



FUNDAÇÃO
renova

**VOLUME 3 - APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITO NOS
TRECHOS 1 AO 4
Fevereiro/2018**



**VOLUME 3 – APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITO
NOS TRECHOS 1 AO 4
REVISÃO 00**

Preparado por:

JACOBS® ch2m®

São Paulo / 2018

RESUMO

SUMÁRIO EXECUTIVO	9
1 Introdução	13
2 Contextualização	16
3 Objetivo	21
4 Conteúdo do relatório	22
5 Caracterização ambiental da área afetada e dos depósitos de rejeito	24
5.1 Caracterização ambiental da área afetada.....	24
5.1.1 Delimitação da Área Afetada	25
5.1.2 Unidades Ambientais	31
5.1.3 Ações de Contenção de Sedimentos e Disciplinamento da Drenagem.....	35
5.1.4 Levantamento Planimétrico.....	50
5.1.5 Unidades da Paisagem.....	52
5.1.6 Resultados dos Monitoramentos e Dados de Outros Programas.....	54
5.1.7 Aspectos Socioeconômicos	91
5.1.8 Hidrologia.....	101
5.1.9 Identificação das Áreas de Disposição Dentro da Área de Abrangência.....	102
5.2 Caracterização Ambiental dos Depósitos de Rejeito.....	105
5.2.1 Identificação dos Tipos de Depósitos.....	105
5.2.2 Estudos Prévios: Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos	109
5.2.3 Metodologias Estabelecidas para Coleta de Dados de Campo	116
5.2.4 Resultados dos Aspectos Físicos e Químicos	142
5.2.5 Estimativa de Volume de Depósito de Rejeito.....	189
6 Identificação dos Impactos Ambientais	207
7 Identificação dos Objetivos Específicos	217

7.1	Divisão Espacial da Área Afetada	219
7.2	Definição dos Objetivos Específicos	222
8	Processo de Tomada de Decisão	224
8.1	Pontuações base por critério	225
8.2	Contexto A1. Depósitos sobre solos naturais com vegetação florestal nativa em encosta	229
8.2.1	Definição de Alternativas de Manejo.....	230
8.2.2	Processo Simplificado de Tomada de Decisão	231
8.2.3	Medidas Mitigadoras.....	236
9	Descrição das Alternativas de Manejo Selecionadas	237
9.1	Enriquecimento da vegetação com espécies nativas	240
9.2	Disciplinamento das Drenagens	241
9.3	Monitoramento	246
9.4	Cronograma de implementação das alternativas de manejo.....	249
10	Equipe Técnica.....	251
11	Referências Bibliográficas.....	252
12	Anexos.....	257

Lista de Figuras

Figura 1	– Localização da área de estudo e Trechos.....	18
Figura 2	– Fluxograma de Gerenciamento de Manejo de Rejeito.....	20
Figura 3	– Fases do Fluxograma de Gerenciamento a serem consideradas na Execução do Plano de Manejo de Rejeito	21
Figura 4	– Detalhamento da área de abrangência do PMR nos Trechos 1 ao 4.....	27
Figura 5	– Exemplo do mosaico de imagens com data de 09/11/2015 utilizado para delimitação da Área Impactada	28
Figura 6	– Exemplo do imageamento realizado com aeronave não tripulada no período entre Junho e Julho de 2017.....	29
Figura 7	– Comparação entre mosaico de 09/11/2015 e imageamento do período entre Junho e Julho de 2017.....	30
Figura 8	– Áreas de Preservação Permanente Hídrica.....	32
Figura 9	– Unidades de Conservação e Áreas Protegidas.....	34
Figura 10	– Arranjo geral do Dique S1 e S2.....	37
Figura 11	– Arranjo geral do Dique S3.....	38
Figura 12	– Arranjo geral da Barragem Nova Santarém.....	40

Figura 13 – Arranjo Geral do Eixo 1	41
Figura 14 - Análise Histórica das Estruturas de Contenção (Pré-evento - Evento)	43
Figura 15 - Análise histórica das estruturas de contenção (Pós-evento 1 e 2)	44
Figura 16 - Análise histórica das estruturas de contenção (Atual).....	45
Figura 17 – Pontos de monitoramento da Operação Águas.....	49
Figura 18 – Mapa Hipsométrico	51
Figura 19 – Mapa de unidades da paisagem	53
Figura 20 – Localização dos Pontos de Monitoramento e estudos Pretéritos.....	60
Figura 21 – Ponto do Trecho 1 que apresenta o Córrego Santarém.....	62
Figura 22 – Reestabelecimento natural da vegetação nas encostas do Trecho 2	63
Figura 23 – Remoção de parte do solo das encostas.....	64
Figura 24 – Reservatório formado pelo Dique S3	65
Figura 25 – Pluviosidade no Trecho 1	68
Figura 26 – Pluviosidade e Turbidez (TUR-80 e TUR-11)	69
Figura 27 – Pluviosidade e Turbidez (TUR-69 e TUR-77)	69
Figura 28 – Mapa de Proprietários.....	93
Figura 29 – Mapa de Acessos	95
Figura 30 – Mapa de Usos dos Solos.....	97
Figura 31 – Comparação Altimétrica entre Topografia Primitiva (Nov/2015) e Levantamento LIDAR (Set/2016).....	100
Figura 32. ADME 1 (UTM 664527.00 m E/ 7760277.00 m S).....	103
Figura 33. Acesso a ADME 1 (UTM 664327.00 m E/ 7760095.00 m S).....	103
Figura 34. ADME 3 (664285.00 m E/ 7759673.00 m S).....	103
Figura 35. Acesso ADME 3 (664440.00 m E/ 7759593.00 m S).....	103
Figura 36 - Mapa de Áreas de Projeto de Disposição de Rejeito (ADMEs).....	104
Figura 37 - Ilustração dos Tipos de Depósitos de Rejeito nas Seções Intracalha e Extracalha	106
Figura 38 – Programas socioambientais que possuem interface com o PG 23 – Programa de Manejo de Rejeito - e abrangência conforme os tipos de depósito	106
Figura 39 – Foto Obtida no Transecto T4T1 com Destaque para as Ramificações do Córrego Santarém.	107
Figura 40 - Foto Obtida no Transecto T4T1 com Destaque para as Ramificações do Córrego Santarém.	108
Figura 41 – Foto Obtida no Transecto T2T1 com Destaque para as Superfície Plana que Favorece as Ramificações.....	108
Figura 42 - Foto Obtida no Transecto T3T1 com Destaque para a Baixa Declividade Entre Calha e Seção Seca	109
Figura 43 – Material de Coloração Clara Encontrada Dentro da Barragem de Fundão	118
Figura 44 – Material de Coloração Marrom Avermelha Encontrada Dentro da Barragem de Fundão	118
Figura 45 – Localização dos Transectos nos Trechos 1 ao 4 e Barragem de Fundão.....	120
Figura 46 – Ilustração dos Pontos de Amostragem por Meio dos Transectos	123
Figura 47 – Seção Transversal dos Pontos de Sondagem nos Transectos	123
Figura 48 – Geomorfologia da Garganta 1, identificada no Trecho 1	137
Figura 49 – Geomorfologia da Garganta 2, identificada no Trecho 3	138
Figura 50 – Início da unidade de análise T3-T4-UA	139
Figura 51 – Unidades de análise e localização dos transectos nos Trechos 1 ao 4.....	140
Figura 52 – Perfil longitudinal dos Trechos 1 ao 4 e localização dos transectos e unidades de análise definidas.....	141
Figura 53 – Localização e Espessuras do Pontos de Sondagem do T1T1	150
Figura 54 – Localização e Espessuras do Pontos de Sondagem do T2T1	151
Figura 55 – Localização e Espessuras do Pontos de Sondagem do T2T2	152
Figura 56 – Localização e Espessuras do Pontos de Sondagem do T3T1	153
Figura 57 – Localização e Espessuras do Pontos de Sondagem do T4T1	154
Figura 58 – Localização e Espessuras do Pontos de Sondagem do T4T2	155
Figura 59 - Comparativo de Espessuras de Rejeito nas Seções Intra e Extracalha.....	156

Figura 60 – Espessuras dos Depósitos de Rejeito Encontrados na Porção Extracalha	157
Figura 61 – Evidência da Existência de Rejeito Anteriormente ao Evento do Rompimento entre as Imagens de 10 de agosto de 2014 e 20 de julho de 2015 do Remanso da Barragem de Santarém.	158
Figura 62 – Espessuras Médias dos Depósitos de Rejeito Encontrados nas Encostas da Seção Extracalha	159
Figura 63 – Espessuras Médias dos Depósitos de Rejeito Encontrados nas Planícies da Seção Extracalha	159
Figura 64 – Comparativo das espessuras médias dos depósitos de rejeito em cada contexto da seção extracalha	160
Figura 65 – Soma das Médias dos Depósitos de Rejeito Lavado e Inconsolidado Encontrados na Porção Intracalha	161
Figura 66 – Espessuras Médias dos Depósitos de Rejeito Encontrados na Porção Intracalha	162
Figura 67 - Evidência de Erosão na Calha do Córrego Santarém.....	163
Figura 68 – Médias das Porcentagens de Argila, Silte, Areia Total e Cascalho Total.....	166
Figura 69 - Ilustração do Modelo Conceitual de Formação do Lag layer na Calha do Rio.....	170
Figura 70 – Localização das Amostras de Solo de Sedimento do Estudo Geoquímico da Golder e deste PMR.....	186
Figura 71 – Compartimentação da área afetada.....	191
Figura 72 – Detalhe da área do transecto T4-T2 na área do reservatório do Dique S3	193
Figura 73 – Tendência da espessura em função da elevação na T1T4-UA1	195
Figura 74 – Tendência da espessura em função da elevação na T1T4-UA2	196
Figura 75 – Curvas de nível utilizadas no cálculo de área comparados com área impactada (T1T4- UA1)	197
Figura 76 – Curvas de nível utilizadas no cálculo de área comparados com área impactada (T1T4- UA2)	198
Figura 77 – Superposição do corpo d’água da barragem Nova Santarém e do dique S3 com os contextos de planície e encosta	221
Figura 78 – Conceito da Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito nos Trechos 1 ao 4	239
Figura 79 – Fluxograma de Manutenção das Obras de Diciplinamento de Drenagem e Controle de Erosão	243

