços 12, 13, 14, 15 e 17.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 8.4: Resultados analíticos para as amostras dos poços 27, 29, 31, 34 e 36.....</i>	<i>34</i>

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
<b>ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES</b>		

<i>Tabela 8.5: Resultados analíticos para as amostras dos poços 37, 38, 42, 46 e 55. ....</i>	35
<i>Tabela 8.6: Resultados analíticos para as amostras dos poços 60, 64, 72, 77 e 78. ....</i>	36
<i>Tabela 8.7: Resultados analíticos para as amostras dos poços 81, 82, 83, 91 e 94. ....</i>	37
<i>Tabela 8.8: Resultados analíticos para as amostras dos poços 95 e SAAE. ....</i>	38
<i>Tabela 8.9: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Custodio e Llamas (1976). ....</i>	64
<i>Tabela 8.10: Erro máximo admissível nas análises dos íons maiores, Logan (1965).....</i>	64
<i>Tabela 8.11: Resultados do balanço iônico das amostras de água subterrânea e o erro associado. ....</i>	65
<i>Tabela 8.12: Classificação de Piper para as águas subterrâneas analisadas na campanha. ....</i>	68

## LISTA DE FOTOS

<i>Foto 6.1: Etapa de campo. Cadastramento dos poços e coleta de amostras para análise.....</i>	20
<i>Foto 6.2: Etapa de campo. Cadastramento e amostragem das águas das lagoas da região. ....</i>	23
<i>Foto 7.1: Coleta das amostras do poços com o equipamento de baixa vazão.....</i>	26

## ANEXOS

<i>ANEXO I - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA</i>
<i>ANEXO II - ARQUIVO FOTOGRÁFICO</i>
<i>ANEXO III – LAUDOS LABORATORIAIS</i>
<i>ANEXO IV – CADASTRO DOS POÇOS DO ESTADO ESPÍRITO SANTO (CPRM, SIAGAS)</i>

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 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).

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/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.

		<b>RELATÓRIO MDGEO Nº</b>
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
<b>ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES</b>		

### 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).

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

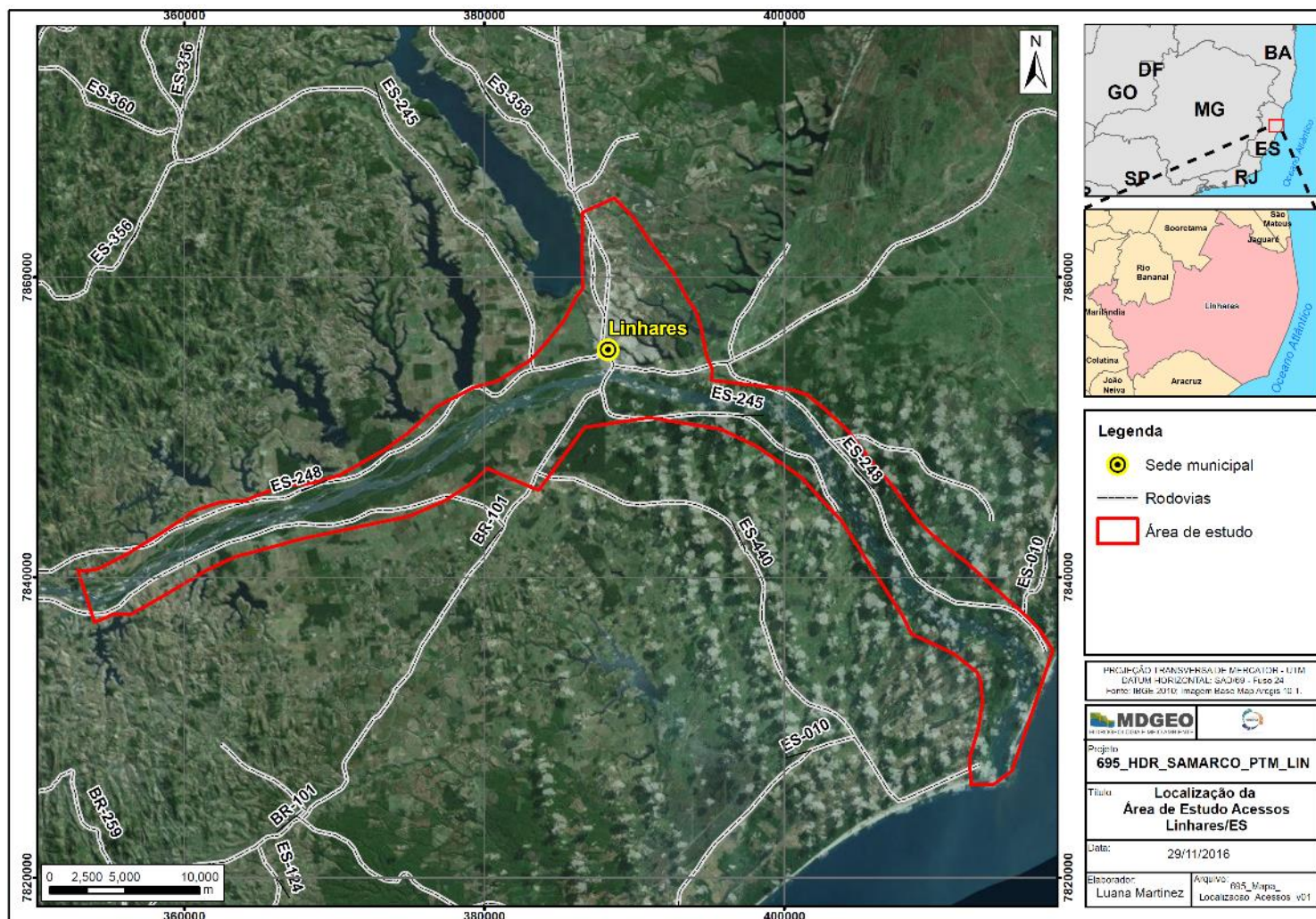


Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo na região do município de Linhares-ES.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 4 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA 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 Espírito 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 invernos 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 conseqüentemente, 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).

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

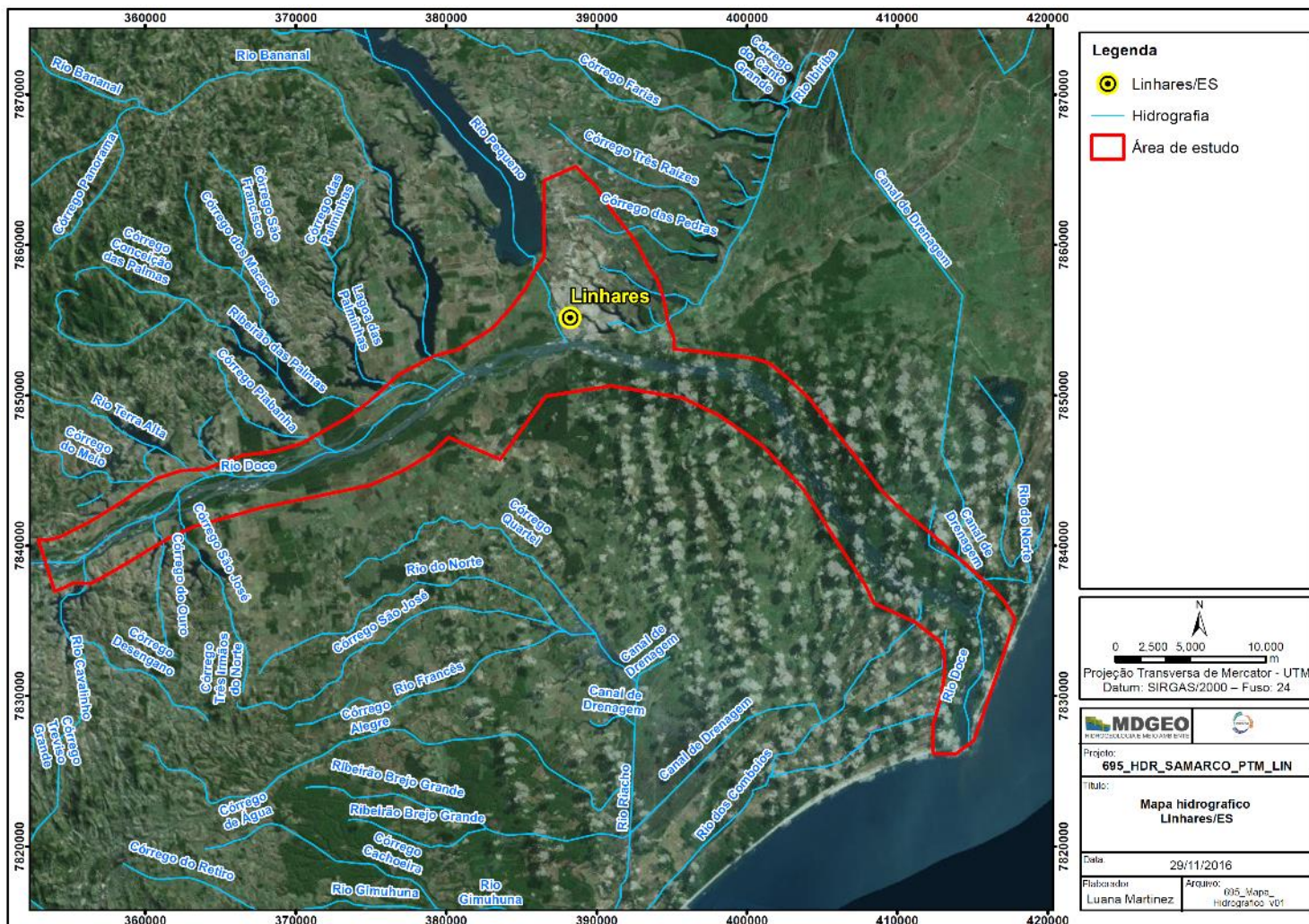


Figura 4.1: Mapa hidrográfico da região de estudo (Linares-ES).

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE 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.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 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.

## ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

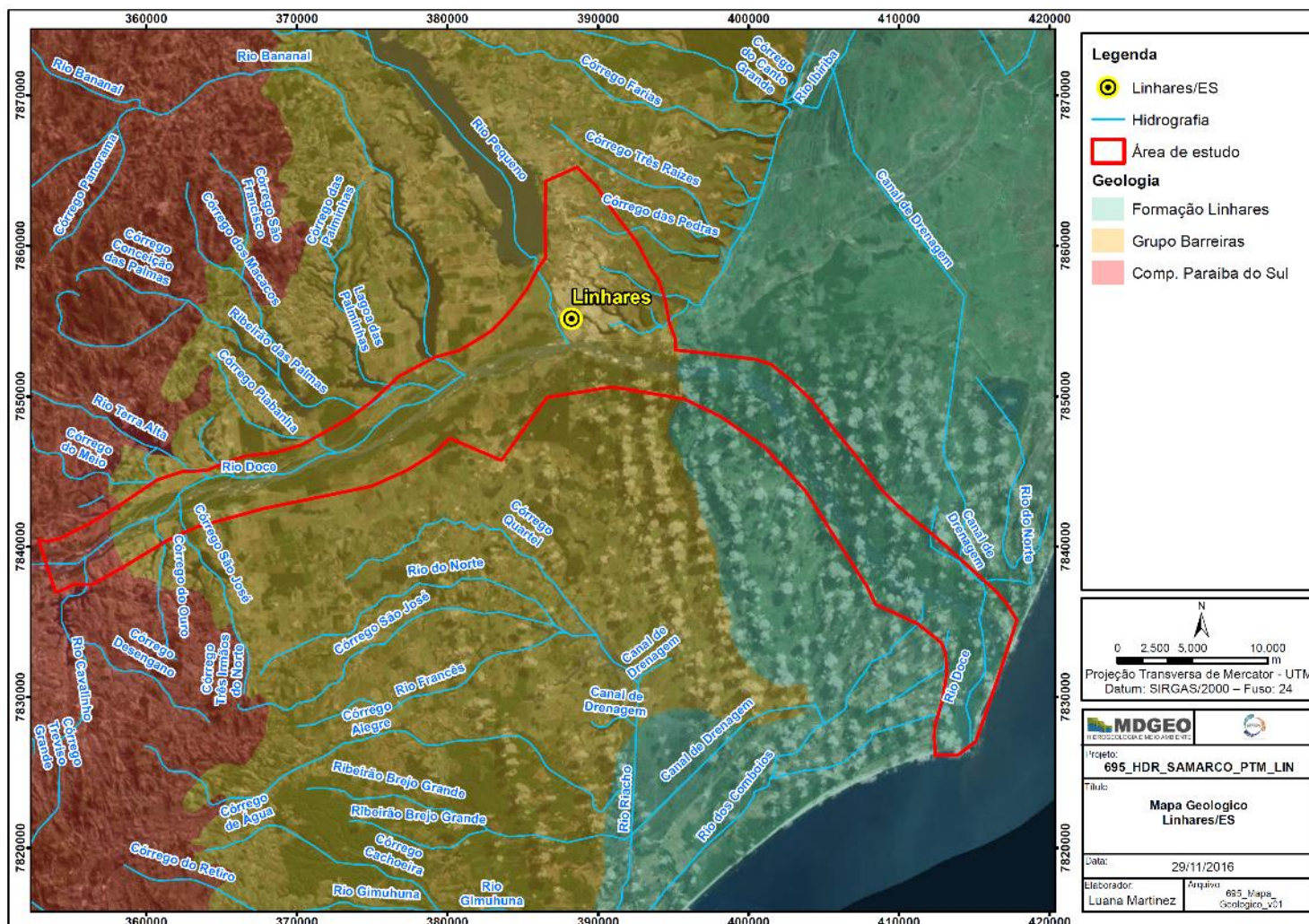


Figura 5.1: Mapa geológico da região de estudo (Linhares-ES).

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE 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, anfíbolitos e mármore.

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.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 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).

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 <sup>1</sup>	C.E. <sup>2</sup>	T. ÁGUA <sup>3</sup>	T. AR <sup>3</sup>
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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**

PONTO	E	N	COTA (m)	PROF. (m)	PROF. N.A. (m)	COTA N.A. (m)	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
							pH	Eh <sup>1</sup>	C.E. <sup>2</sup>	T. ÁGUA <sup>3</sup>	T. AR <sup>3</sup>
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.

**ESTUDO HIDROGEOLOGICO - MAPA POTENCIOMETRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**

PONTO	E	N	COTA (m)	PROF. (m)	PROF. N.A. (m)	COTA N.A. (m)	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
							pH	Eh <sup>1</sup>	C.E. <sup>2</sup>	T. ÁGUA <sup>3</sup>	T. AR <sup>3</sup>
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: <sup>1</sup> mV <sup>2</sup>µS/cm <sup>3</sup>°C

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

		<b>RELATÓRIO MDGEO Nº</b>
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
<b>ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES</b>		

ligar as bombas de captação e recupera quando estás são desligadas, evidenciando que a água é de origem subterrânea.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

**Tabela 6.2: Lagoas cadastradas em campo (DATUM SIRGAS2000, FUSO 24)**

PONTO	PONTO DE ACESSO		DESCRIÇÃO	COTA N.A (m)	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
	E	N			pH	Eh <sup>1</sup>	C.E. <sup>2</sup>	T. ÁGUA <sup>3</sup>	T. AR <sup>3</sup>
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: <sup>1</sup> mV <sup>2</sup>µS/cm <sup>3</sup>°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, estes 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.**

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES



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 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), 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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**

**Foto 7.1: Coleta das amostras dos poços com o equipamento de baixa vazão.**

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 – alumínio, 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  $\text{pH} > 8,3$ ), alcalinidade de hidróxidos (se  $\text{pH} > 9$ ) 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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**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	Frigorífico	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 Jatapéba	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 Samarã	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.

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

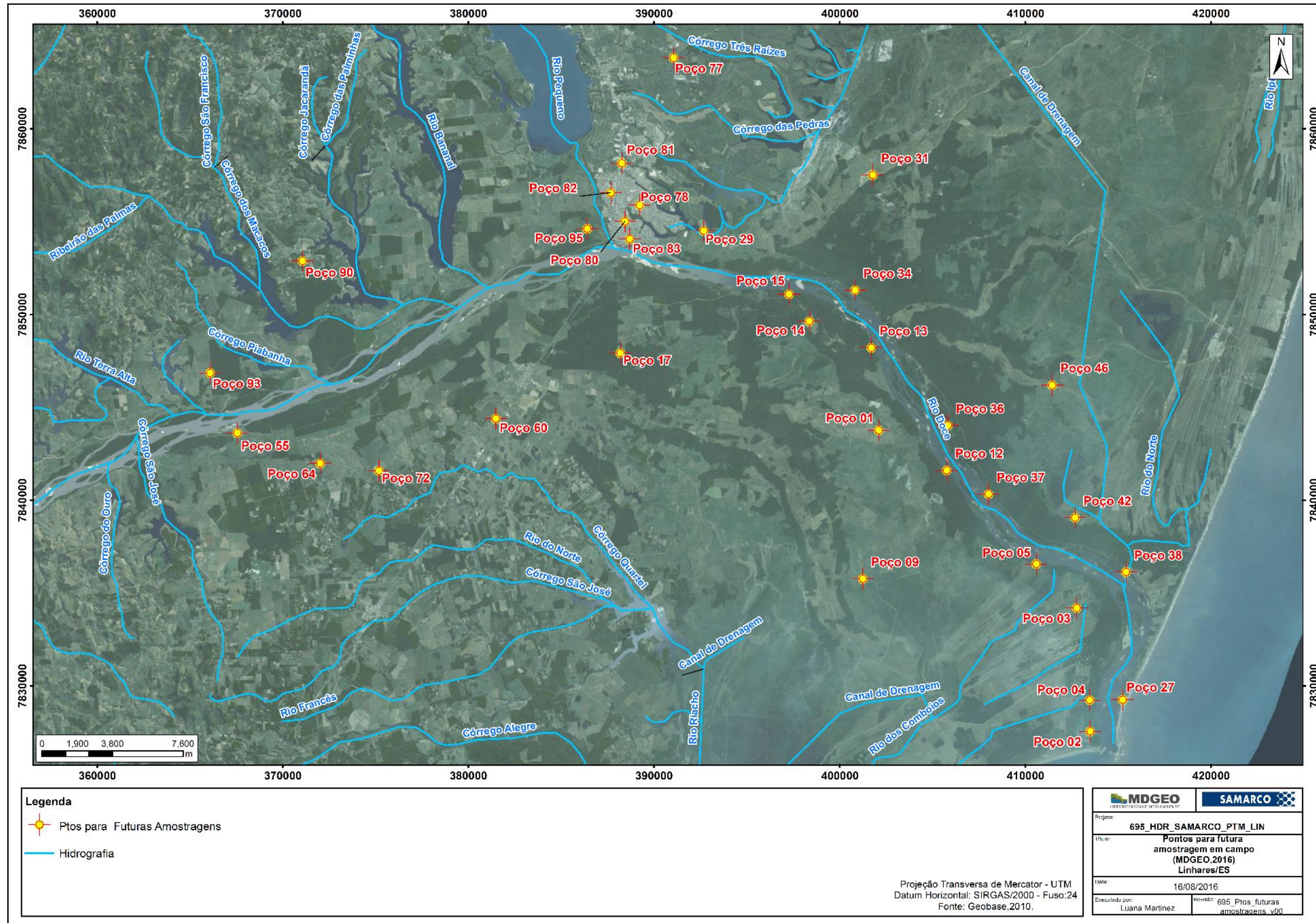


Figura 7.1: Localização dos poços amostrados na região de Linhares.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLOGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 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

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 (°C)	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

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**Tabela 8.2: Resultados analíticos para as amostras dos poços 1, 3, 4, 5 e 6.**

PARÂMETROS	L.Q.	AMOSTRAS				
		POÇO 1 002-64183-75	POÇO 3 002-64169-39	POÇO 4 002-64182-81	POÇO 5 002-64183-63	POÇO 9 002-64183-64
Alcalinidade carbonato (mg/L)	5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Alcalinidade de bicarbonatos (mgCaCO <sub>3</sub> /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 <sup>(1,4)</sup>	< 0,010	0,265 <sup>(1,4)</sup>	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 <sup>(1,4)</sup>	1,107 <sup>(1,4)</sup>	20,726 <sup>(1,3,4)</sup>	4,64 <sup>(1,4)</sup>	10,32 <sup>(1,3,4)</sup>
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Litíio 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 <sup>(1,2,3,4)</sup>	0,012	0,159 <sup>(1,2,4)</sup>	0,101 <sup>(1,2,4)</sup>	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 (°C)	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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**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 (mgCaCO <sub>3</sub> /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 <sup>(1,4)</sup>	1.117 <sup>(1,4)</sup>	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	PRESEÇA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	PRESEÇA 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 <sup>(1,3)</sup>	26.07 <sup>(1,3,4)</sup>	0.223	9.29 <sup>(1,3,4)</sup>	5.405 <sup>(1,3,4)</sup>
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Lítio 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 <sup>(1,2,4)</sup>	0.753 <sup>(1,2,3,4)</sup>	< 0.010	1.195 <sup>(1,2,3,4)</sup>	0.109 <sup>(1,2,4)</sup>
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 (°C)	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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**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 (mgCaCO <sub>3</sub> /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 <sup>(1,3,4)</sup>	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 <sup>(1)</sup>	AUSÊNCIA EM 100 mL	AUSÊNCIA EM 100 mL	< 1.8 <sup>(1)</sup>	< 1.8 <sup>(1)</sup>
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 <sup>(1,4)</sup>
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Lítio 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 <sup>(2)</sup>	0.636 <sup>(1,2,3,4)</sup>
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 <sup>(1,4)</sup>	6.78	11.27	8.84	7.09
Sulfato total (mg/L)	2,0	1772 <sup>(1,2,4)</sup>	< 2.0	23	3	4
Temperatura da amostra (°C)	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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**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 (mgCaCO <sub>3</sub> /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 <sup>(1,4)</sup>	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 <sup>(1)</sup>	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 <sup>(1,3,4)</sup>	0.327 <sup>(1,4)</sup>	2.566 <sup>(1,4)</sup>	0.061	0.017
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Lítio 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 <sup>(1,2,3,4)</sup>	0.115 <sup>(1,2,4)</sup>	0.045	0.219 <sup>(1,2,3,4)</sup>	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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**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 <sup>(1,4)</sup>	1.362 <sup>(1,4)</sup>
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 <sup>(1,4)</sup>	0.036
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Lítio 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 (°C)	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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**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 <sup>(1,4)</sup>	0.757 <sup>(1,4)</sup>	< 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
Litíio 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 (°C)	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.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**
**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 (mgCaCO <sub>3</sub> /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 <sup>(1,4)</sup>	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 <sup>(1,4)</sup>	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 <sup>(3)</sup>	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	PRESEÇA 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 <sup>(1,4)</sup>	5,256 <sup>(1,3,4)</sup>	5,347 <sup>(1,3,4)</sup>	0,005	0,005
Fluoreto total (mg/L)	0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Lítio 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 <sup>(1,2,3,4)</sup>	0,268 <sup>(1,2,3,4)</sup>	0,586 <sup>(1,2,3,4)</sup>	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 (°C)	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.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLOGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 FÍSICO-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  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

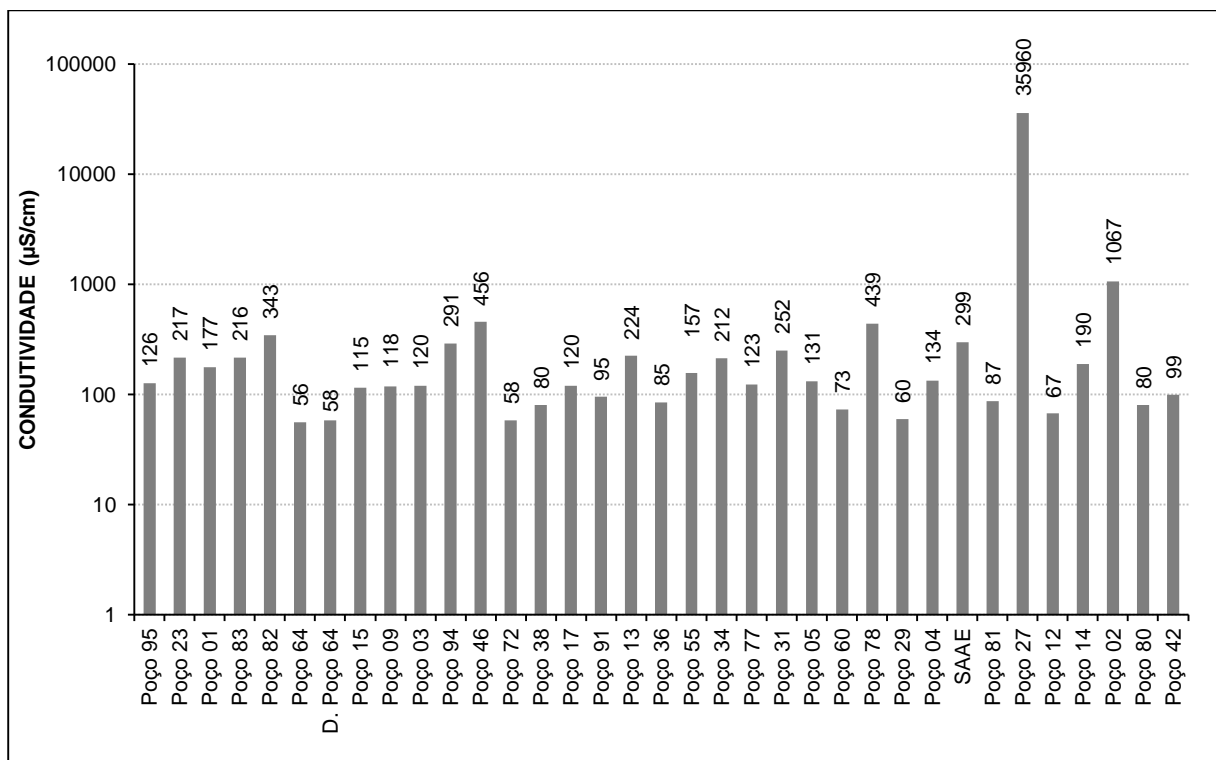


Figura 8.1: Condutividade elétrica das amostras de água subterrânea analisadas.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLOGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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.

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

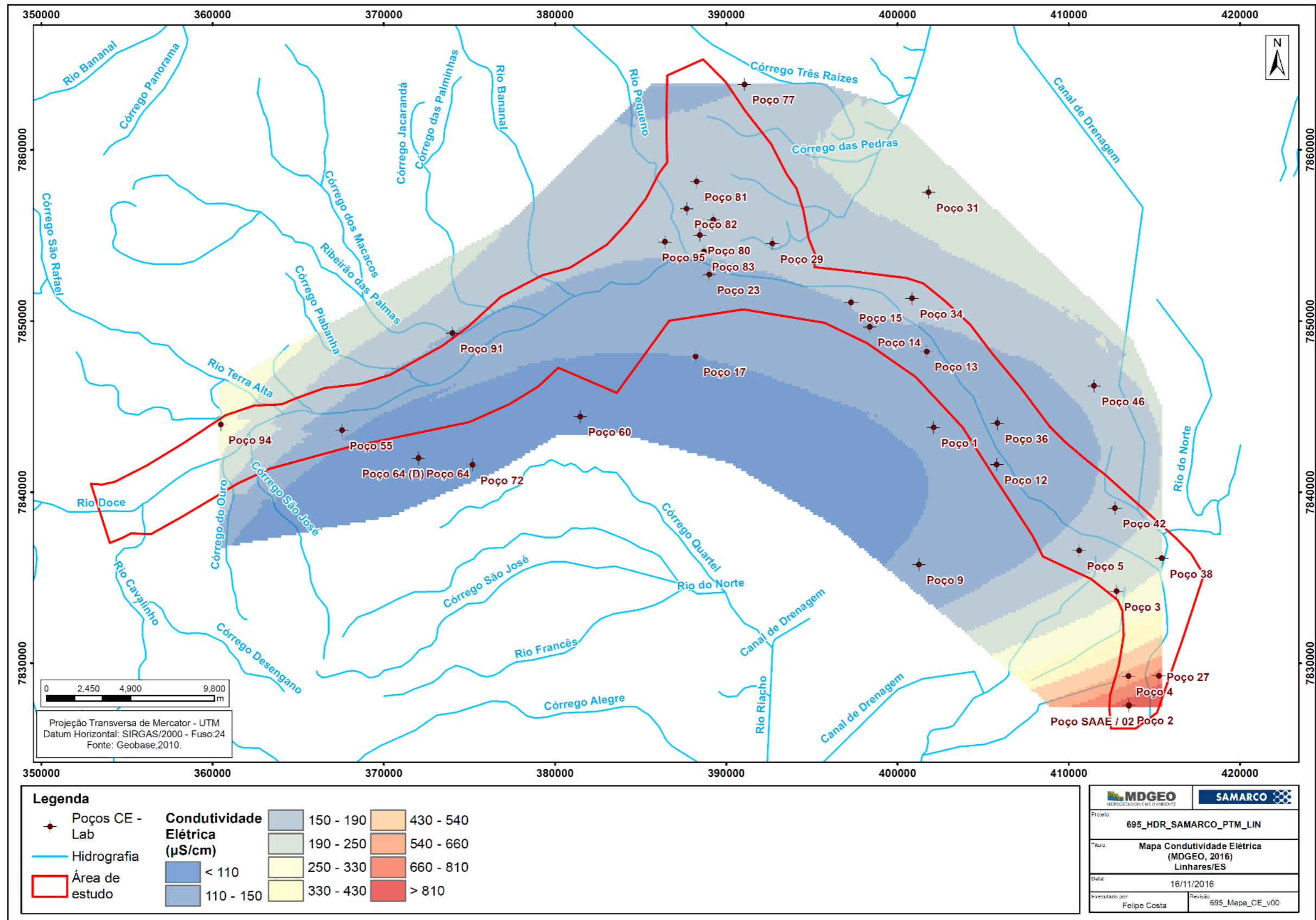


Figura 8.2: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE) a partir da campanha hidroquímica de Ago/Set de 2016.