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Descrição dos trechos específicos para a aplicação do PMR.....	16
Tabela 2 – Representatividade percentual das áreas impactadas na área afetada	30
Tabela 3 – Dados do mapeamento de APP do ZAP.....	31
Tabela 4 – Coordenadas dos pontos de monitoramento da Operação Águas localizados nos Trechos 1 ao 4.....	47
Tabela 5 – Alturas máximas atingidas pelo rejeito em cada trecho	50
Tabela 6 – Unidades de paisagem nos Trechos 1 ao 4.....	52
Tabela 7 - Pontos de amostragem de água superficial	65
Tabela 8 – Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 - Centro (RDC-123)	72
Tabela 9 - Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 - Jusante (RDC-124)	73
Tabela 10 - Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 – Lado Esquerdo (RDC-125).....	74
Tabela 11 - Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 – Lado Direito (RDC-126).....	75
Tabela 12 – Resultados analíticos de qualidade de água - PMQQVAI	76
Tabela 13 - Quantificação da cobertura vegetal na área impactada antes e após o evento	79
Tabela 14 – Uso do Solo na área de abrangência dos Trechos 1 ao 4	96
Tabela 15 – Áreas conservadas X antropizadas nos Trechos 1 ao 4.....	96
Tabela 16 – Classificação percentual do uso do solo identificado na área impactada.....	98
Tabela 17 - Valores de vazão média e específica de longo termo (QMLT e QESP) da estação fluviométrica da ANA 56336001 e regionalização nas bacias dos Trechos 1 ao 4.	102
Tabela 18 – Tipos de depósito de rejeitos classificados por contexto	105

Tabela 19 – Resumo dos Resultados obtidos dentro do Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos elaborado pela Golder em outubro/2017	112
Tabela 20 – Transectos Seleccionados para os Trechos 1 ao 4 e Barragem de Fundão	119
Tabela 21 – Relação de Transectos e as Respectivas Sondagens nos Trechos 1 ao 4 e Barragem de Fundão	123
Tabela 22 – Quantidade e Camadas de Coleta das Amostras para cada Transecto Seleccionado nas Encosta, Planície e Calha – Trechos 1 ao 4	127
Tabela 23 - Declividades médias das unidades de análise	136
Tabela 24 – Utilização dos Dados de Campo no Processo de Tomada de Decisão	141
Tabela 25 - Resultados de Espessura de Rejeito nos Transectos (m)	144
Tabela 26 – Resultados de Espessuras Médias de Rejeito (m)	146
Tabela 27 – Resultados de Espessura de Rejeito por Contexto (m).....	147
Tabela 28 – Resumo dos Resultados de Granulometria – Amostras dos Trechos 1 ao 4	164
Tabela 29 – Concentrações de Metais na Seção Extracalha dos Trechos 1 ao 4 e Barragem de Fundão	173
Tabela 30 – Concentrações de Metais na Seção Intracalha dos Trechos 1 ao 4	177
Tabela 31 – Resultados da Análise de Granulometria das Amostras Compostas por Transecto nos Trechos 1 ao 4.....	181
Tabela 32 - Resultados da Análise Química das Amostras Compostas por Transecto nos Trechos 1 ao 4	181
Tabela 33 - Comparativo dos Resultados Analíticos Pretéritos x Atuais – Solo	187
Tabela 34 - Comparativo dos Resultados Analíticos Pretéritos x Atuais – Sedimentos.....	188
Tabela 35 – Áreas de encosta, planície e calha impactadas segmentadas entre as áreas de influência dos transectos	192
Tabela 36 – Espessura média de rejeito na calha, planície de inundação e encosta	193
Tabela 37 – Volume estimado de rejeito na calha, planície de inundação e encosta.....	194
Tabela 38 – Resumo do volume estimado nos Trechos 1 ao 4	194
Tabela 39 – Estimativa de volume pelo Método 2.....	198
Tabela 40 – Cômputo dos volumes movimentados entre o Vale do Fundão e o eixo do Dique S3 ...	201
Tabela 41 – Movimentação de Volume nas barragens de Fundão, Nova Santarém, S3 e S4.....	204
Tabela 42 –Resumo da caracterização ambiental dos depósitos de rejeito e da área afetada nos Trechos 1 ao 4.....	209
Tabela 43 – Contextos identificados nos Trechos 1 ao 4.....	222
Tabela 44 – Impactos e Objectivos Específicos por Contexto nos Trechos 1 ao 4	223
Tabela 45 – Análise Simplificada de Tomada de Decisão para o Contexto A1 – Trechos 1 ao 4.....	231
Tabela 46 – Impactos e Objectivos Específicos por Contexto nos Trechos 1 ao 4 – Alternativa indicada destacada em negrito.....	237
Tabela 47 – Aspectos específicos de monitoramento para o manejo de rejeito nos Trechos 1 ao 4...	247
Tabela 48 – Cronograma macro para os Trechos 1 ao 4.....	249

Lista de Quadros

Quadro 1 – Pontos de monitoramento e estudos dos Trechos 1 ao 4.....	59
Quadro 2 – Status das outorgas do Complexo Germano (dezembro/2016).....	101

Lista de Anexos

- I. Memorial Descritivo do Eixo 1
- II. Qualidade da Água
- III. Lista de Espécies de Biodiversidade
- IV. Resultados Geoquímica

- V. Fichas de Sondagem – Atividade de campo JACOBS CH2M
- VI. Laudos analíticos: Amostragem de solo e sedimento – Atividade de campo JACOBS CH2M
- VII. Cadeia de Custódia – Atividade de campo JACOBS CH2M
- VIII. Relatório Fotográfico - Atividade de campo JACOBS CH2M
- IX. Anotação de Responsabilidade Técnica

SUMÁRIO EXECUTIVO

A CH2M HILL do Brasil (atual JACOBS CH2M) foi contratada pela Fundação Renova para a aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos (PMR), elaborado para a gestão dos impactos ambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, da Samarco Mineração S.A., ocorrido no dia 5 de novembro de 2015.

O PMR considerou como objeto de análise as áreas físicas diretamente afetadas pelos rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão, como as planícies de inundação, as margens e calhas dos rios, as lagoas lindeiras aos rios, sejam naturais ou resultantes de atividades antrópicas, como o garimpo ou a criação de peixes, bem como as vertentes da bacia de contribuição, delimitadas em cada Trecho conforme o conceito de Ottobacias.

Para o Gerenciamento do Plano de Manejo de Rejeito foram definidas cinco fases para o processo de tomada de decisão, conforme proposto na Nota Técnica IBAMA/SISEMA/IEMA nº 002/2017, sendo:

- Fase 1A – Caracterização ambiental da área afetada;
- Fase 1B – Complementação da caracterização ambiental da área afetada;
- Fase 2 – Tomada de decisão e seleção das alternativas de manejo;
- Fase 3 – Avaliação governamental da proposta apresentada;
- Fase 4 – Comunicação aos proprietários;
- Fase 5 – Implementação e monitoramento da alternativa selecionada.

Os trabalhos desenvolvidos no presente relatório atendem especificamente as Fase 1A e Fase 2, que tratam da caracterização ambiental da área afetada, do processo de tomada de decisão e da seleção das alternativas de manejo, respectivamente. Não foi incluída nesse relatório a Fase 1B, que trata de estudos complementares da caracterização, já que a identificação da necessidade dos mesmos será produto do presente relatório, como é o caso do Trecho 8 que foi eleito como trecho piloto da aplicação do plano de manejo e cuja caracterização está sob complementação por solicitação do órgão ambiental.

Esse relatório tem como objetivo a aplicação do PMR para os Trechos 1 ao 4, que se referem às seguintes áreas:

- Trecho 1: Barragem de Fundão até o Remanso do Reservatório de Santarém, com aproximadamente 1.100 m de extensão;
- Trecho 2: Reservatório de Santarém, com aproximadamente 2.500 m de extensão;
- Trecho 3: Barragem de Santarém, com aproximadamente 1.200 m a jusante medidos ao longo dos cursos do córrego Santarém;
- Trecho 4: Reservatório do Dique S3, com aproximadamente 1.200 metros ao longo do córrego Santarém e 2.700 m ao longo do córrego Mirandinha;

Com relação à caracterização ambiental da área afetada apresentada no presente relatório, a mesma foi desenvolvida com base em estudos existentes, nos monitoramentos realizados previamente de modo emergencial e nos monitoramentos que estão sendo executados pela Fundação Renova. Já a caracterização ambiental dos depósitos de rejeito foi realizada com base em dados primários, obtidos por meio de trabalhos de campo, realizados especificamente para identificar e caracterizar os tipos de depósitos atuais. Para tanto, foram realizadas inspeções visuais detalhadas, coleta e análise de amostras do rejeito e do substrato natural, visando a avaliação da espessura, determinação do volume e caracterização física, química e de dados sobre fertilidade do solo.

Fez parte deste estudo ainda, a realização de coleta de amostras de rejeito dentro da barragem de Fundão, como amostras de “branco”, com o objetivo de obter-se informações a respeito das características físico-químicas do rejeito remanescente na barragem (concentração de metais e granulometria).

Com base nos impactos identificados, foram definidos os objetivos específicos definidos para adequação de cada cenário (contexto), que se pretende alcançar com o manejo. Tais objetivos nortearam o processo de tomada de decisão da alternativa de manejo para cada um dos contextos.

Desta forma, o presente estudo apresentará (i) a caracterização ambiental dos depósitos de rejeito e área afetada; (ii) os impactos ambientais; (iii) os objetivos específicos da aplicação do PMR; (iv) a definição da alternativa de manejo específica para cada cenário (Processo de Tomada de Decisão); e (v) a descrição das alternativas selecionadas.

O processo de tomada de decisão foi aplicado para cada contexto, separadamente, onde as alternativas de manejo foram avaliadas, seguindo o Processo Simplificado de Tomada de Decisão do Plano de Manejo de Rejeito, que utiliza os seguintes critérios:

- Efetividade em atingir os objetivos específicos;
- Viabilidade técnica e administrativa;
- Impactos e riscos causados pelo manejo; e
- Tempo de implementação.

Nos Trechos 1 ao 4, os depósitos de rejeito aconteceram dentro das unidades de análise que contemplam os remansos dos reservatórios da barragem Nova Santarém e do Dique S3. Desta forma, a tomada de decisão foi realizada considerando os Trechos 1 e 2 e os Trechos 3 e 4 em conjunto.