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

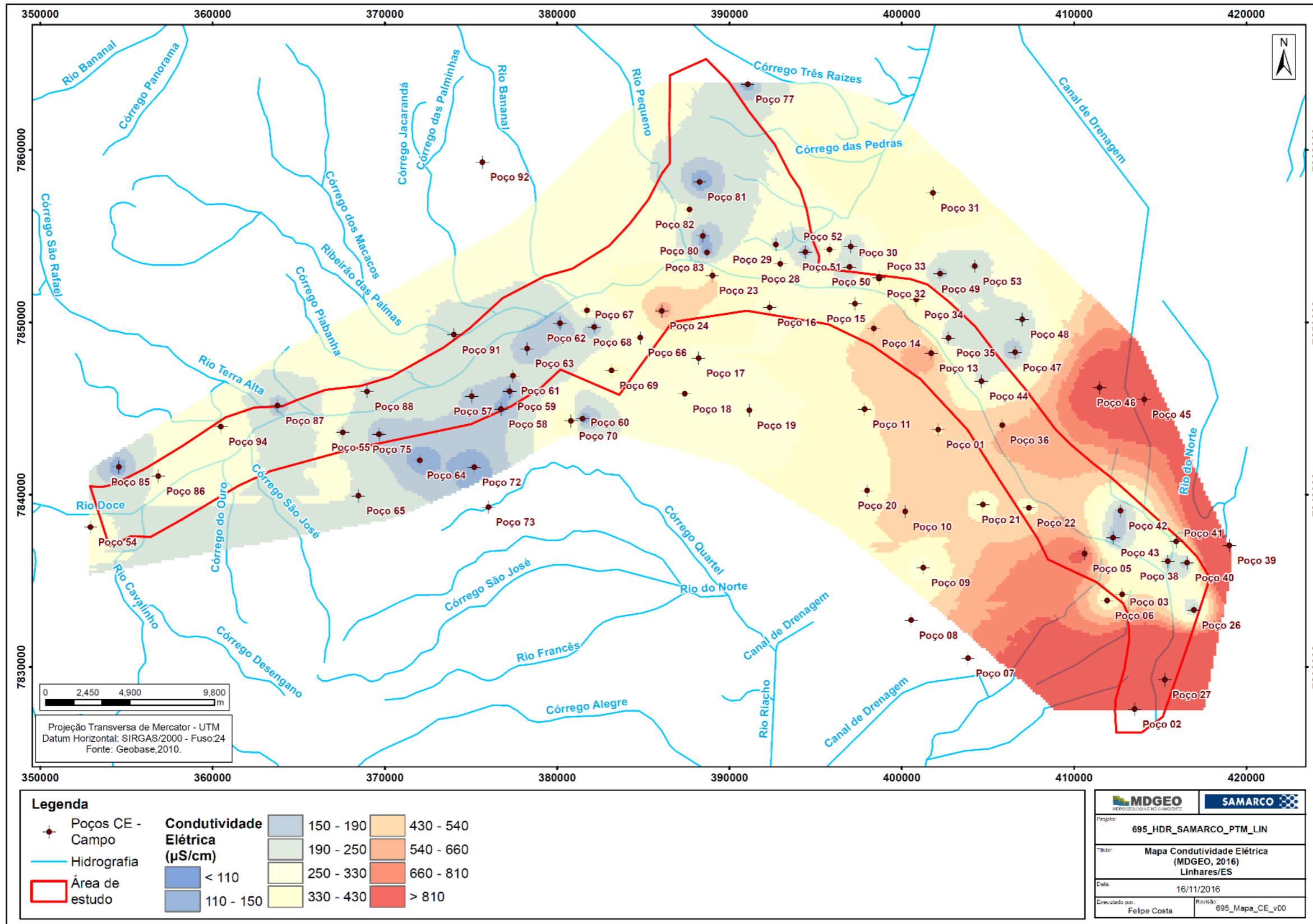


Figura 8.3: Mapa de distribuição da condutividade elétrica (CE) a partir do cadastro de poços.

## 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 hidroquímica 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.

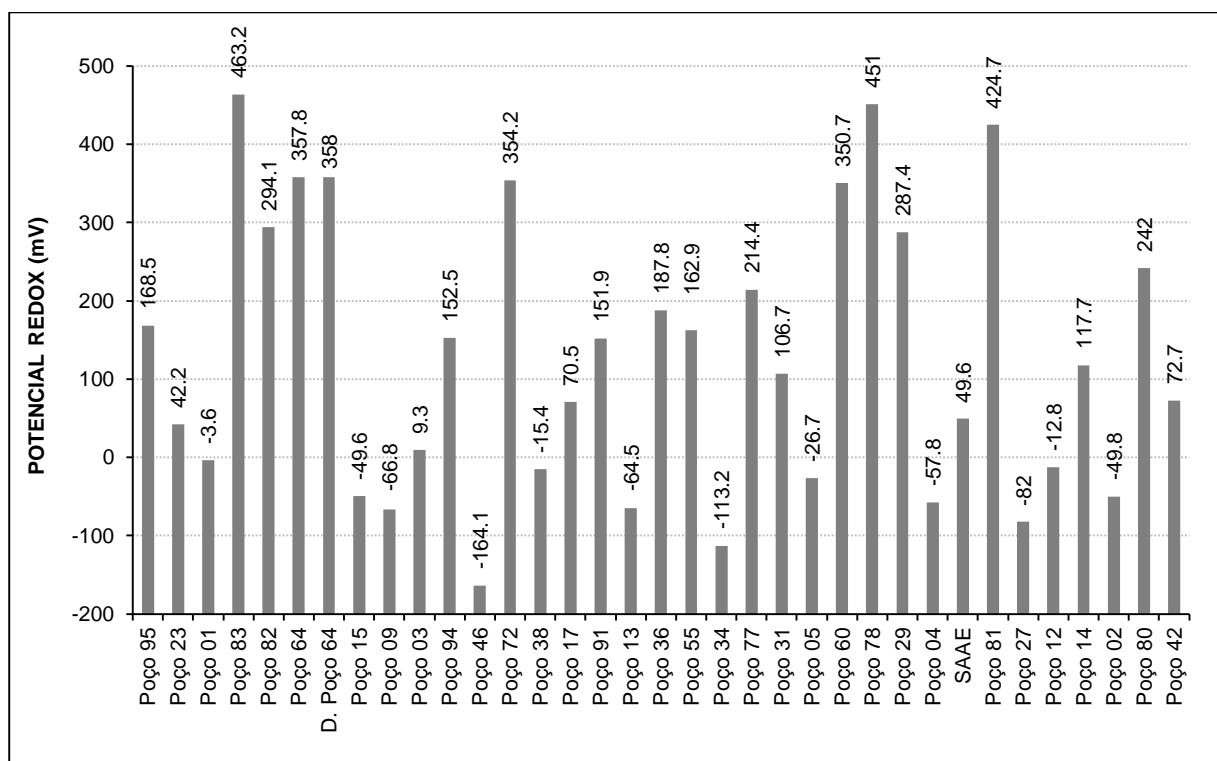
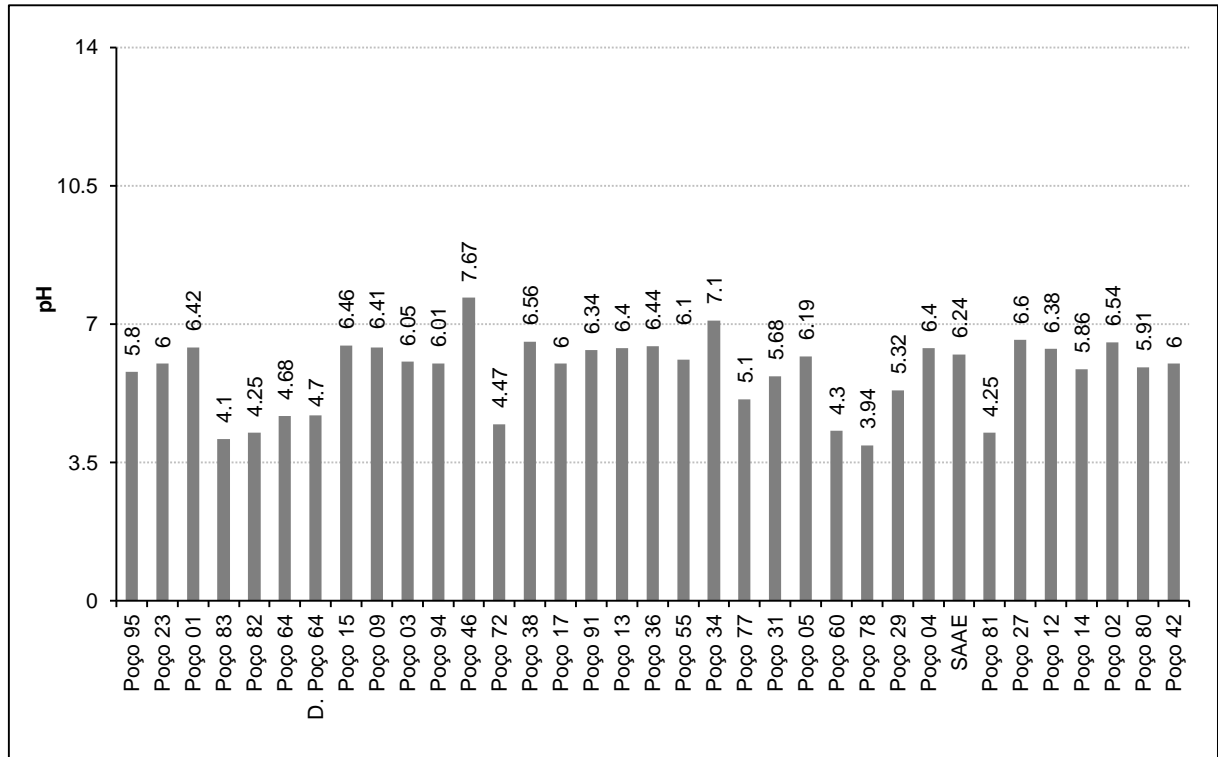


Figura 8.4: Eh das amostras de água subterrânea analisadas.

## 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).

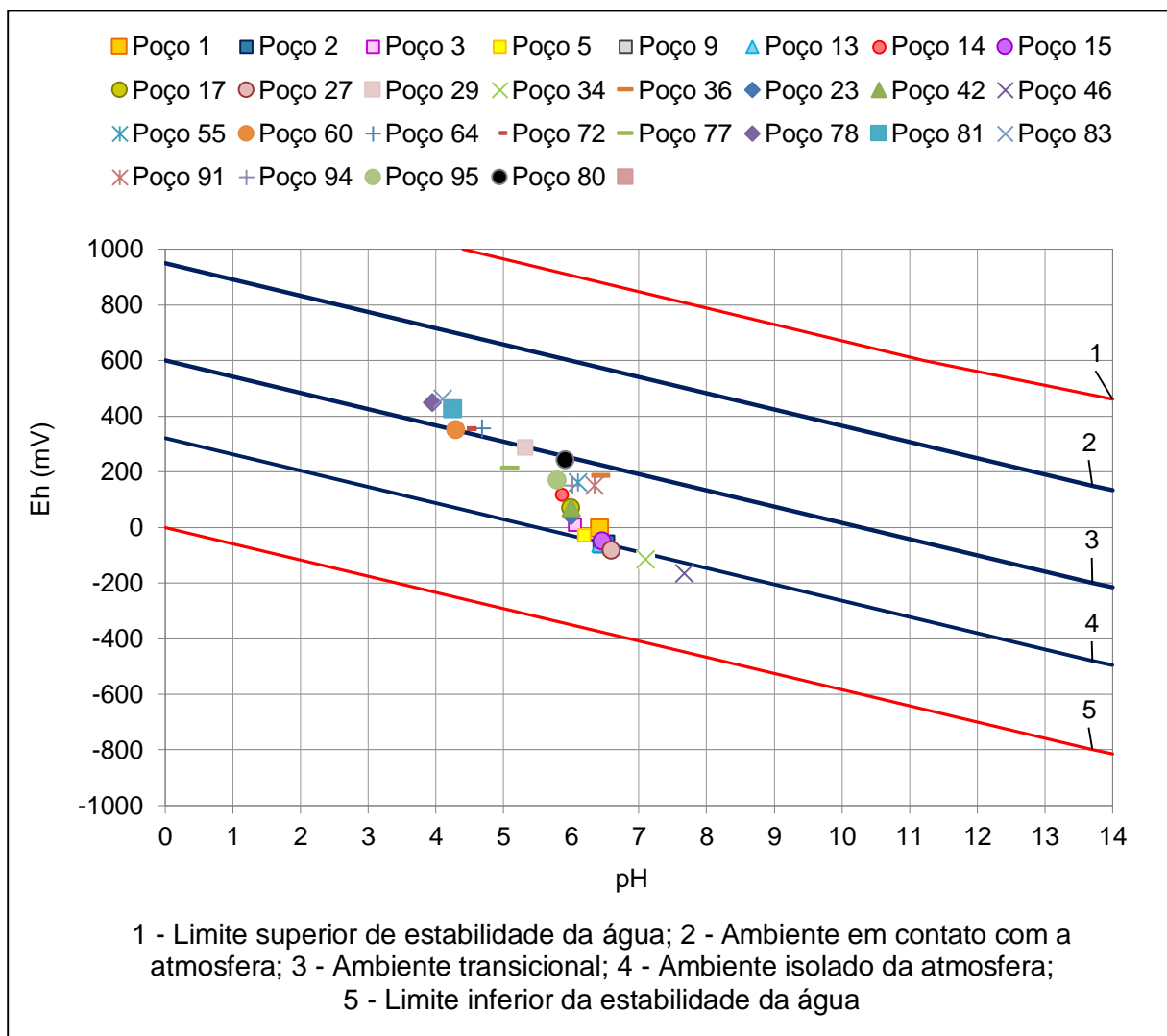
A média dos valores de pH para as águas da região de Linhares foi de 5,79, sendo que a amostra com o pH mais alto foi colhida no Poço 46, indicando 7,67; e a amostra cujo pH apresentou-se mais ácido foi a do Poço 78, com valor indicado de 3,94.