A barragem Nova Santarém já encontra-se operando e em processo de enchimento do reservatório, pelo que assume-se que a mesma começará trabalhar com capacidade total ainda em 2018. O reservatório Nova Santarém atingirá um nível máximo normal de 766,00 m e prevê-se que as planícies identificadas nos Trechos 1 e 2, ficarão submersas no reservatório quando em plena atividade, sendo que o único contexto extracalha que restará para a tomada de decisão nos Trechos 1 e 2 foram as encostas.

Para os Trechos 3 e 4, após uma análise detalhada da geomorfologia, observou-se que como o canal se apresenta anastomosado, devido à mobilidade dos canais, as “planícies” ou “bancos” identificados durante os trabalhos de campo formam parte do depósito intracalha. Consequentemente, para esses trechos não foram caracterizadas planícies com vegetação natural, já que as mesmas foram submersas dentro do reservatório do dique S3 ou formam parte do remanso do mesmo como canais anastomosado, considerando as mesmas como depósitos intracalha, sendo que o único contexto extracalha que restará para a tomada de decisão nos Trechos 3 e 4 foram também as encostas.

Deve-se esclarecer que não houve necessidade de definir contextos e objetivos específicos para os depósitos intracalha, já que as alternativas de manejo de rejeito já foram implantadas ou estão em vias de serem implantadas para esse contexto por meio de estruturas de contenção de sedimentos (principalmente Eixo 1, barragem Nova Santarém e dique S3). Além disso, o complexo de diques apresenta um nível de turbidez dentro dos padrões vigentes

na parte jusante das estruturas, com escassas exceções no período chuvoso. Portanto, devido ao controle existente do nível de turbidez, também não houve necessidade de definir medidas para melhorar a qualidade da água para os Trechos 1 ao 4.

Após aplicação do Processo Simplificado de Tomada de Decisão do Plano de Manejo de Rejeito com a identificação e pontuação das alternativas de manejo, foram identificadas as propostas de soluções a serem adotadas nos Trechos 1 ao 4, descritas na tabela abaixo, para o contexto de encostas com vegetação nativa. Além disso, nessa tabela foram elencados os principais impactos e objetivos específicos identificados por contexto.

CONTEXTO	IMPACTOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ALTERNATIVA DE MANEJO
A1. Depósitos sobre solos naturais com vegetação florestal nativa em encosta.	<ul style="list-style-type: none"> • Supressão da vegetação; • Perda de habitats terrestres; • Potencial de erosão do solo; • Baixa fertilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar a erosão superficial das encostas • Regeneração da vegetação nativa • Possibilitar a recuperação do ecossistema terrestre 	Enriquecimento da vegetação com espécies nativas e monitoramento

Além disso, observa-se necessidade de disciplinamento das drenagens por meio do condicionamento dos tributários a fim de evitar a erosão superficial nas encostas e, conseqüentemente, reduzir o carreamento de sedimentos até os reservatórios. Para isso, além das ações extra calha de enriquecimento da vegetação que diminuem o escoamento superficial das águas pluviais e aumenta sua respectiva infiltração local, deverão ser avaliadas alternativas técnicas para a regularização de calhas e margens dos tributários identificados dentro da área afetada. Esta alternativa de manejo não entrou no processo de tomada de decisão já que se considera essencial e complementar à alternativa de manejo selecionada.

Palavras-chave: Plano de Manejo de Rejeito, transectos, análises químicas e físicas.

1 Introdução

No dia 05 de novembro de 2015, a barragem de rejeitos de mineração do Fundão, operada pela mineradora Samarco, situada no município de Mariana, Minas Gerais, sofreu uma ruptura que resultou na liberação de grande fluxo de material constituído por uma mistura de rejeitos sólidos e água, causando grande impacto a jusante, até a foz do rio Doce, no oceano Atlântico.

Conforme informações disponibilizadas pela empresa (GOLDER ASSOCIATES, 2016) um volume estimado em cerca de 43,7 Mm³ (milhões de metros cúbicos) de rejeitos e água, que representaram aproximadamente 77% de um total de 56,6 Mm³ de materiais contidos na barragem de Fundão, foram liberados quando do rompimento da barragem e por um período de alguns meses após o evento.

No seu trajeto a jusante, o fluxo de rejeitos e materiais agregados durante o seu escoamento entrou no reservatório da barragem de Candonga (Usina Hidroelétrica – UHE Risoleta Neves), onde grande volume de material sedimentou, enquanto outra parte ultrapassou a barragem, seguindo pelo rio Doce em direção ao mar como carga sólida. Parte desses sólidos e materiais coloidais em suspensão se depositou na calha do rio Doce e nos demais reservatórios ao longo de seu curso a jusante, e parte deste material permaneceu em suspensão na água até a foz do rio Doce, com uma pluma de coloração alaranjada penetrando no ambiente estuarino e costeiro (GOLDER ASSOCIATES, 2016).

Por toda a extensão do rio Doce e seus afluentes nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, observou-se a mudança dos aspectos naturais, demonstrando os altos níveis de turbidez gerados pela onda de lama de rejeitos (IBAMA, 2015).

Ao longo do caminho de escoamento dos rejeitos, solos, vegetação e outros materiais foram arrastados, resultando em uma mistura de rejeitos, solos e detritos vegetais e antrópicos que foram depositados ao longo das planícies de inundação, das margens e calhas destes cursos d'água e seus tributários, quando a onda de sólidos e água teve sua velocidade de deslocamento reduzida em certos trechos (GOLDER ASSOCIATES, 2016).

Quando do evento, diversos foram os impactos decorrentes do rompimento e afluxo desse rejeito, que atingiram aproximadamente 2.000 hectares até a barragem de Candonga. Tais

impactos foram acompanhados à época e ações estão sendo propostas, revisadas e praticadas até o momento visando sua mitigação, correção e compensação.

Entre 15 de novembro de 2015 e 17 de fevereiro de 2016 foram encontrados 7.676 exemplares de peixes mortos no rio Doce no estado do Espírito Santo (entre os municípios Baixo Guandu e Linhares, incluindo as praias de Povoação e Regência).

Entretanto, passados cerca de 25 meses da data de rompimento, processos de dinâmica superficial local, tendem a equilibrar-se novamente e este novo cenário impõe ao meio ambiente uma adaptação à existência deste passivo e novos impactos podem ser deflagrados pela interação do meio com esta nova realidade imposta pela acomodação do rejeito e demais detritos carregados quando do rompimento. Desta maneira, o entendimento desses processos deve ser realizado nesse relatório, a fim de poder identificar impactos e estado de situação atual da área afetada e poder identificar e avaliar as corretas alternativas de manejo a serem estabelecidas e implementadas.

Com relação às áreas de estudo a serem abordadas especificamente no presente Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4, conforme apresentado no Plano de Manejo de Rejeito – Revisão 01 (CH2M, 2017):

- O Trecho 1 se estende por cerca de 1.100 m da barragem do Fundão até o Remanso do Reservatório Santarém;
- O Trecho 2 possui cerca de 2.500 m de extensão e compreende a área do Reservatório de Santarém;
- O Trecho 3 se estende da barragem de Santarém até 1.200 m a jusante;
- O Trecho 4 compreende o dique S3, com extensão de 1.200 m ao longo do córrego Santarém e 2.700 m ao longo do córrego Mirandinha, abrangendo a área de formação do reservatório do dique S3.

Estes trechos caracterizam-se pela implantação, após o rompimento da barragem de Fundão, de estruturas e obras emergenciais, sendo que as mesmas foram adotadas para minimizar e controlar os impactos ambientais e sociais decorrentes do evento e de mobilizações posteriores de rejeitos, ainda instáveis dentro da barragem de Fundão. Conforme apresentado no Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Complexo Germano elaborado pela Amplo, 2017, como parte das obras emergenciais, primeiramente foi implantado um sistema de

bombeamento de água na área de drenagem da bacia da barragem de Germano para evitar o uso do sistema extravasor originalmente direcionado para o Vale do Fundão. Paralelamente, a SAMARCO desenvolveu estudos de implantação de diques galgáveis (S1 a S3) ao longo do vale do córrego de Santarém, a jusante da barragem de Santarém existente e antes da confluência do córrego com o rio Gualaxo do Norte. Além disso, a SAMARCO iniciou no ano de 2016 o desenvolvimento de outros projetos emergenciais, buscando uma solução integrada para contenção de sedimentos remanescentes de Fundão e melhoria da qualidade das águas no córrego Santarém. Cabe-se destacar as estruturas do Eixo 1 (localizado no início do Trecho 1, à montante da barragem de Santarém), as Barreiras 1 a 4 (localizadas dentro da área de alagamento do Eixo 1), o reforço na antiga barragem de Santarém e a implantação da Nova barragem de Santarém, estruturas implantadas e descritas na Seção 5.1.3.1..

2 Contextualização

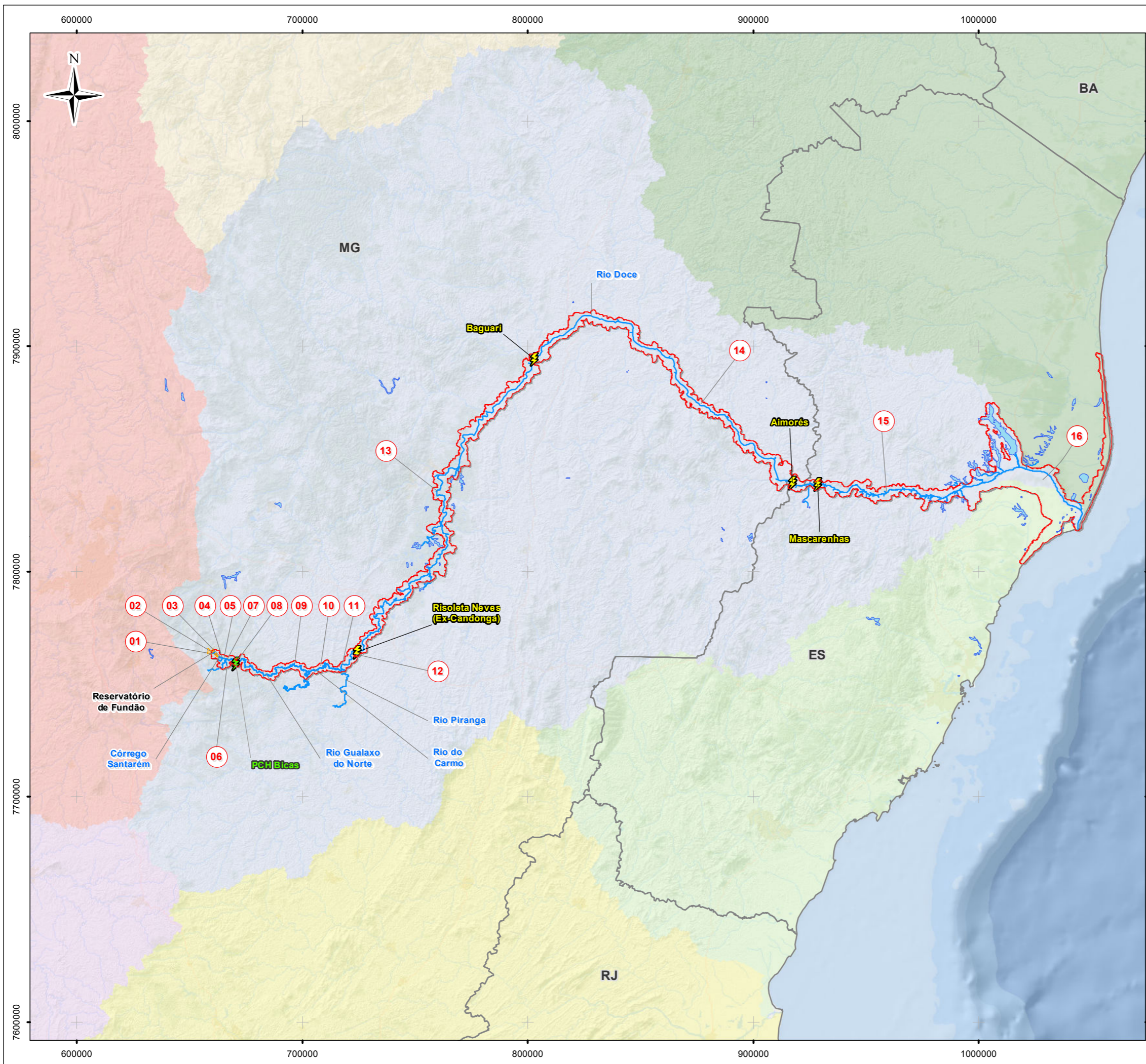
A CH2M HILL do Brasil (atual JACOBS CH2M) foi contratada pela Fundação Renova para a aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos (PMR), elaborado para a gestão dos impactos ambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, da Samarco Mineração S.A., ocorrido no dia 5 de novembro de 2015.

Para sua aplicação foram estabelecidos 17 trechos específicos, para a definição das ações de manejo, conforme descrito abaixo:

Tabela 1 – Descrição dos trechos específicos para a aplicação do PMR

TRECHOS	DESCRIÇÃO DO TRECHO	EXTENSÃO APROXIMADA
Trecho 1	Barragem de Fundão até o Remanso do Reservatório de Santarém	1.100 m
Trecho 2	Reservatório de Santarém	2.500 m
Trecho 3	Barragem de Santarém	1.200 m a jusante medidos ao longo dos cursos do córrego Santarém
Trecho 4	Reservatório do Dique S-3	1.200 metros ao longo do córrego Santarém e 2.700 m ao longo do córrego Mirandinha
Trecho 5	Dique S-3 até o Dique S-4	1.900 m ao longo do córrego Santarém
Trecho 6	Rio Gualaxo do Norte, a montante da foz do córrego Santarém	5.700 m no rio Gualaxo do Norte + 2.000 m no córrego “dos Camargos”
Trecho 7	Rio Gualaxo do Norte, a jusante da foz do córrego Santarém	3.200 m
Trecho 8	PCH Bicas. Rio Gualaxo do Norte	9 km
Trecho 9	Médio e Baixo Gualaxo do Norte	58 km
Trecho 10	Rio do Carmo até confluência com o rio Piranga (formação do rio Doce)	25 km
Trecho 11	Rio Doce, até o Remanso do Reservatório de Candonga	5,8 km
Trecho 12	Reservatório de Candonga, UHE Risoleta Neves	11 km
Trecho 13	Rio Doce, da barragem de Candonga até a barragem Baguari	220 km
Trecho 14	Rio Doce, da barragem de Baguari até a barragem de Mascarenhas	180 km
Trecho 15	Rio Doce, da barragem Mascarenhas até a cidade de Linhares	100 km
Trecho 16	Rio Doce, da cidade de Linhares até a sua foz	42 km
Trecho 17	Zona marinha costeira	-

O PMR considerou como objeto de análise as áreas físicas diretamente afetadas pelos rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão, como as planícies de inundação, as margens e calhas dos rios, as lagoas lindeiras aos rios, sejam naturais ou resultantes de atividades antrópicas, como o garimpo ou a criação de peixes, bem como as vertentes da bacia de contribuição, delimitando a área afetada. A localização dos trechos, que consideram toda a área afetada, encontra-se apresentada na Figura 1.

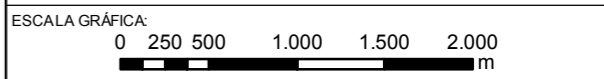


LEGENDA:

- Pequenas Centrais Hidrelétricas
- Usinas Hidrelétricas
- Curso d'água
- Corpo d'água
- Reservatórios
- Limite Estadual
- Limite dos Trechos
- Identificação do Trecho

Sub-bacias

- Rio Doce
- Litorâneas do Espírito Santo
- Rio Grande
- Rio Jequitinhonha
- Rio Paraíba do Sul
- Rio das Velhas, São Francisco
- São Mateus, Itanhaem e outros



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Digital Globe, 2017; ANA, 2017.
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017;
OpenStreetMap, 2017.



TÍTULO:
Figura 1
Localização da Área de Estudo e Trechos

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:1.700.000	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RM	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: R0
------------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	-------------

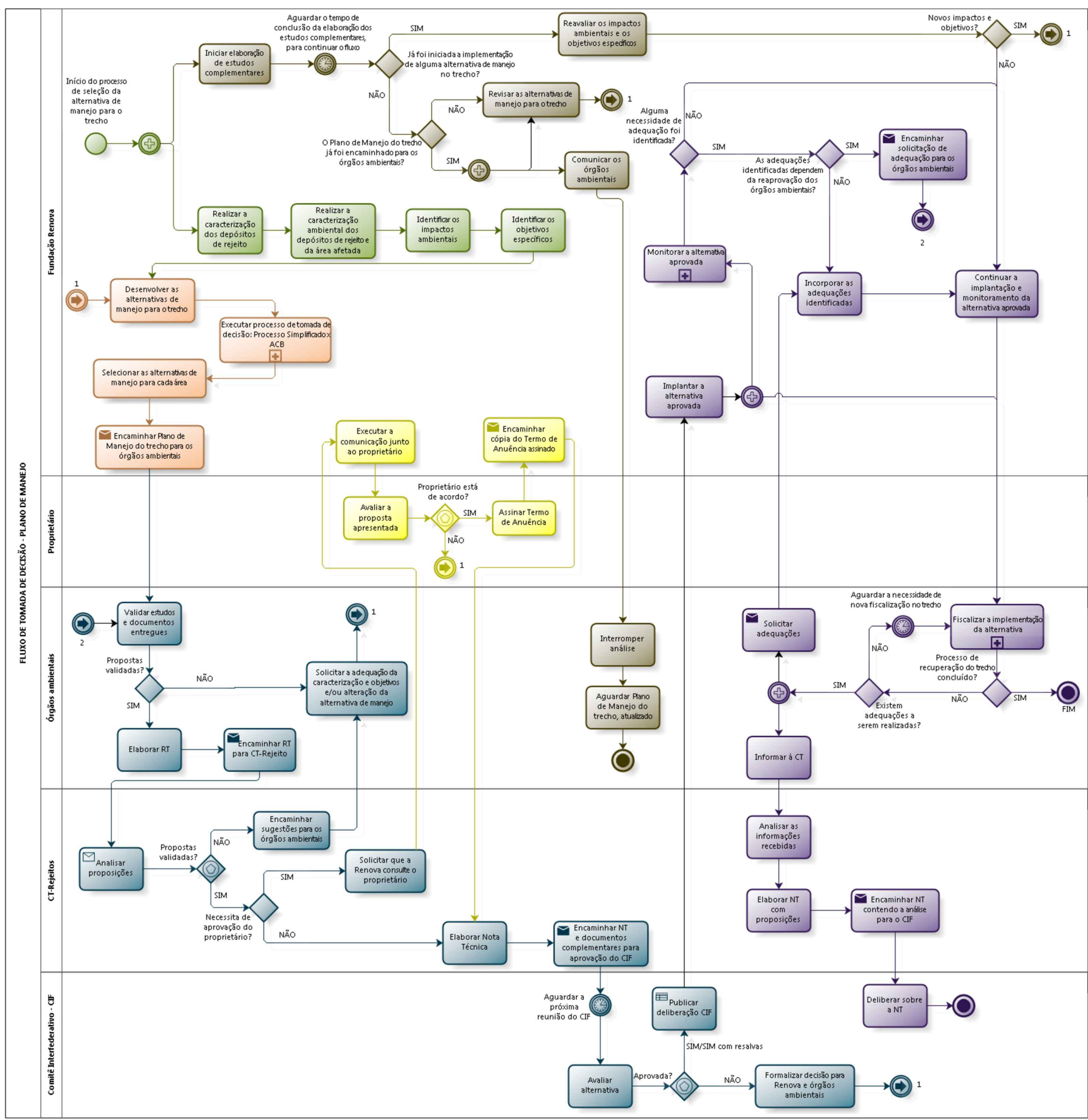
Figura 01 - Localização da Área de Estudo e Trechos - Trechos 1 a 4

Para o Gerenciamento do Plano de Manejo de Rejeito foram definidas cinco fases para o processo de tomada de decisão, conforme proposto na Nota Técnica IBAMA/SISEMA/IEMA nº 002/2017, sendo:

- Fase 1A – Caracterização ambiental da área afetada;
- Fase 1B – Complementação da caracterização ambiental da área afetada;
- Fase 2 – Tomada de decisão e seleção das alternativas de manejo;
- Fase 3 – Avaliação governamental da proposta apresentada;
- Fase 4 – Comunicação aos proprietários; e
- Fase 5 – Implementação e monitoramento da alternativa selecionada.