**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.**

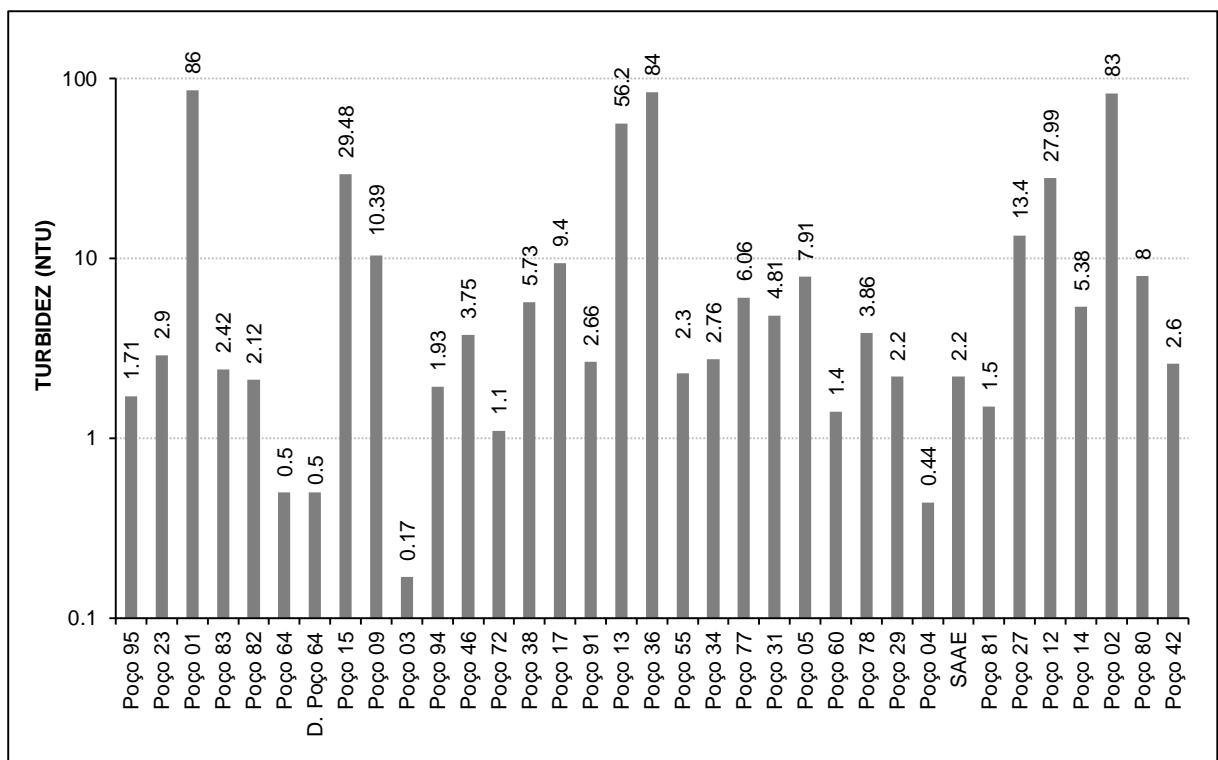
Em geral, nota-se que a maior parte dos pontos encontra-se entre um ambiente transicional e um ambiente isolado da atmosfera, que, segundo Wedepohl (WEDEPOHL, 1978), é representativo de águas subterrâneas ou até mesmo de águas estagnadas. As amostras dos poços 27, 34 e 46 tendem a um ambiente mais redutor (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 CÁTIOS 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 ( $\text{CaCO}_3$ ) 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  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ; em contrapartida quatro poços (Poços 12, 77, 81 e 83) apontaram valores menores que o limite de detecção (5,0 mg  $\text{CaCO}_3$ ), interpretando-os assim com 2,5 mg  $\text{CaCO}_3$  (Figura 8.8). A média dos valores de alcalinidade de bicarbonato das águas analisadas foi 40,94 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ .

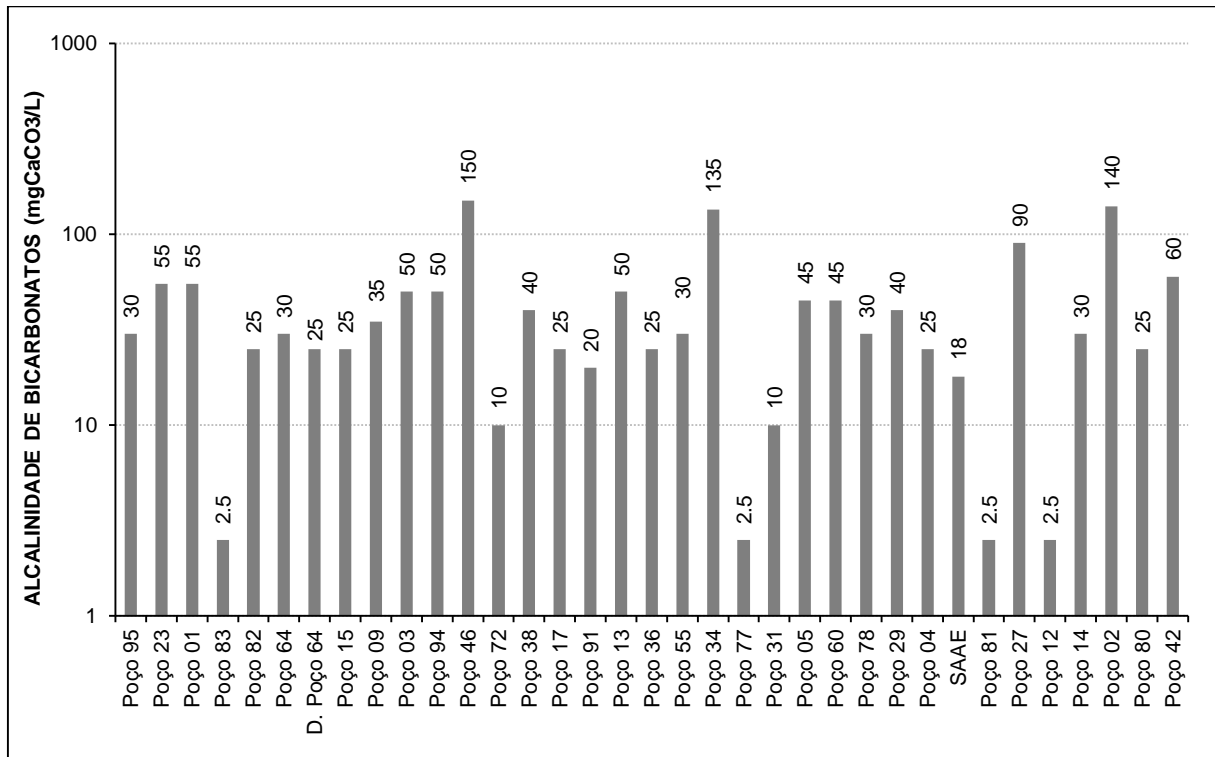


Figura 8.8: Alcalinidade de bicarbonatos das amostras de água subterrânea analisadas.

### 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.

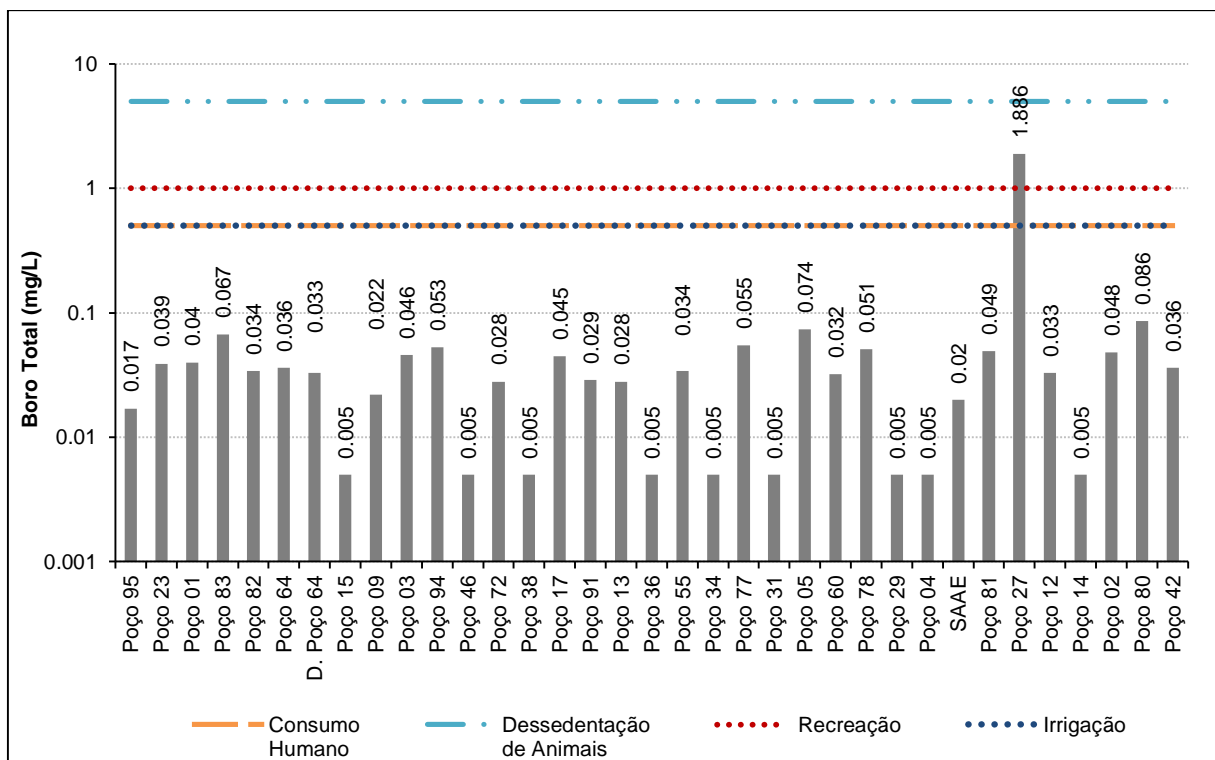


Figura 8.9: Concentração de boro total nas amostras de água subterrânea analisadas.

### 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

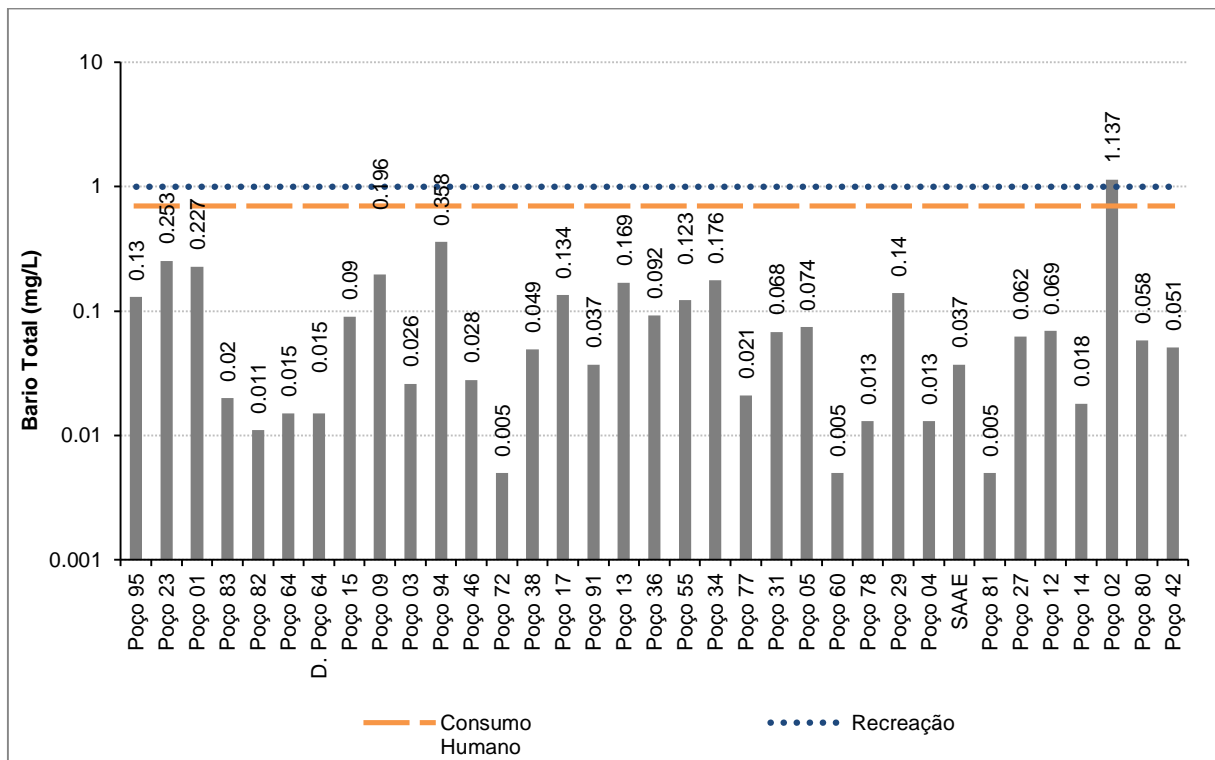
		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLOGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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.



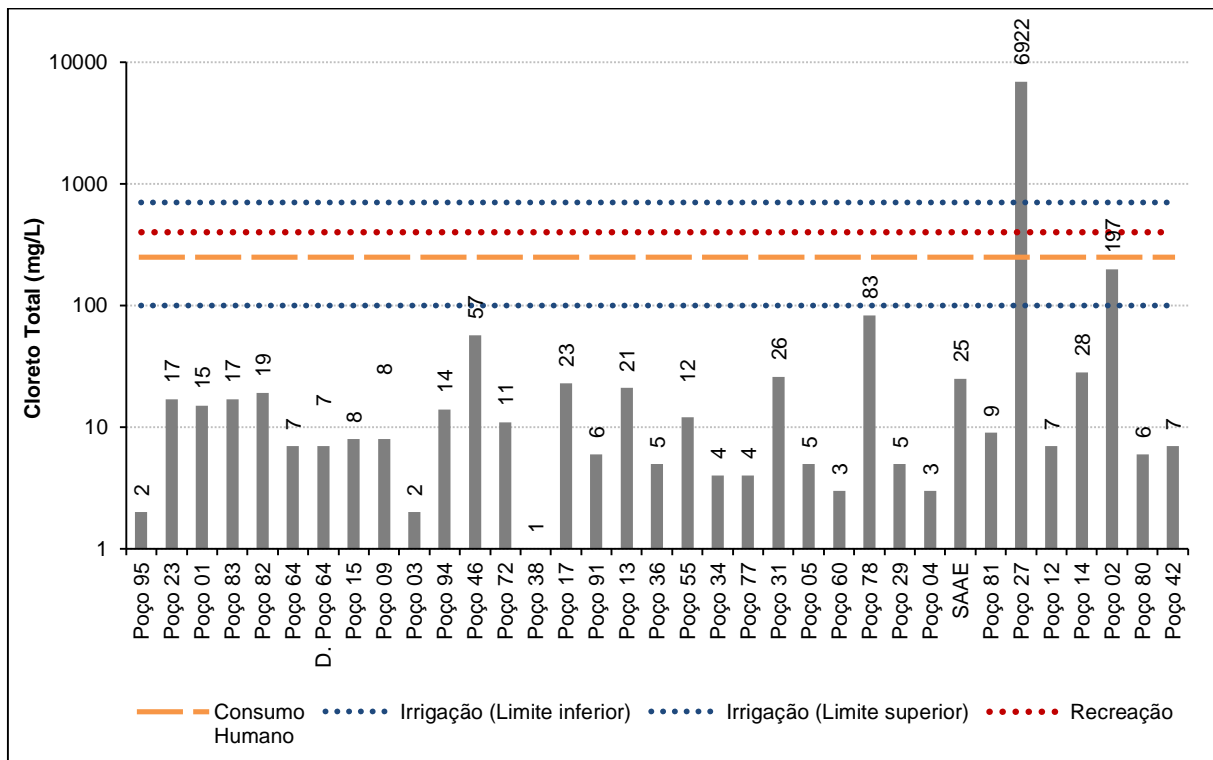
**Figura 8.10: Concentração de bário total nas amostras de água subterrânea analisadas.**

### 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).

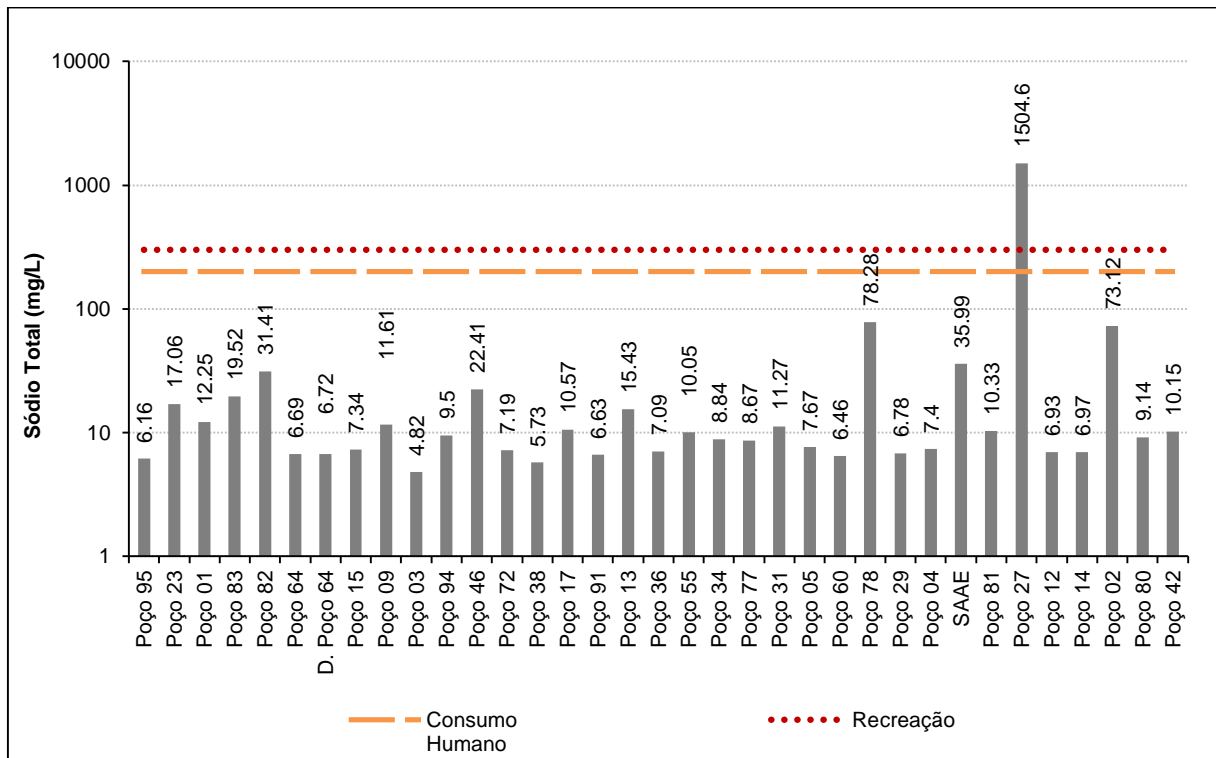


Figura 8.12: Concentração de sódio total nas amostras de água subterrânea analisadas.

### 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<sub>4</sub> 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.

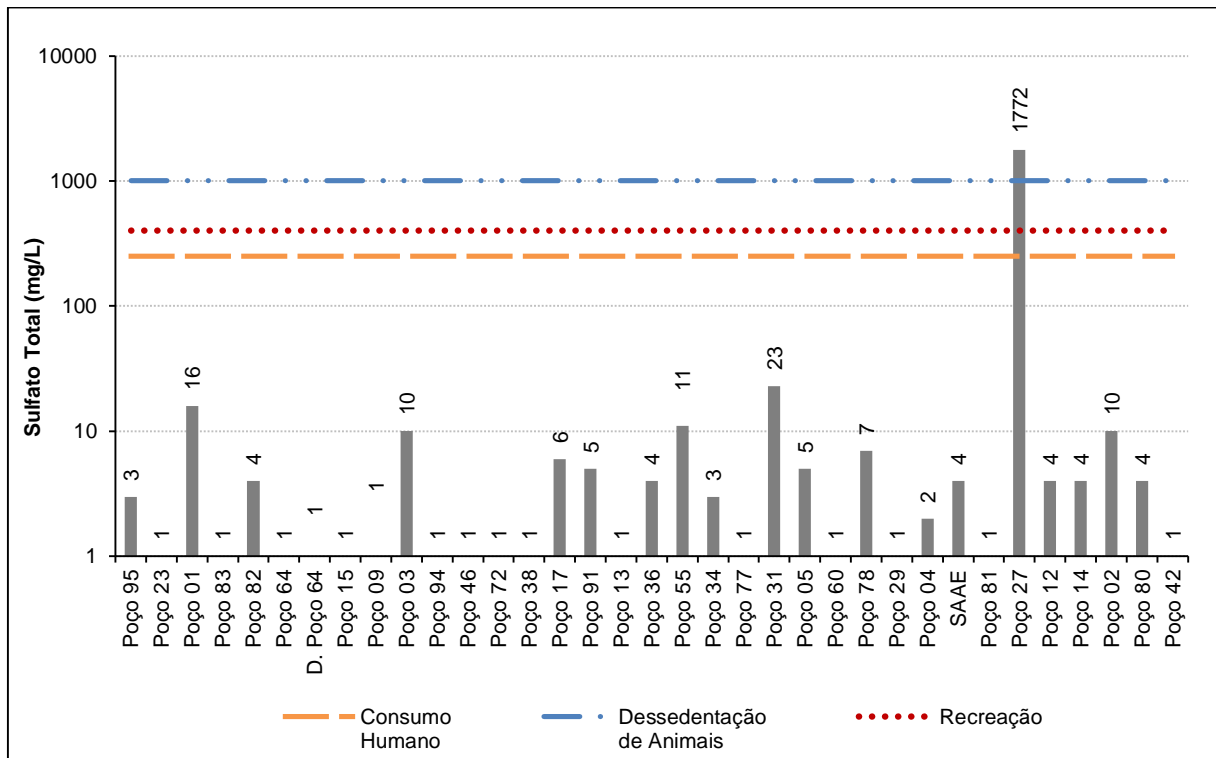
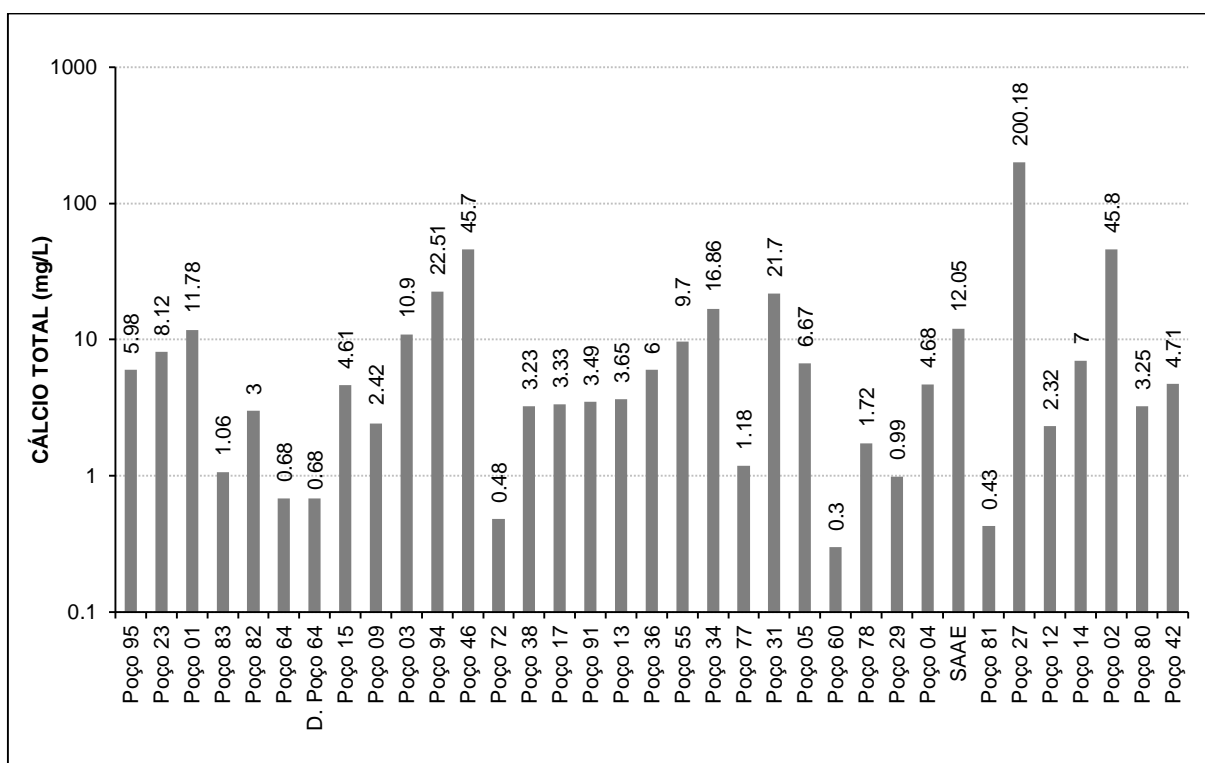


Figura 8.13: Concentração de sulfato total nas amostras de água subterrânea analisadas.

### 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.



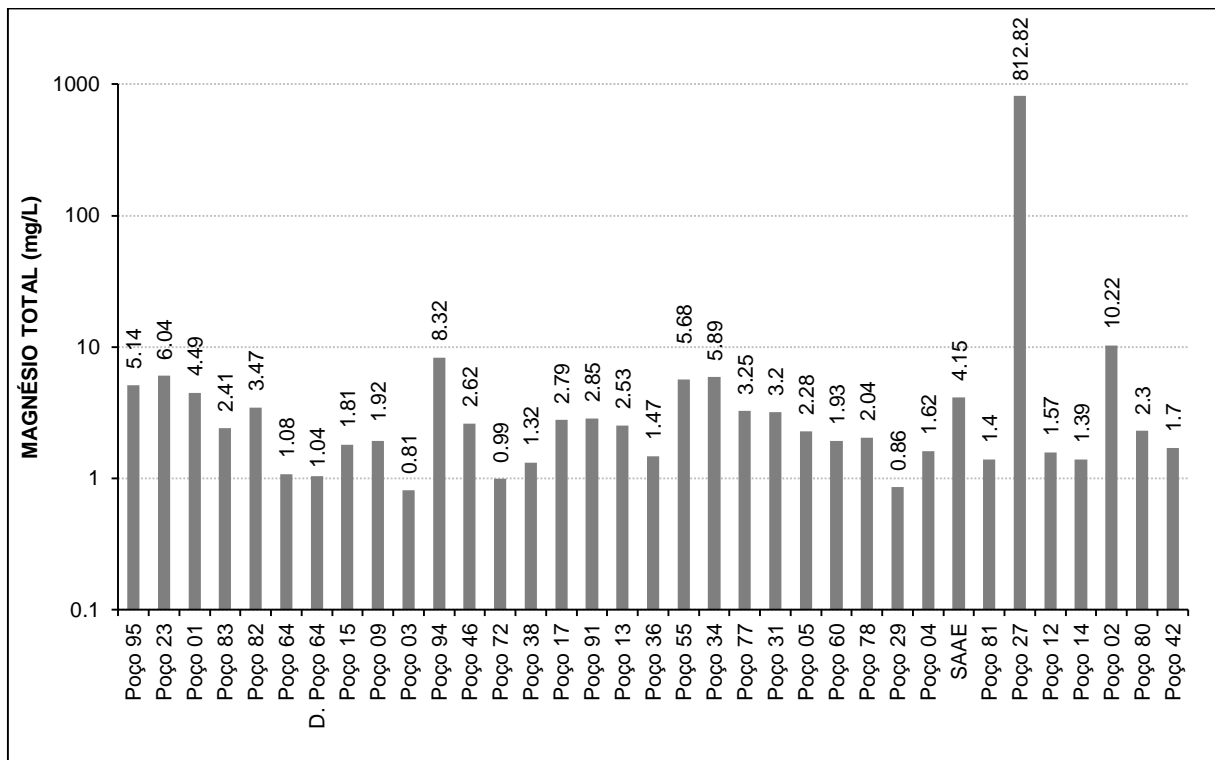
**Figura 8.14: Concentração de cálcio total nas amostras de água subterrânea analisadas.**