O fluxograma para o Gerenciamento do Plano de Manejo de Rejeito encontra-se apresentado na Figura 2.

FLUXO DE TOMADA DE DECISÃO - PLANO DE MANEJO



LEGENDA	
[Green Box]	Fase 1A: Caracterização ambiental da área afetada
[Light Green Box]	Fase 1B: Complementação da caracterização ambiental da área afetada
[Orange Box]	Fase 2: Tomada de decisão e seleção das alternativas de manejo
[Blue Box]	Fase 3: Avaliação governamental da proposta apresentada
[Yellow Box]	Fase 4: Comunicação aos proprietários
[Purple Box]	Fase 5: Implementação e monitoramento da alternativa selecionada

ESCALA GRÁFICA:

NOTAS:

REFERÊNCIA:
Nota Técnica IBAMA/SISEMA/IEMA N° 002/2017



TÍTULO:
Figura 2
Fluxograma de Gerenciamento de Manejo de Rejeitos

PROJETO: Volume 3 -
Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
	24/01/2018	rutima	MB	AG	RA0

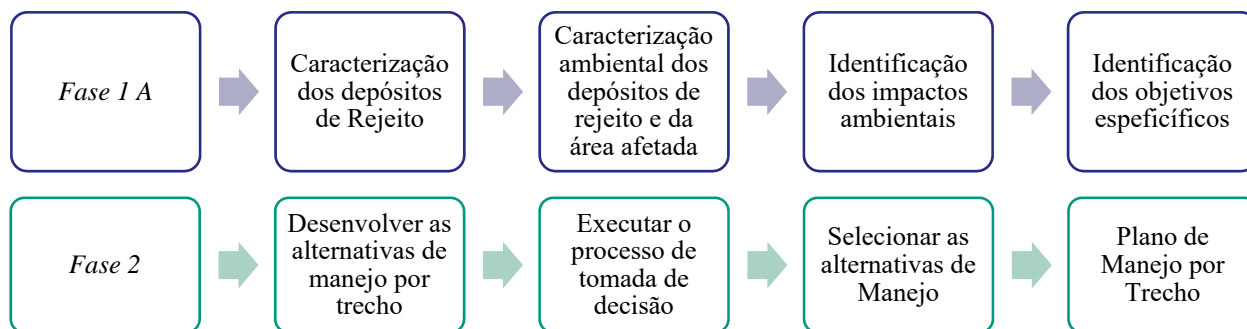
3 Objetivo

A Aplicação do PMR ocorrerá de forma individual para cada um dos 17 trechos propostos, dada suas particularidades. Desta forma, considerando a divisão da área de deposição do rejeito em trechos, esse relatório tem como objetivo a definição da aplicação do PMR para os Trechos 1 ao 4, apresentados na Figura 3, e visa relatar o passo a passo do processo de tomada de decisão, no intuito de buscar a alternativa de manejo tecnicamente mais adequada e que gere menor impacto socioambiental.

O presente relatório apresenta as atividades realizadas na aplicação do PMR para a área afetada nos Trechos 1 ao 4, bem como indica os procedimentos e metodologias adotados para garantir a qualidade do trabalho contratado.

Os trabalhos desenvolvidos atendem especificamente as Fase 1A e Fase 2, que tratam da caracterização ambiental da área afetada, do processo de tomada de decisão e da seleção das alternativas de manejo, respectivamente, descritas no fluxograma da Figura 3, a seguir:

Figura 3 – Fases do Fluxograma de Gerenciamento a serem consideradas na Execução do Plano de Manejo de Rejeito



A identificação da necessidade de estudos complementares (Fase 1B) será produto do presente relatório.

O presente relatório, referente aos Trechos 1 ao 4, será denominado como Volume 3 - Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito nos Trechos 1 ao 4.

4 Conteúdo do relatório

A chave para o desenvolvimento de uma estratégia de manejo bem-sucedida é o desenvolvimento de uma caracterização assertiva e precisa da área de interesse. A caracterização (Fase 1A) descreve como os rejeitos se movem através do sistema físico e biológico impactado, bem como a distribuição e mobilidade dos compostos químicos de interesse. A distribuição de rejeitos nos rios impactados é profundamente influenciada pelas características morfológicas e hidráulicas locais. Por essa razão, a caracterização ambiental dos rejeitos e da área afetada foi desenvolvida considerando essencialmente estas características.

Não foi incluída nesse relatório a Fase 1B, que trata de estudos complementares da caracterização, já que a identificação da necessidade dos mesmos será produto do presente relatório, como é o caso do Trecho 8 que foi eleito como trecho piloto da aplicação do plano de manejo e cuja caracterização está sob complementação por solicitação do órgão ambiental.

A análise dos riscos futuros, decorrentes da presença dos rejeitos no meio ambiente será executada em forma paralela à tomada de decisão, como parte dos estudos complementares a serem realizados conforme indicado na Seção 8 do Plano de Manejo de Rejeitos - Revisão 01 (CH2M, 2017) e conforme especificado nos Termos de Referência da Análise de Risco à Saúde Humana no Anexo IV do mesmo relatório. Desta maneira, os mesmos não foram considerados e abordados no presente relatório. Com relação ao risco ecológico especificamente, foi realizado um Workshop de Análise de Risco Ecológico nos dias 24 e 25 de agosto de 2017, com o objetivo de delinear diretrizes e metodologias para a execução da avaliação do risco ecológico nas áreas afetadas que contou com a participação de professores universitários de notório saber, consultores, órgãos ambientais e Fundação Renova.

Com relação à caracterização ambiental da área afetada apresentada no presente relatório, a mesma foi desenvolvida com base em estudos existentes, nos monitoramentos realizados previamente de modo emergencial e nos monitoramentos que estão sendo executados pela Fundação Renova. Já a caracterização ambiental dos depósitos de rejeito foi realizada com base em dados primários, obtidos por meio de trabalhos de campo, realizados especificamente para identificar e caracterizar os tipos de depósitos atuais. Para tanto, foram realizadas inspeções visuais detalhadas, coleta e análise de amostras do rejeito e do substrato natural, visando a avaliação da espessura, determinação do volume e caracterização física, química e fertilidade do solo.

Fez parte deste estudo ainda, a realização de coleta de amostras de rejeito dentro da barragem de Fundão, como amostras de “branco”, com o objetivo de obter-se informações a respeito das características físico-químicas do rejeito remanescente na barragem (concentração de metais e granulometria).

Ainda, para a tomada de decisão quanto ao manejo do rejeito e sua efetiva aplicação, faz-se necessária a avaliação dos seus impactos no meio físico, biótico e social, a qual foi realizada considerando a interação do rejeito, como se encontra atualmente, com o ambiente em que este se insere. Tais dados pretendem suportar consistentemente o processo de tomada de decisão e aplicação do PMR.

Com base nos impactos identificados foram definidos os objetivos específicos definidos para adequação de cada cenário (contexto), que se pretende alcançar com o manejo. Tais objetivos nortearam o processo de tomada de decisão da alternativa de manejo para cada um dos contextos que ainda não houve alternativa de manejo implementada.

Desta forma, o presente estudo apresentará (i) a caracterização ambiental dos depósitos de rejeito e área afetada; (ii) os impactos ambientais; (iii) os objetivos específicos da aplicação do PMR; (iv) a definição da alternativa de manejo específica para cada cenário (Processo de Tomada de Decisão); e (v) a descrição das alternativas selecionadas.

5 Caracterização ambiental da área afetada e dos depósitos de rejeito

A Tabela 8-2 do Plano de Manejo de Rejeito Revisão 1 (CH2M, 2017), apresentou os critérios específicos a serem considerados em cada trecho, contexto ou unidade de análise, visando à caracterização ambiental das áreas afetadas pela deposição de rejeitos. Nesta tabela, foi definido que esta caracterização deveria abarcar os aspectos físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos que podem ser observados na situação atual. Igualmente, sempre que possível, será considerada a situação prévia ao evento e a evolução até a situação atual após o evento.

A caracterização ambiental da área afetada e do depósito de rejeito (Fase 1A) envolve estudos com dados secundários e dados primários. Estes últimos, foram coletados durante o monitoramento emergencial, monitoramentos que atualmente realiza a Fundação Renova, e um monitoramento específico realizado pela JACOBS CH2M para caracterizar os tipos de depósitos de rejeito. Esta caracterização ambiental da área afetada e do depósito de rejeito, visa atingir a compreensão das configurações do meio (físico, químico, biológico e social) em estudo após o evento (situação atual) e fornecer os subsídios para a avaliação dos impactos atuais (i.e., residuais) decorrentes do evento.

Essa Seção foi dividida de forma a atender aos itens que compreendem à Fase 1A do fluxograma de gerenciamento do manejo do rejeito, conforme apresentado anteriormente na Figura 2.

5.1 Caracterização ambiental da área afetada

Tendo em vista que: (i) rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão ainda se encontram depositados na calha dos rios afetados e ao longo das suas margens e planícies aluviais e (ii) diferentes comportamentos hidrológicos podem causar erosão e carregamento dos rejeitos para o canal principal do rio; faz-se necessária a análise das regiões adjacentes à área diretamente impactada pelo acidente para a definição da área de atuação do Plano de Manejo de Rejeitos. Com isso, espera-se criar subsídios para que sejam definidas ações que considerem as particularidades de cada segmento dos cursos d'água.

A caracterização ambiental da área afetada foi realizada com base nos dados e monitoramentos disponíveis (primários e secundários) e fornecerá as informações necessárias para entendimento da situação atual da área de abrangência, a fim de identificar os impactos ambientais.

Sempre que possível, o Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) foi utilizado de forma a orientar a caracterização das áreas e, conseqüentemente, as ações específicas a serem desenvolvidas em cada uma. O ZAP consiste em um documento de caracterização da bacia do rio Gualaxo do Norte (unidades de paisagem, uso e ocupação do solo, etc.) elaborado pela EMATER em 2017.