### 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.



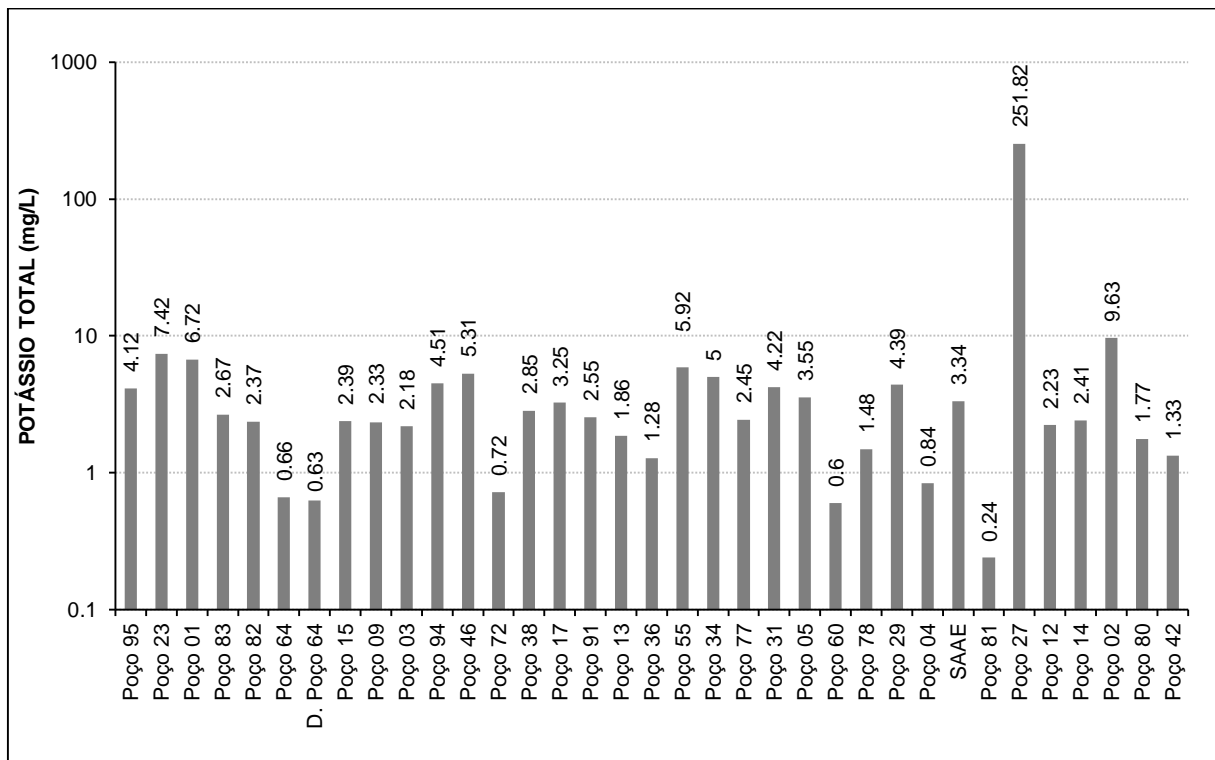
**Figura 8.15: Concentração de magnésio total nas amostras de água subterrânea analisadas.**

### 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).

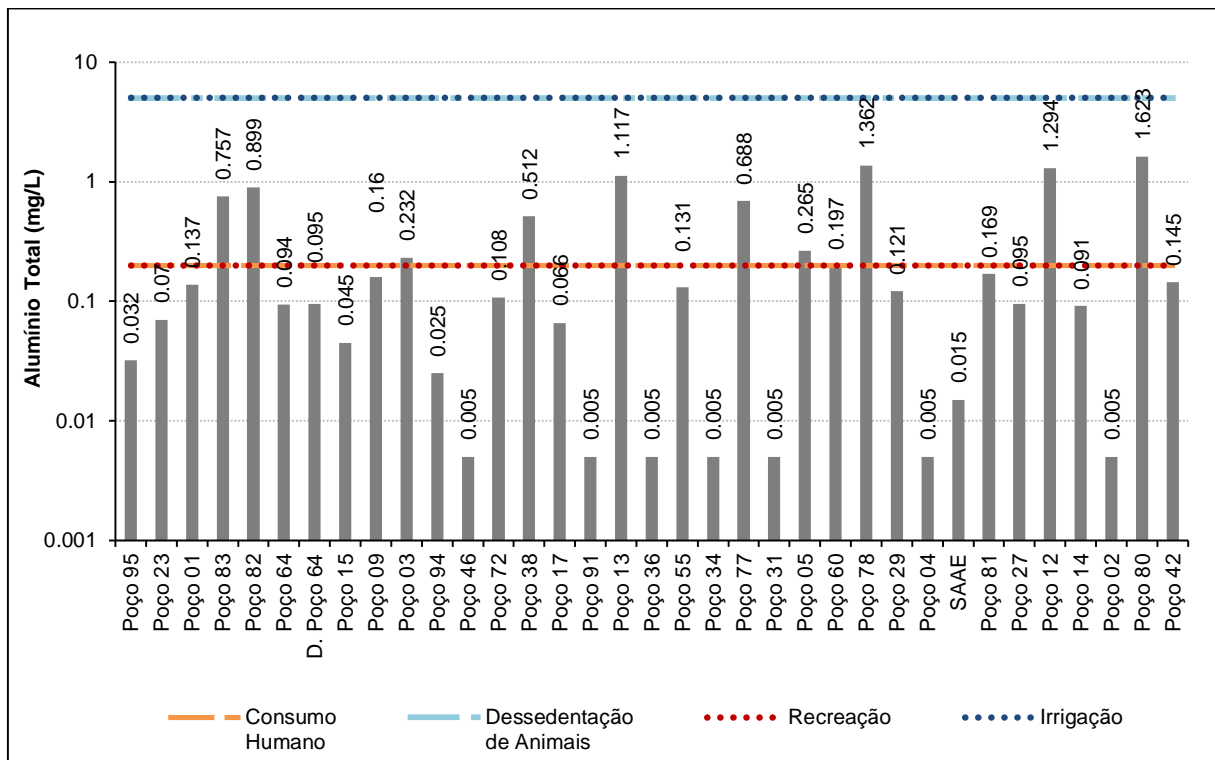
Na Resolução do CONAMA 396, não são definidos limites de concentração do potássio para nenhum uso específico. Entretanto, é válido mencionar que, assim como os parâmetros discutidos anteriormente, o Poço 27 apresentou elevada concentração desse elemento (Figura 8.16).



**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.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLOGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

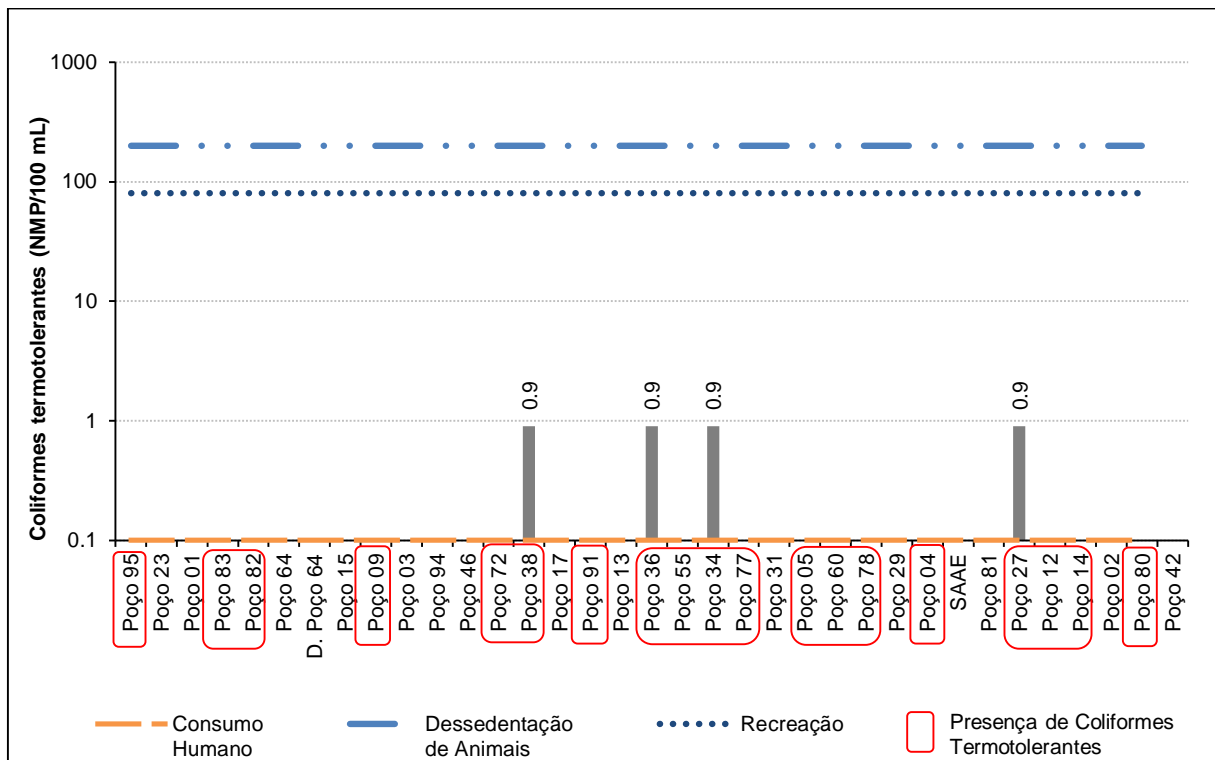
### 8.3.9 Coliformes termotolerantes

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 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, mostraram-se abaixo do limite de detecção.

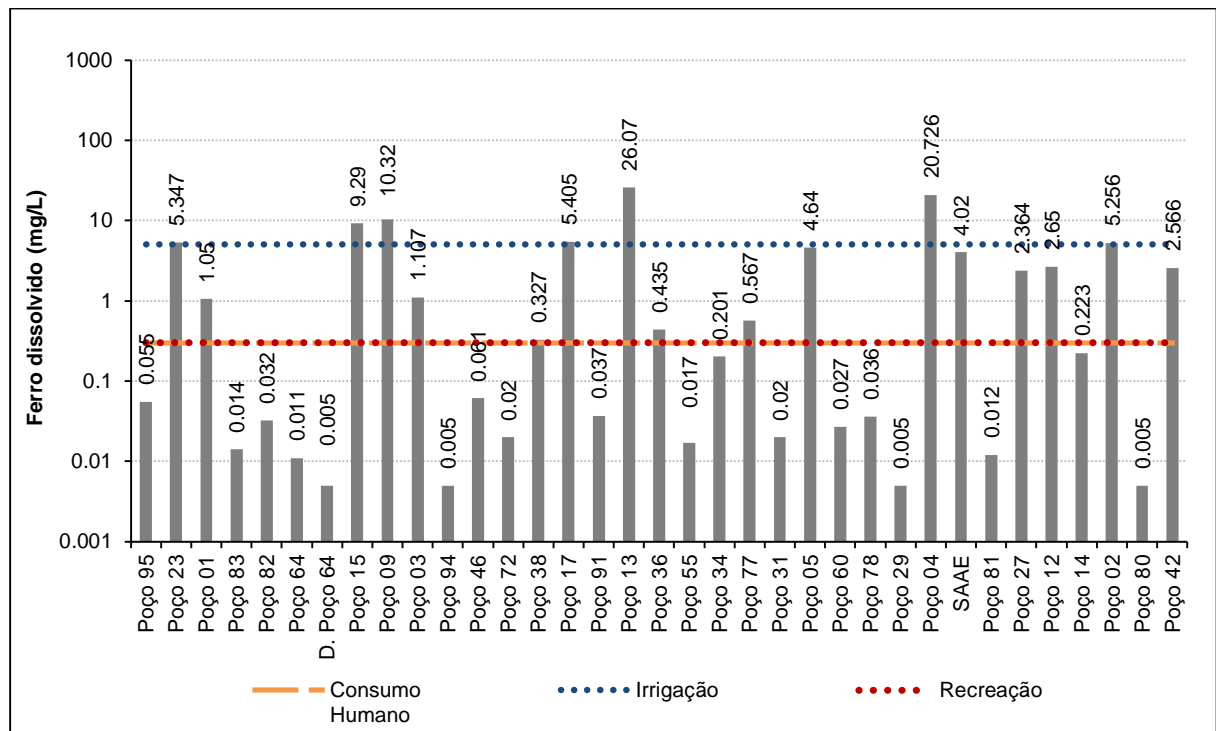
Os poços cujas amostras apresentaram traços de coliformes termotolerantes não possuem nenhuma correlação espacial, uma vez que ocorrem em inúmeras áreas do município de Linhares, evidenciando interferência antrópica, como por exemplo descarte indevido de esgoto sanitário. Dentre as áreas cita-se: centro 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.