5.1.1 Delimitação da Área Afetada

Foram definidas as microbacias de escoamento superficial a fim de garantir a inclusão de todas as áreas impactadas. Elas foram utilizadas para: (i) determinar a área afetada e entorno do PMR para cada um dos trechos e (ii) estabelecer as áreas de controle e disciplinamento de drenagem. Para isso, foi utilizada a base de bacias hidrográficas ottocodificadas da região ou bacias de menor escala que, dependendo da resolução do Modelo Digital de Elevação – MDE – podem ser delimitadas através de ferramentas de geoprocessamento.

A delimitação da área afetada do PMR foi determinada pelo cruzamento dos limites da área impactada com a base hidrográfica ottocodificada da Bacia do Rio Doce. A construção de uma base ottocodificada consiste em um conjunto de processos para tratamento topológico da rede hidrográfica com base na codificação de Otto Pfafstetter (1989) e que permite associar e extrair informações a jusante e a montante de cada trecho da rede de drenagem. Esta codificação é utilizada mundialmente na gestão de recursos hídricos (ANA, 2006).

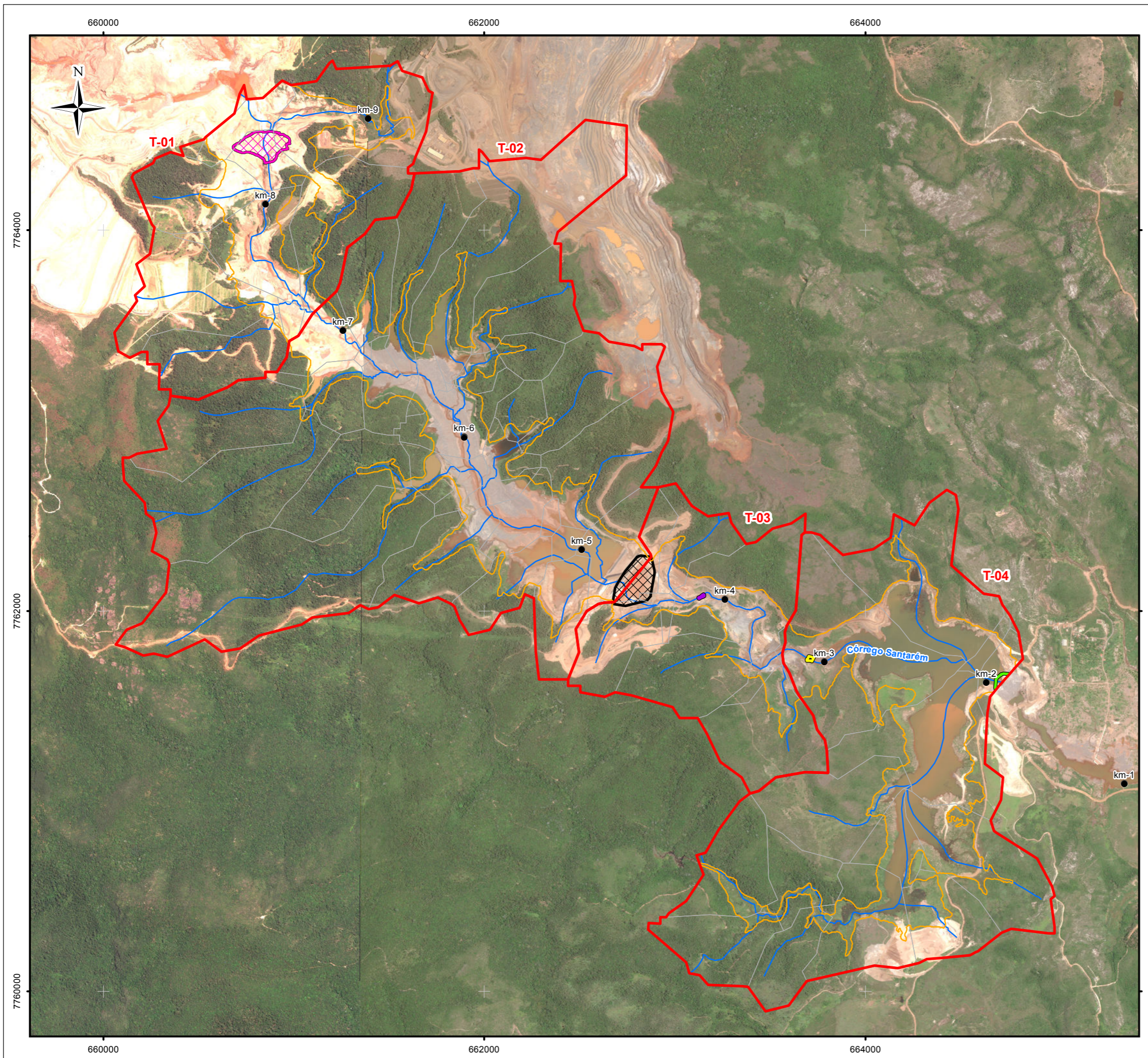
Neste estudo, foi utilizada a base hidrográfica ottocodificada da Bacia Hidrográfica do Rio Doce disponibilizada pela Agência Nacional de Águas – ANA. A base contempla a representação dos trechos de drenagem e a delimitação das áreas de contribuição hidrográfica.

Assim, considerando que a bacia hidrográfica do rio Doce banha parte dos estados do Espírito Santo e de Minas Gerais, na região Sudeste do Brasil, a Base Hidrográfica foi construída a partir de bases vetoriais disponibilizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) em escala 1:50.000 e pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) em escala 1:100.000 do mapeamento sistemático brasileiro,

seguida de ajustes topológicos nos trechos de drenagem e procedimentos de otocodificação. Desta forma, esta base foi construída parcialmente na escala 1:100.000 e parcialmente na escala 1:50.000.

As áreas de contribuição hidrográfica (bacias) foram definidas a partir de um modelo digital de elevação – MDE - hidrológicamente consistente, fruto do processamento de dados RASTER. O traçado dessas áreas foi suavizado para eliminar o serrilhado proveniente do dado matricial.

Na Figura 1 pode ser observado o total da área afetada do PMR e a Figura 4 apresenta a área afetada e as ottobacias dentro dos limites dos Trechos 1 ao 4, no córrego Santarém. Dessa maneira, toda ottobacia atingida pela área de impacto foi considerada de interesse para atuação do Plano de Manejo de Rejeito. Além disso, nessa mesma figura, encontra-se apresentado o resultado do cruzamento entre a área impactada e as ottobacias, delimitando os 1.048 ha de abrangência do Plano de Manejo de Rejeito nos Trechos 1 ao 4, sendo 175 ha no Trecho 1, 493 ha no Trecho 2, 120 ha no Trecho 3 e 260 ha no Trecho 4.



- LEGENDA:
- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
 - Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
 - Ottobacias
 - ▨ Eixo 1
 - ▨ Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Digital Globe, 2017.
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017

JACOBS ch2m.

TÍTULO:
Figura 4
Detalhamento da Área Afetada do PMR - Trechos 1 ao 4

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura XXX - Detalhamento da Área Afetada do PMR - Trechos 1 a 4

No âmbito do PMR, o Mapa de Áreas Impactadas foi elaborado com o objetivo de delimitar a área abrangida pelo evento de deposição dos rejeitos por ocasião do rompimento da barragem de Fundão. Esta delimitação foi produzida com base em imagens de satélite, imediatamente posteriores à ocorrência do evento.

Nos Trechos 1 ao 4, procedeu-se com a delimitação do perímetro total de abrangência do evento a partir de mosaico de imagens de satélites produzido através de imagens disponibilizadas por Google Earth Pro, datadas de 09/11/2015 (quatro dias após o evento), conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo do mosaico de imagens com data de 09/11/2015 utilizado para delimitação da Área Impactada



Fonte: JACOBS CH2M, 2017. Imagens com data de 09/11/2015

Após a delimitação dos polígonos da Área Impactada, de acordo com o mosaico das imagens datado de 09/11/2015, foi utilizado um segundo imageamento realizado entre o período de Junho a Julho de 2017 (Google Earth, 2017). Este imageamento permite verificar áreas em que os efeitos da deposição dos rejeitos sob a vegetação podem ser claramente visualizados, como, por exemplo, as áreas impactadas pela morte das árvores, não perceptíveis nas primeiras imagens.

Esse imageamento mais atual foi realizado pela empresa Geopixel com aeronave Echar 20c RTK, utilizando câmeras Sony Alfa 5100 e distância focal de 16mm, com GSD ajustado em 10cm alcançando a precisão horizontal de 15cm.

Figura 6 – Exemplo do imageamento realizado com aeronave não tripulada no período entre Junho e Julho de 2017.



Fonte: Data do imageamento utilizado no mapa: Jun/Jul de 2017 realizado pela Geopixel e processado pela JACOBS CH2M.

Dados do imageamento aéreo utilizado:

- Aeronave: Echar 20c RTK
- Resolução Espacial: 0,1 m

Na Figura 7, é apresentada a comparação entre o mosaico de 09/11/2015 e imageamento do período entre Junho e Julho de 2017, indicando um dos pontos onde o impacto causado pela deposição dos rejeitos só ficou aparente através de imagem de satélite pós-evento, em Junho/Julho de 2017.

Figura 7 – Comparação entre mosaico de 09/11/2015 e imageamento do período entre Junho e Julho de 2017



Fonte: JACOBS CH2M, 2017. Imagens com data de 09/11/2015 e Jun/Jul de 2017.

Ao fim da vetorização manual foi empregado o processo de consistência topológica para garantir integridade espacial, ou seja, ausência de buracos e/ou sobreposições entre os polígonos gerados. O processo de consistência topológica garante que o dado gerado, a partir deste, atenda aos altos padrões de qualidade por não apresentar duplicidades ou omissão de informação.