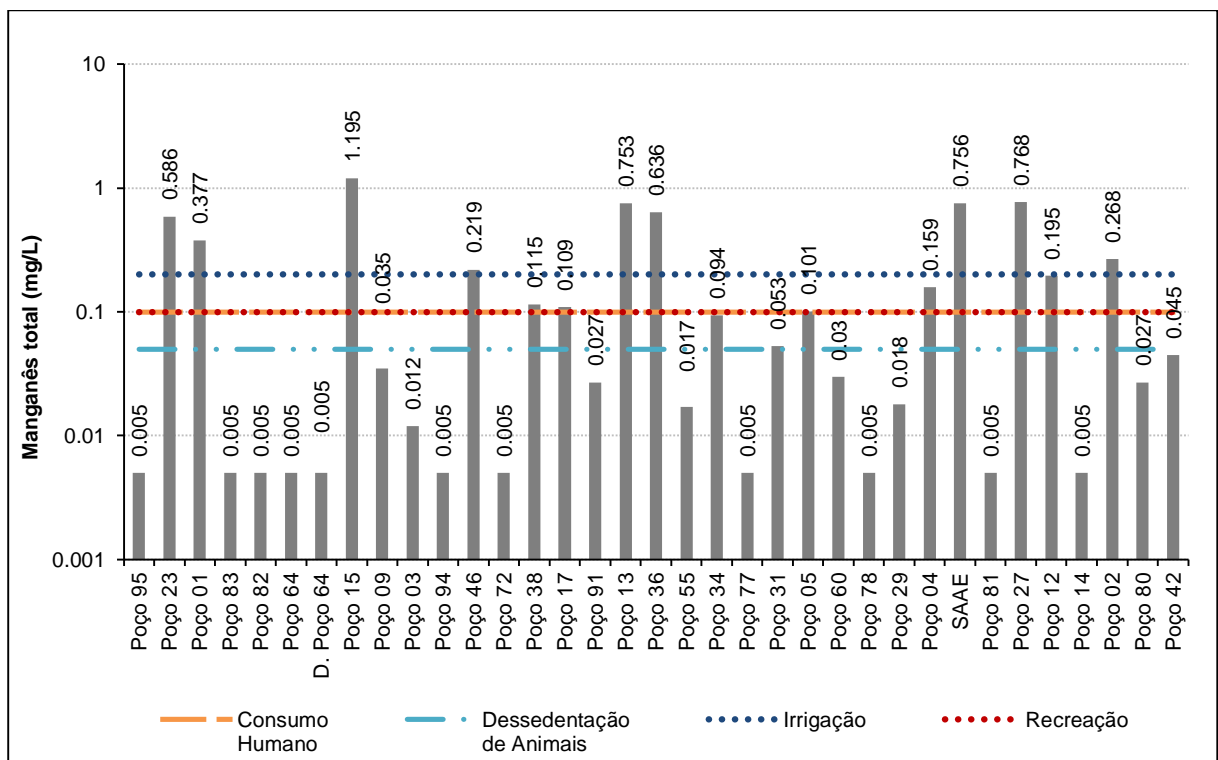


Figura 8.20: Concentração de manganês total nas amostras de água subterrânea analisadas.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 descontínua 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

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLOGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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)							
$\Sigma$ cátion ou $\Sigma$ 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).

## ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

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 <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Σ	Σ	C.E.	CUSTÓDIO E LLAMAS (1976)	LOGAN (1965)	OBS
								CÁTIONS	ÂNIONS				
								meq/L					
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	Balancedo
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	Balancedo
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	Balancedo
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	Balancedo
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	Balancedo
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	Balancedo
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	Balancedo
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

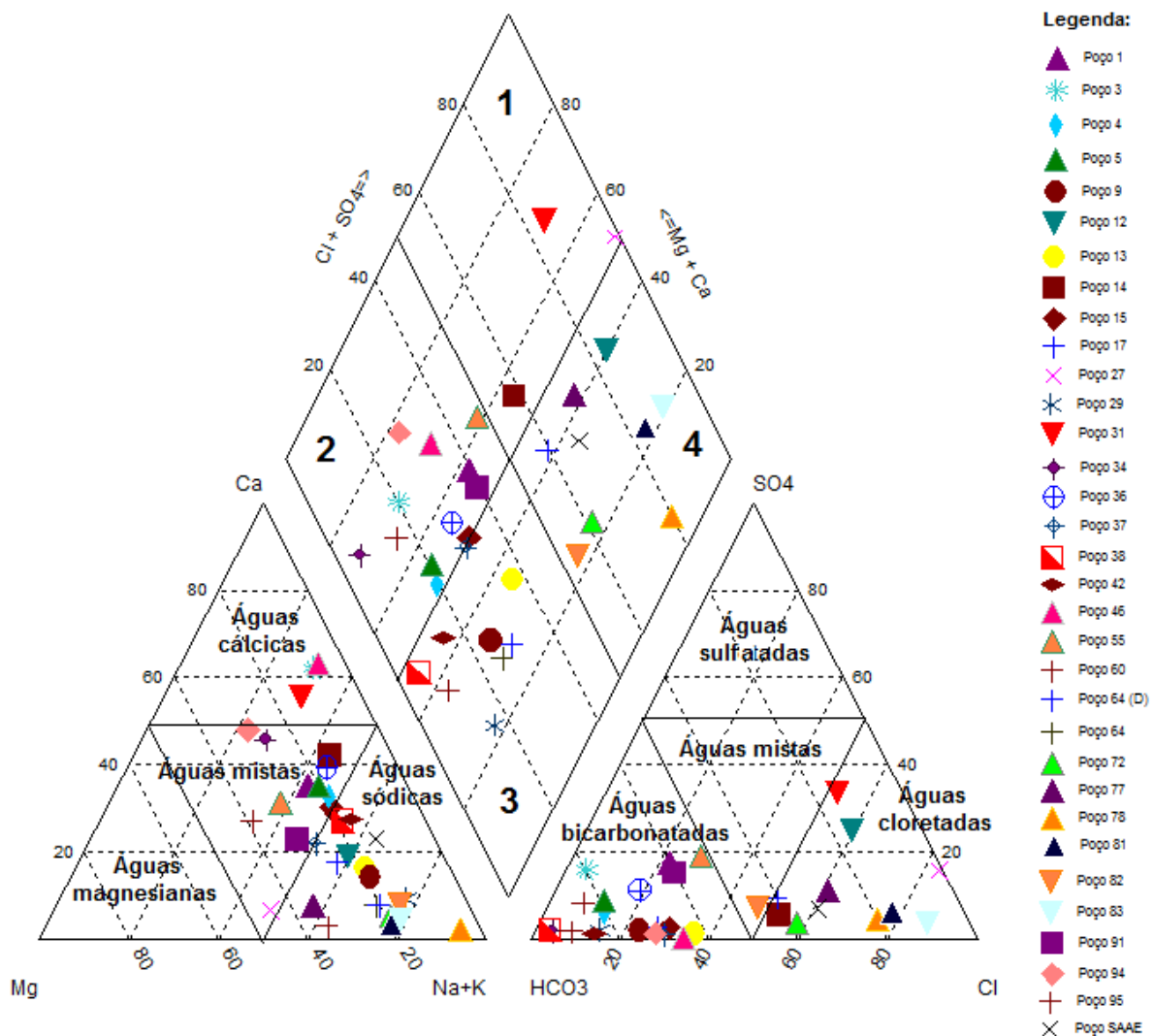
**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**

PONTO	REFERÊNCIA DA AMOSTRA	Na+K	Ca	Mg	Cl	CO <sub>3</sub> +HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Σ	Σ	C.E.	CUSTÓDIO E LLAMAS (1976)	LOGAN (1965)	OBS
								CÁTIONS	ÂNIONS				
		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 Berkloff*. Para a elaboração desses, por meio do software *AquaChem 2011.1*, foram considerados apenas os íons maiores ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) 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.**

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 ( $\text{HCO}_3 + \text{Mg} + \text{Ca} + \text{Na} + \text{K}$ ) 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- $\text{HCO}_3$ -Cl		X		
Poço 03	Ca- $\text{HCO}_3$		X		
Poço 04	Na-Ca- $\text{HCO}_3$		X		
Poço 05	Na-Ca- $\text{HCO}_3$		X		
Poço 09	Na- $\text{HCO}_3$ -Cl			X	
Poço 12	Na-Mg-Ca-Cl				X
Poço 13	Na- $\text{HCO}_3$ -Cl			X	
Poço 14	Ca-Na-Cl- $\text{HCO}_3$	X			
Poço 15	Na-Ca- $\text{HCO}_3$ -Cl			X	
Poço 17	Na-Mg-Cl- $\text{HCO}_3$				X
Poço 27	Mg-Na-Cl	X			
Poço 29	Na- $\text{HCO}_3$			X	
Poço 31	Ca-Na-Cl- $\text{SO}_4$	X			
Poço 34	Ca-Mg- $\text{HCO}_3$		X		
Poço 36	Na-Ca- $\text{HCO}_3$		X		
Poço 37	Na-Mg-Ca- $\text{HCO}_3$ -Cl			X	
Poço 38	Na-Ca- $\text{HCO}_3$			X	
Poço 42	Na-Ca- $\text{HCO}_3$			X	
Poço 46	Ca-Na- $\text{HCO}_3$ -Cl		X		
Poço 55	Ca-Mg-Na- $\text{HCO}_3$ -Cl		X		
Poço 60	Na-Mg- $\text{HCO}_3$			X	
Poço 64	Na- $\text{HCO}_3$ -Cl			X	

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
<b>ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES</b>		

Poço 64 (D)	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl			X	
Poço 72	Na-Cl-HCO <sub>3</sub>				X
Poço 77	Na-Mg-Cl				X
Poço 78	Na-Cl				X
Poço 81	Na-Mg-Cl				X
Poço 82	Na-Cl-HCO <sub>3</sub>				X
Poço 83	Na-Mg-Cl				X
Poço 91	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl		X		
Poço 94	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl		X		
Poço 95	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub>		X		
Poço SAAE	Na-Ca-Cl				X

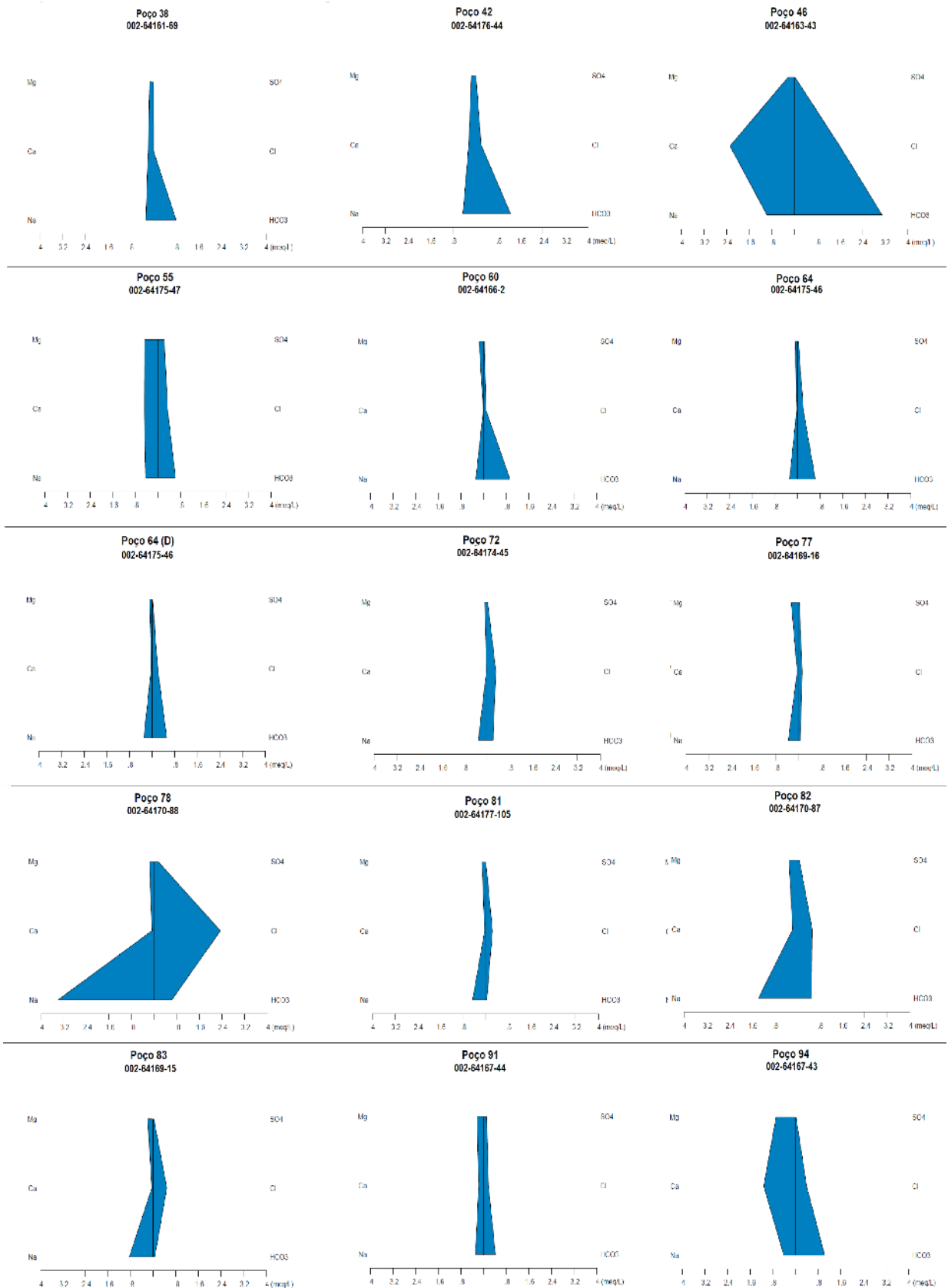
Para análise espacial da concentração dos principais cátions e ânions em cada amostra, os Diagramas de *Stiff* são bastante úteis, uma vez que facilitam a identificação de águas da mesma família, de acordo com as figuras geométricas formadas. Desta forma, as figuras Figura 8.25 Figura 8.22, Figura 8.23 e Figura 8.24 ilustram estes diagramas por pontos.

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**



**Figura 8.22: Diagramas de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 1 até 37.**

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**



**Figura 8.23: Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 38 a 94.**

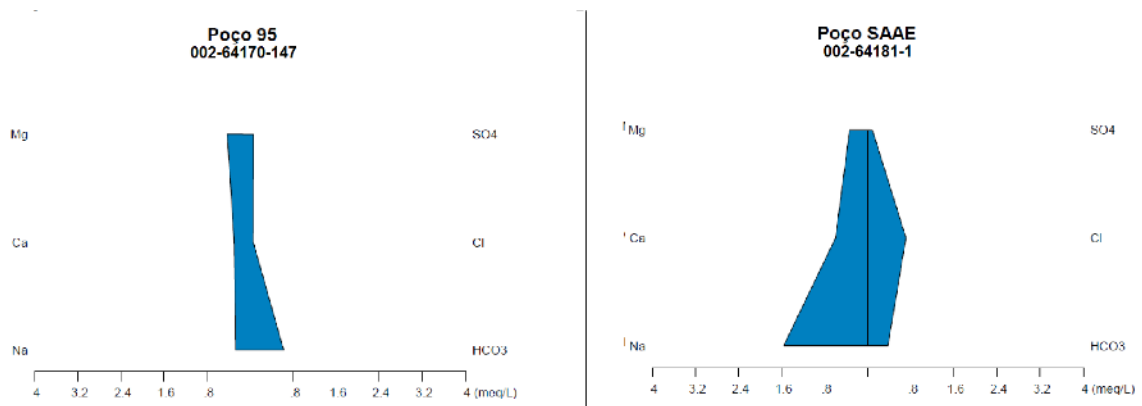


Figura 8.24: Diagrama de Stiff para as águas subterrâneas dos poços 95 e SAAE.

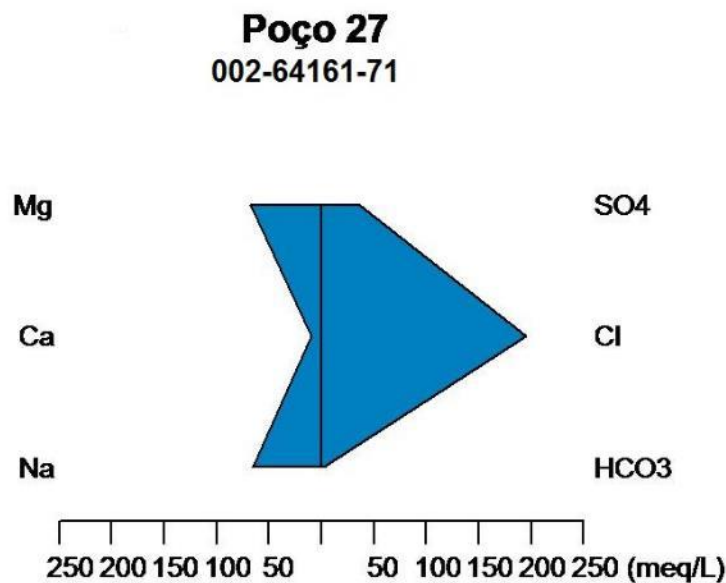
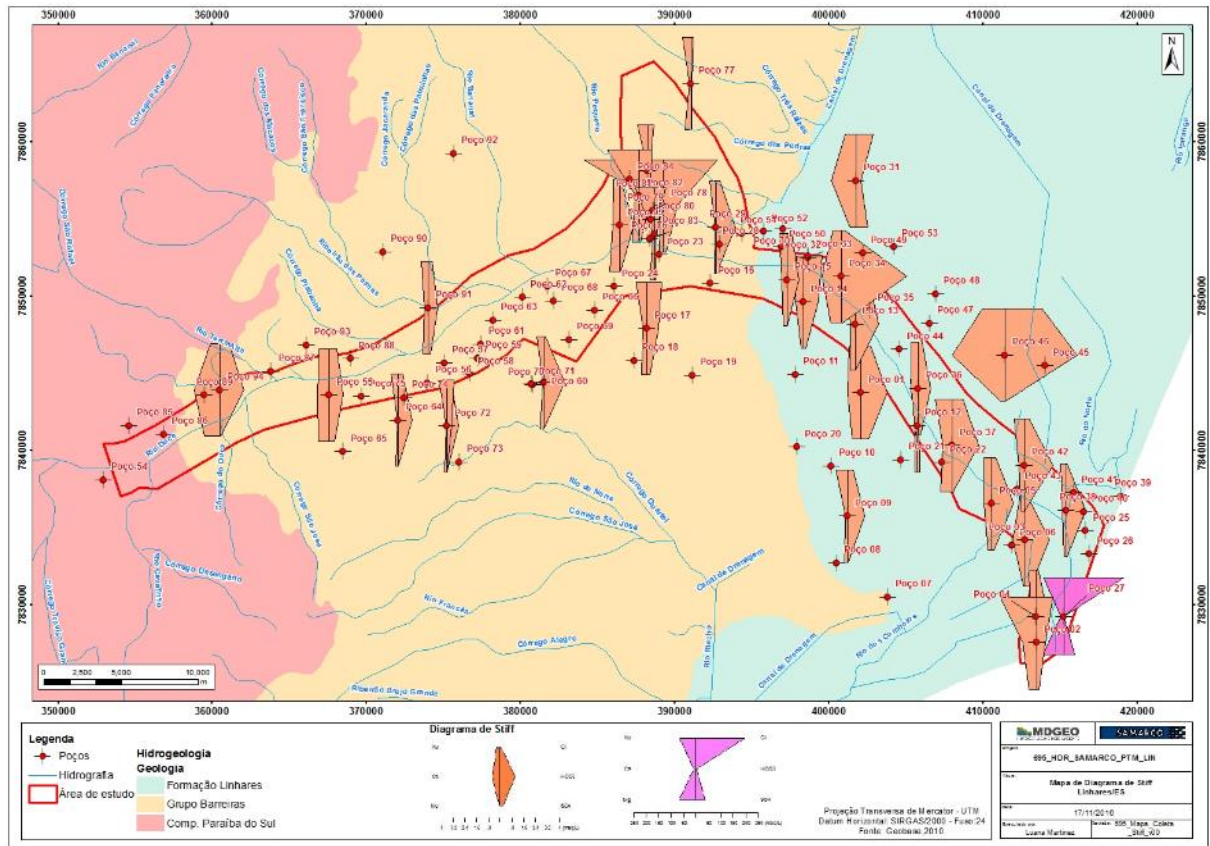


Figura 8.25: Diagrama de Stiff para a amostra do Poço 27.

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.

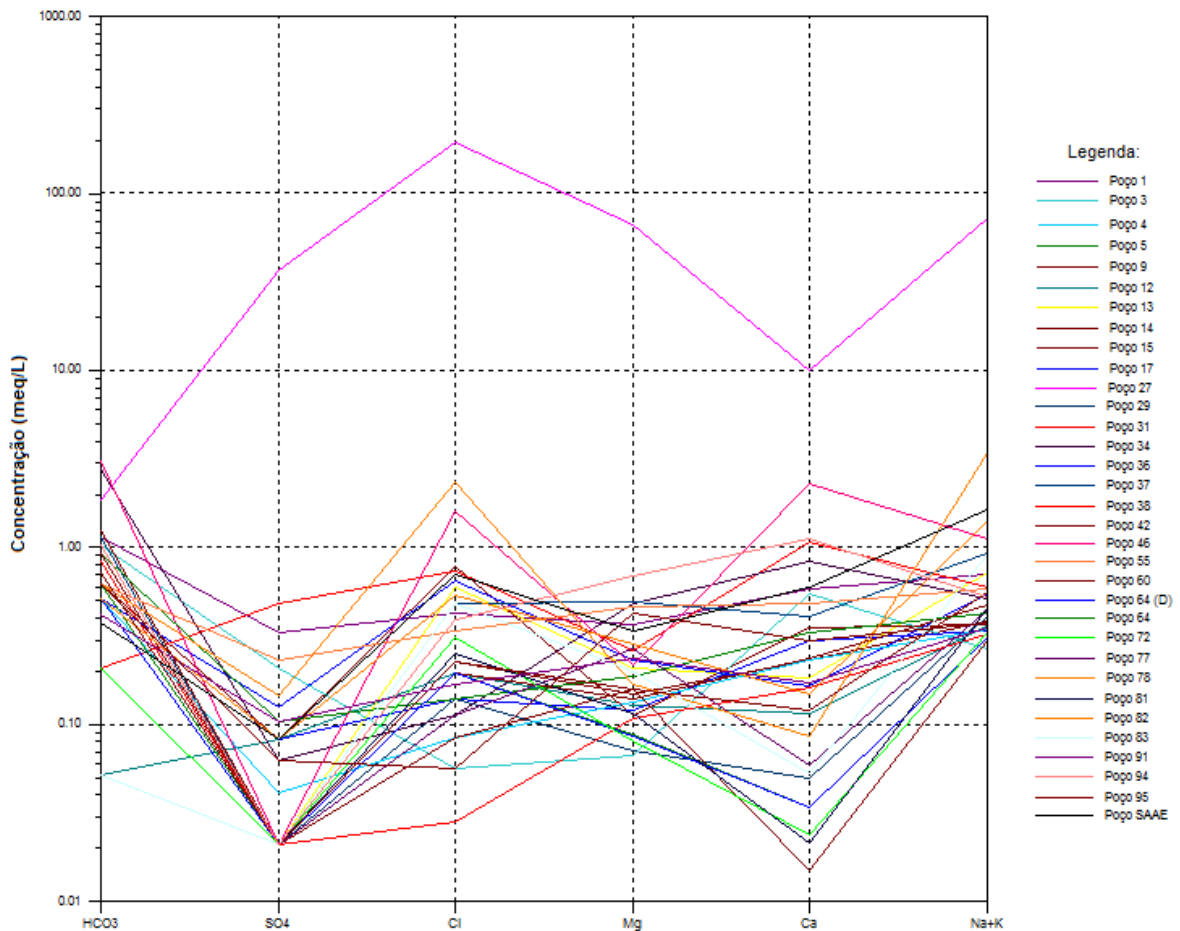
**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES**



**Figura 8.26: Mapa de distribuição dos Diagramas de Stiff em 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 similares 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.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 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 exploração 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

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 aquífero, 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 Aquífero**

O termo aquífero 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 Aquífero**

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

### **9.1.4 Aquífero**

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

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 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.

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES

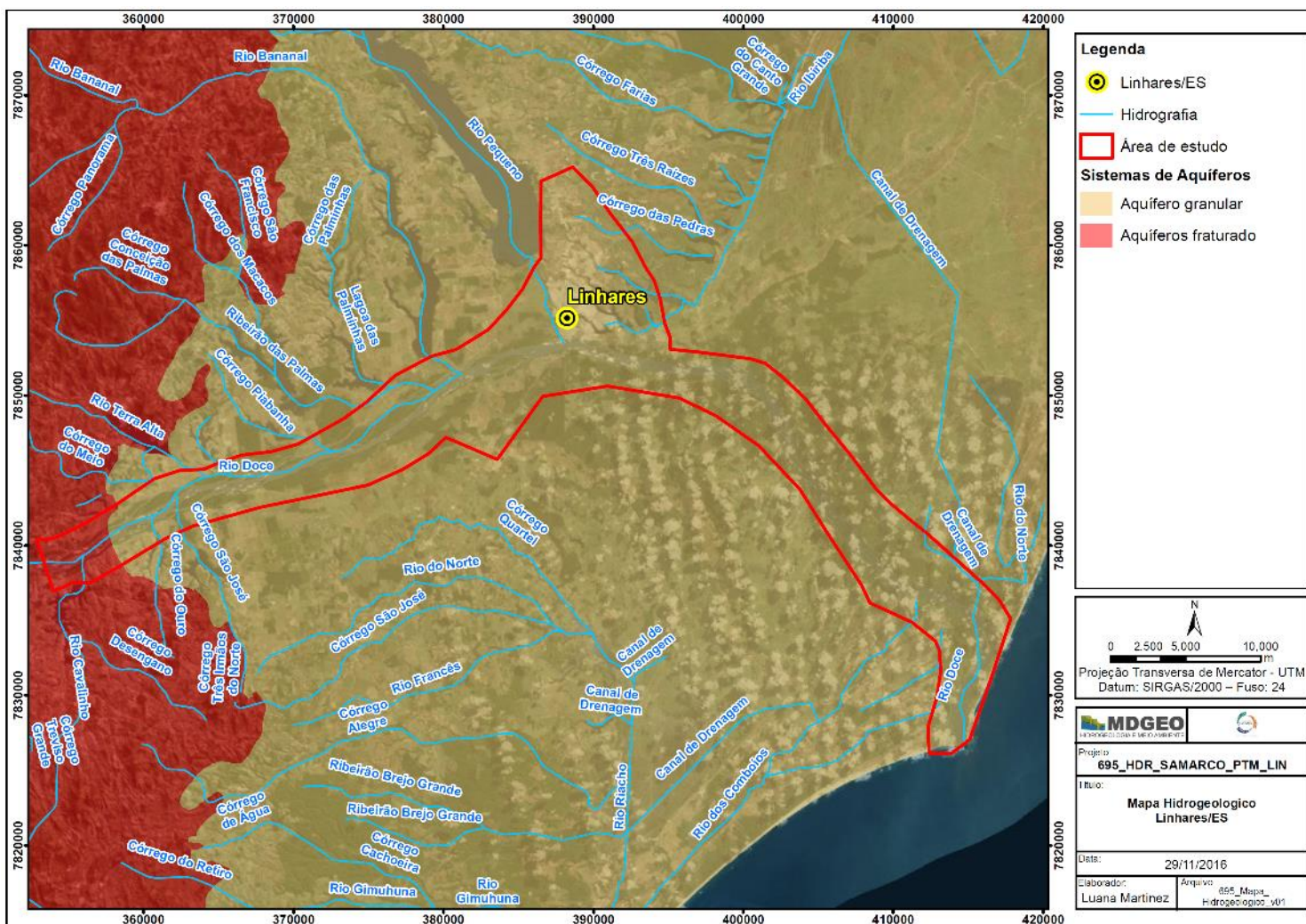


Figura 9.1: Mapa hidrogeológico da região de estudo. Linhares-ES.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

O aquífero granular é representado pelos arenitos da Formação Barreiras, onde a água está contida nos espaços intergranulares dos sedimentos areno-siltico-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 m<sup>2</sup>/dia. Tais variações indicam a grande heterogeneidade do aquífero.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

## 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

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_FUN_RENOVA695_04_POT_R05
ESTUDO HIDROGEOLÓGICO - MAPA POTENCIOMÉTRICO DA REGIÃO DE LINHARES/ES		

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 potencimetria 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).



## 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, Espírito 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 Berkloff*. 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 nº396, 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 indústrias, 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 ambientais 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 interiores no estado de São Paulo. Série Relatórios. Apêndice A. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos 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 6ª rodada de licitações da Agência Nacional do Petróleo, em relação a áreas próximas ambientalmente sensíveis. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito 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 Subterrânea - Método: Eletroresistividade*. Linhares.
- WEDEPOHL, K. H. (1978). *Handbook of geochemistry. Vol. II/2. Berlin/ Heidelberg/ Nova York, Springer*.

## 12 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)**



---

Rua Gararu, 389, Sagrada Família, Belo Horizonte – MG  
(tel) +55-31-3482-9959 / 31-3466-1602 •(fax) +55-31-3481-8911  
mdgeo@mdgeo.com.br • www.mdgeo.com.br