A área total impactada diretamente pela deposição dos rejeitos nos Trechos 1 ao 4 é de 313 ha. A representatividade da área impactada de cada trecho em relação à área total afetada correspondente, considerando as ottobacias, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Representatividade percentual das áreas impactadas na área afetada

	TRECHO 1	TRECHO 2	TRECHO 3	TRECHO 4
Área Afetada (ha)	175	493	120	260
Área impactada (ha)	61	114	31	107
Representatividade	35%	23%	26%	41%

5.1.2 Unidades Ambientais

5.1.2.1 Área de Preservação Permanente (APP)

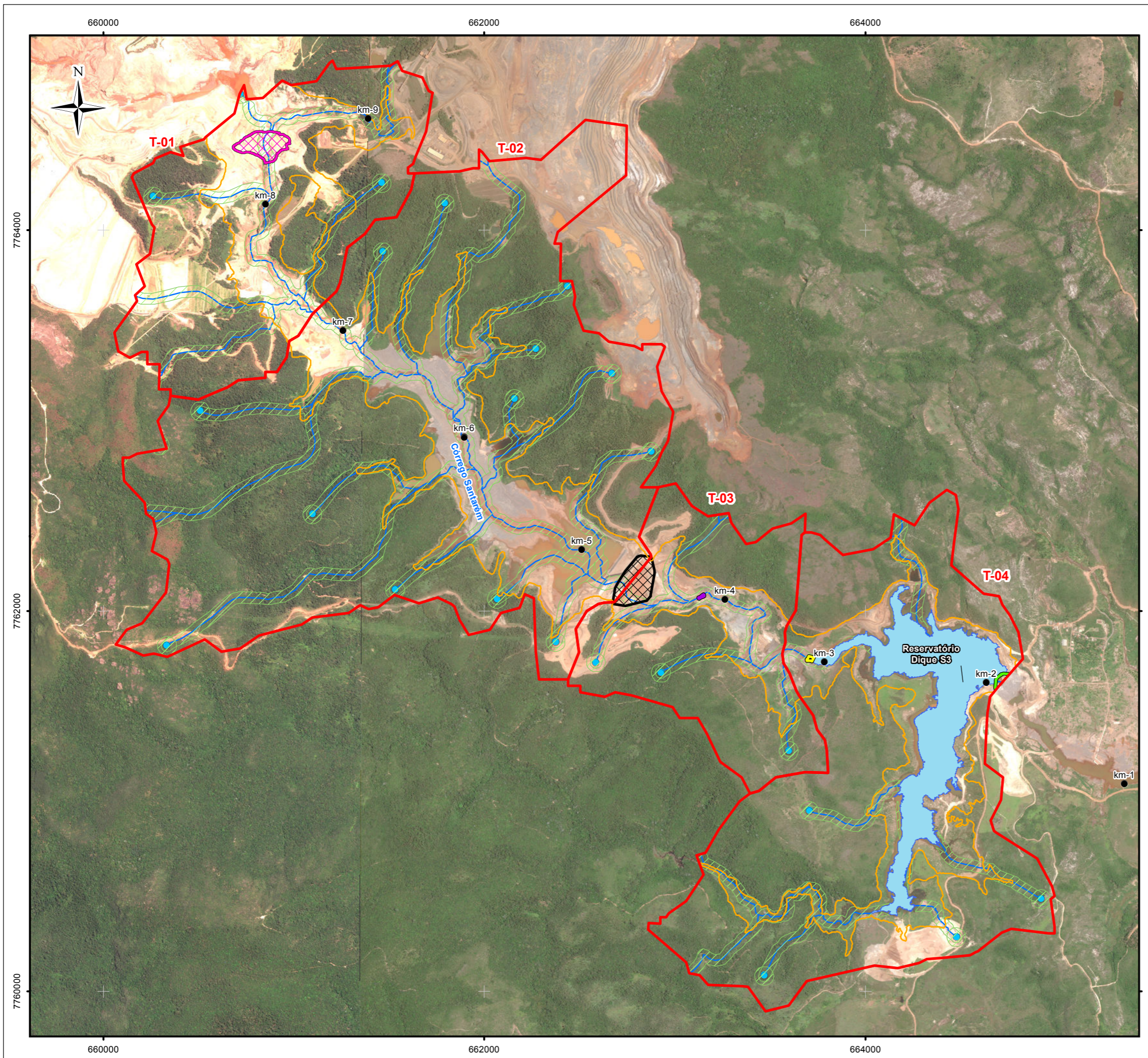
O Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) apresenta o mapeamento das Áreas de Proteção Permanente (APPs) em torno dos cursos d'água e nascentes, considerando as diretrizes previstas na Lei Estadual nº 20.922/2013, que dispõe sobre a política florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais, e da Lei Federal nº 12.651/2012, a qual institui o Novo Código Florestal. Com base nessas referências, as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes devem possuir um raio mínimo de 50 metros e 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura, como é o caso dos trechos analisados. O mapa de Áreas de Preservação Permanente Hídricas - (ZAP) - Trechos 1 ao 4 está apresentado na Figura 8.

A Tabela 3 apresenta o número de nascentes, a extensão dos cursos d'água e a quantificação das áreas de APPs de cursos d'água e nascentes, de acordo com os dados do mapeamento do ZAP.

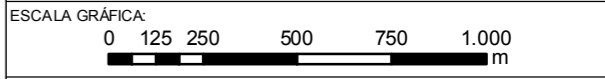
Tabela 3 – Dados do mapeamento de APP do ZAP

	TRECHO 1	TRECHO 2	TRECHO 3	TRECHO 4
Nascentes	3	13	3	4
Extensão de corpos d'água (km)	6	16	4	8
APP de curso d'água (ha)	34,4	95,6	20,3	31,9
APP de nascente (ha)	1,8	10	2,3	3,09

Fonte: ZAP (EMATER, 2016).



- LEGENDA:
- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
 - Nascentes
 - Curso d'água
 - Corpo d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
 - Áreas de Preservação Permanente Hídricas
 - Eixo 1
 - Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Digital Globe, 2017.
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017



TÍTULO:
Figura 8
Áreas de Preservação Permanente Hídricas (ZAP)

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

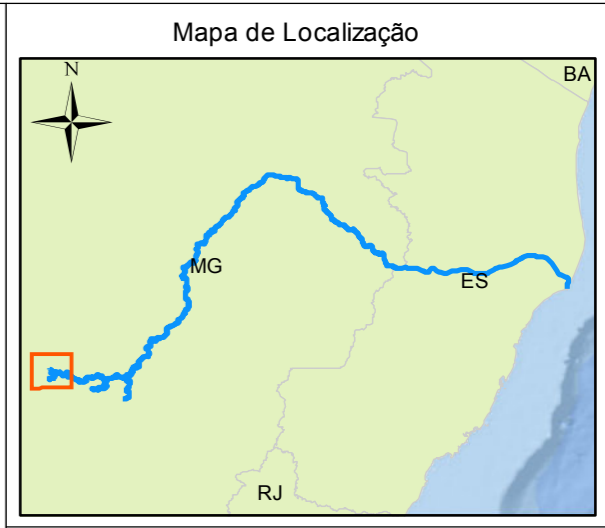
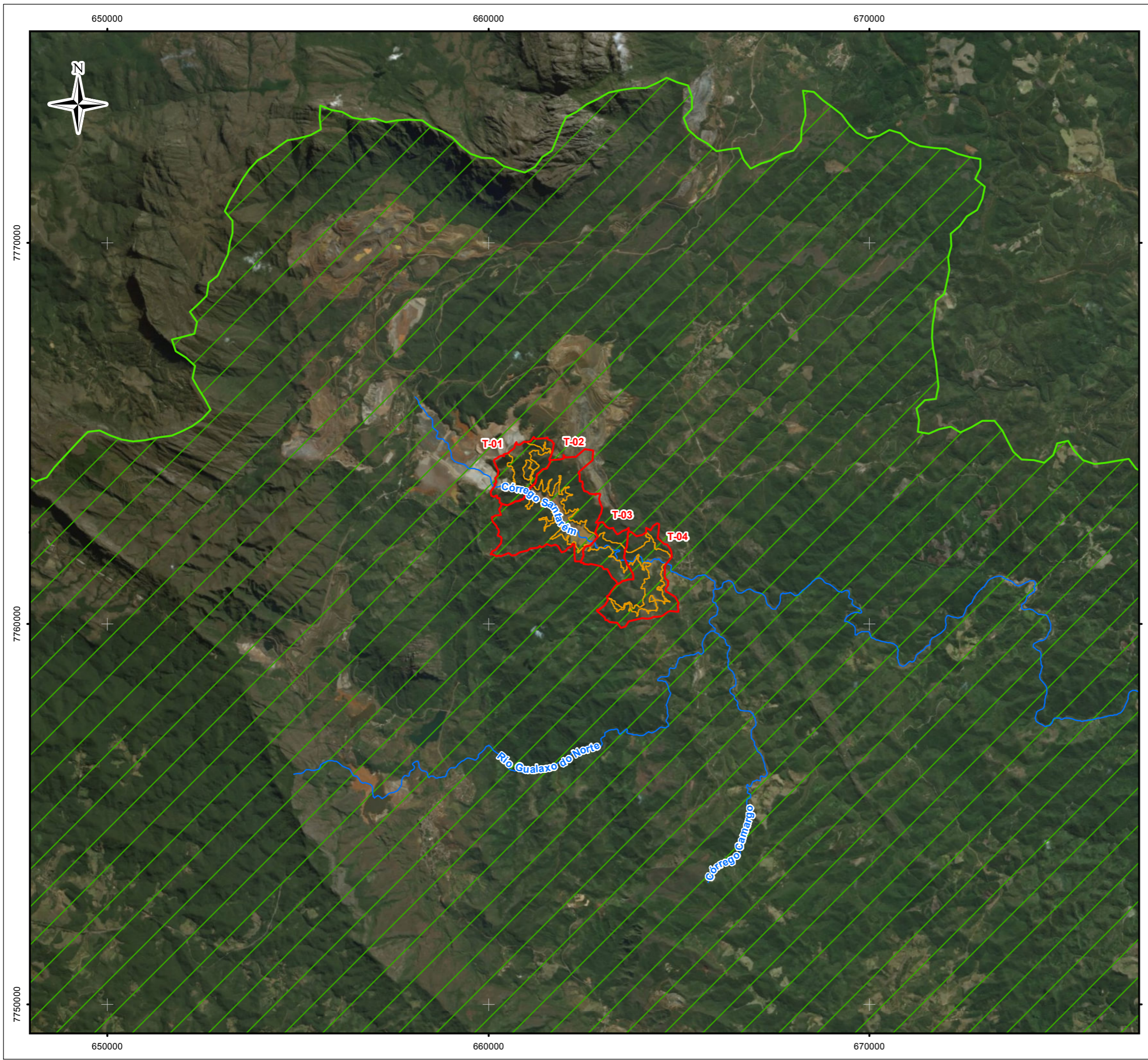
ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

5.1.2.2 Unidades de Conservação (UC)

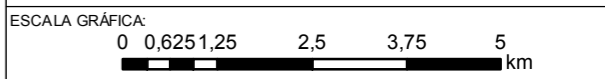
Conforme o Plano de Trabalho para Estudos de Avaliação dos Impactos Gerados pelo Rompimento da barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Revisão 01 (Golder, 2016), dentre as Unidades de Conservação diretamente impactadas, a que se destaca por abranger parte da área afetada dos Trechos 1 ao 4 do PMR é a Área de Proteção Especial (APE) Ouro Preto-Mariana, que possui uma área de 1.274 km² e foi criada com o objetivo de preservação do patrimônio cultural, histórico e paisagístico (Decreto nº 12.224, de 25 de fevereiro de 1981).

Segundo o relatório supracitado, como as APes não constam no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), as tratativas para avaliação e mitigação dos impactos causados a estas UCs serão feitas diretamente com o Instituto Estadual de Florestas (IEF).

Para isso, será realizado um diagnóstico ambiental através de oficinas, envolvendo as contratadas responsáveis, tendo como produto final as definições das próximas etapas da avaliação e mensuração dos impactos ambientais. Em seguida, as oficinas serão realizadas para que se definam as medidas reparatórias que originará um relatório final de avaliação de impacto.



- LEGENDA:
- Curso d'água
 - Área Impactada - Trecho 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
 - Área de Proteção Especial Estadual Ouro Preto/Mariana



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015.
Agência Nacional de Águas - ANA, 2018.
Secretaria do Estado do Meio Ambiente, MG - SEMAD, 2018.
Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2018.



TÍTULO:
Figura 9
Unidades de Conservação e Áreas Protegidas

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:100.000	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RM	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: R0
----------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	-------------

Figura XXX - Unidades de Conservação e Áreas Protegidas - Trechos 1 a 4.

5.1.3 Ações de Contenção de Sedimentos e Disciplinamento da Drenagem

Estes trechos caracterizam-se pela implantação, após o rompimento da barragem de Fundão, de estruturas e obras emergenciais, sendo que as mesmas foram adotadas para minimizar e controlar os impactos ambientais e sociais decorrentes do evento e de mobilizações posteriores de rejeitos, ainda instáveis dentro da barragem de Fundão.

Conforme apresentado no “Projeto de Recuperação Ambiental de Rios Principais – Relatório de Diretrizes Gerais do Projeto de Setembro, 2016” (GOLDER ASSOCIATES, 2016), as ações de controle de erosão e disciplinamento contemplam a regularização de calhas e margens, assim como, o controle de processos erosivos nos tributários por meio de técnicas de proteção de canais, incluindo métodos de engenharia tradicional e técnicas de bioengenharia.

Nesta seção, encontram-se apresentadas as ações de contenção de sedimentos e de disciplinamento das drenagens implantadas nos Trechos 1 ao 4.

5.1.3.1 Obras Emergenciais para Contenção de Sedimentos

A parcela do Complexo Germano em que estão os Trechos 1 ao 4 está incorporada à rede de drenagem do rio Gualaxo do Norte, ao longo dos córregos do Fundão e Santarém. A construção da barragem do Germano ocorreu na ocasião em que se iniciou a operação da Mina do Germano em 1973, tendo como fins a contenção de rejeitos, clarificação de efluentes e recuperação da água presente na polpa para uso industrial. Ao longo dos anos foram realizadas etapas de alteamentos para ampliar a capacidade volumétrica da barragem do Germano. A barragem de Santarém, inserida no Trecho 2 e localizada a jusante da barragem do Germano, foi implantada em 1992 com a finalidade de manter a capacidade de clarificação da água e flexibilizar a operação hidráulica do sistema de recuperação de água da polpa. E por fim a barragem de Fundão, localizada a montante da barragem de Santarém, veio a ser construída em 2006 com o objetivo de ser a principal área para a contenção de rejeitos do complexo (POTAMOS, 2017).

Conforme apresentado no relatório da POTAMOS, 2017, durante o evento de ruptura, o volume total de rejeitos dispostos no reservatório da barragem do Fundão era da ordem de 56,0 Mm³. Na data do rompimento da barragem, estima-se que o volume vazado tenha sido de 32,0 Mm³, permanecendo dentro do reservatório cerca de 24,0 Mm³ de depósitos

remanescentes, os quais poderiam ser mobilizados e carregados para jusante em decorrência das vazões mais elevadas, motivo pelo qual iniciaram-se as obras emergenciais de contenção.

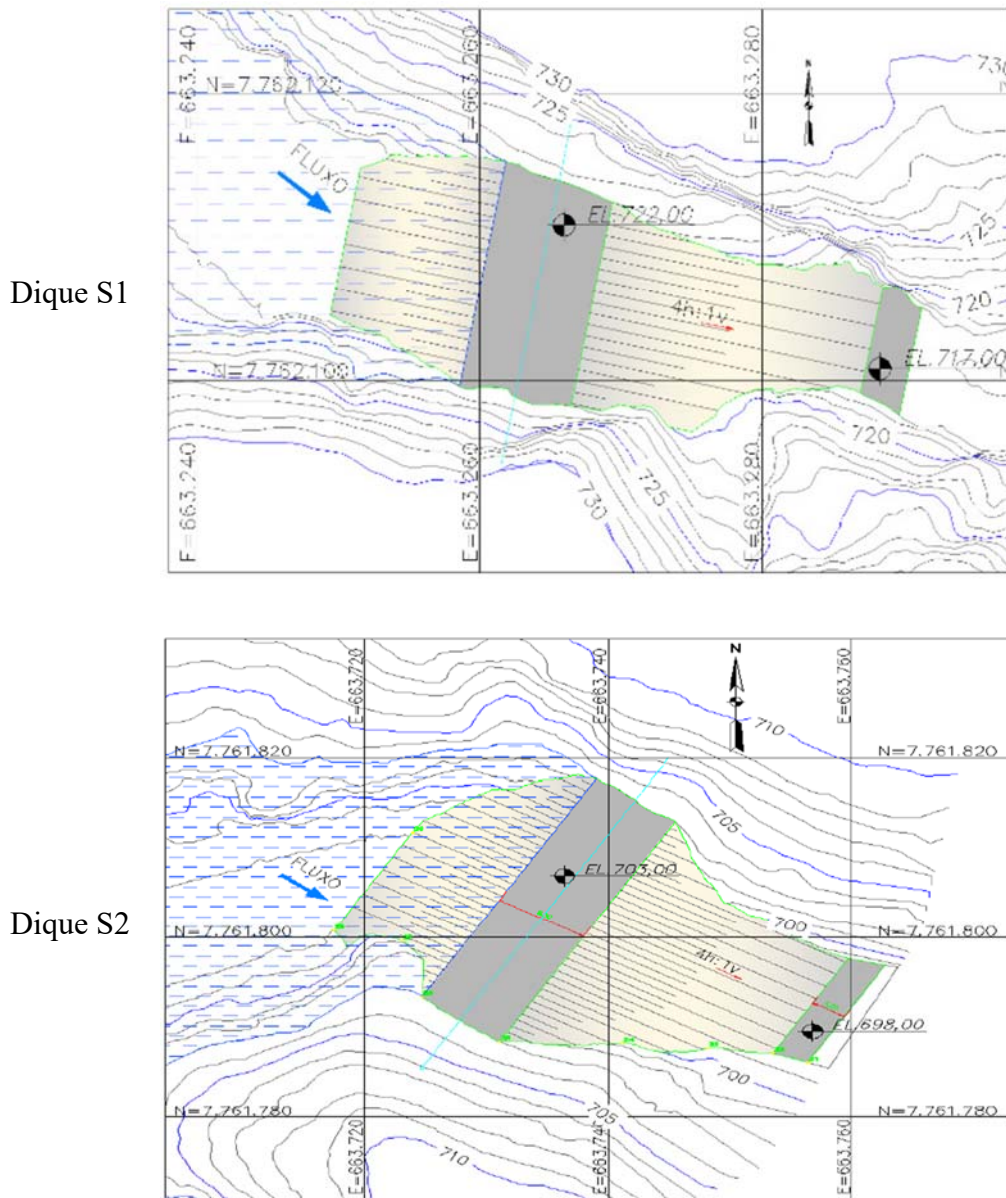
Os Trechos 1 ao 4 estão inseridos em parte do Complexo Minerário Germano-Alegria (Complexo Germano), compreendendo uma porção jusante da barragem Germano, uma porção jusante da antiga barragem de Fundão, onde hoje está em implantação o dique Eixo 1, onde esteve a antiga barragem de Santarém (galgada e assoreada pelo rompimento de Fundão) tendo sido posteriormente incorporada ao reservatório da barragem de Nova Santarém, além dos diques galgáveis S1 a S3. Todas estas últimas estruturas consideradas como parte das obras emergenciais, foram implantadas visando o atendimento de parte da Cláusula 154¹ do TTAC, transversalmente a calha do córrego Santarém para contenção dos possíveis vazamentos e retenção dos mesmos na calha fluvial. É importante ressaltar, que estas obras foram realizadas uma vez implantadas no vale da antiga barragem do Fundão, quatro barreiras hidráulicas projetadas para impedir e conter o carreamento dos rejeitos/lama ainda em movimento, permitindo que as obras dos diques galgáveis fossem realizadas em condições de segurança.

5.1.3.1.1 Diques galgáveis S1, S2 e S3

Os diques galgáveis S1, S2 e S3, que estão dentro dos Trechos 3 e 4, foram implantados a jusante da barragem de Santarém existente e a montante da confluência do córrego com o rio Gualaxo do Norte. Os diques S1 e S2, concluídos nos dias 17 e 18 de fevereiro de 2016, cujos arranjos gerais podem ser vistos nas Figura 10, são de pequeno porte, e foram dimensionados para terem baixa capacidade e de eficiência breve se comparado às demais estruturas. Ambos se encontram assoreados atualmente, não sendo mais caracterizados como estruturas vigentes de contenção de sedimentos e controle de aspectos de qualidade das águas, apesar de terem servido aos propósitos objetivados de retenção de parte do material defluente do vale do Fundão e de proteção as frentes de trabalho a jusante, como do dique S3 (AMPLO, 2017a).

¹ CLÁUSULA 154: Caberá à FUNDAÇÃO construir e operar estruturas emergenciais de contenção de sedimentos e/ou sistemas de tratamento in situ da área contida entre a Barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves, com conclusão até 31 de dezembro de 2016.

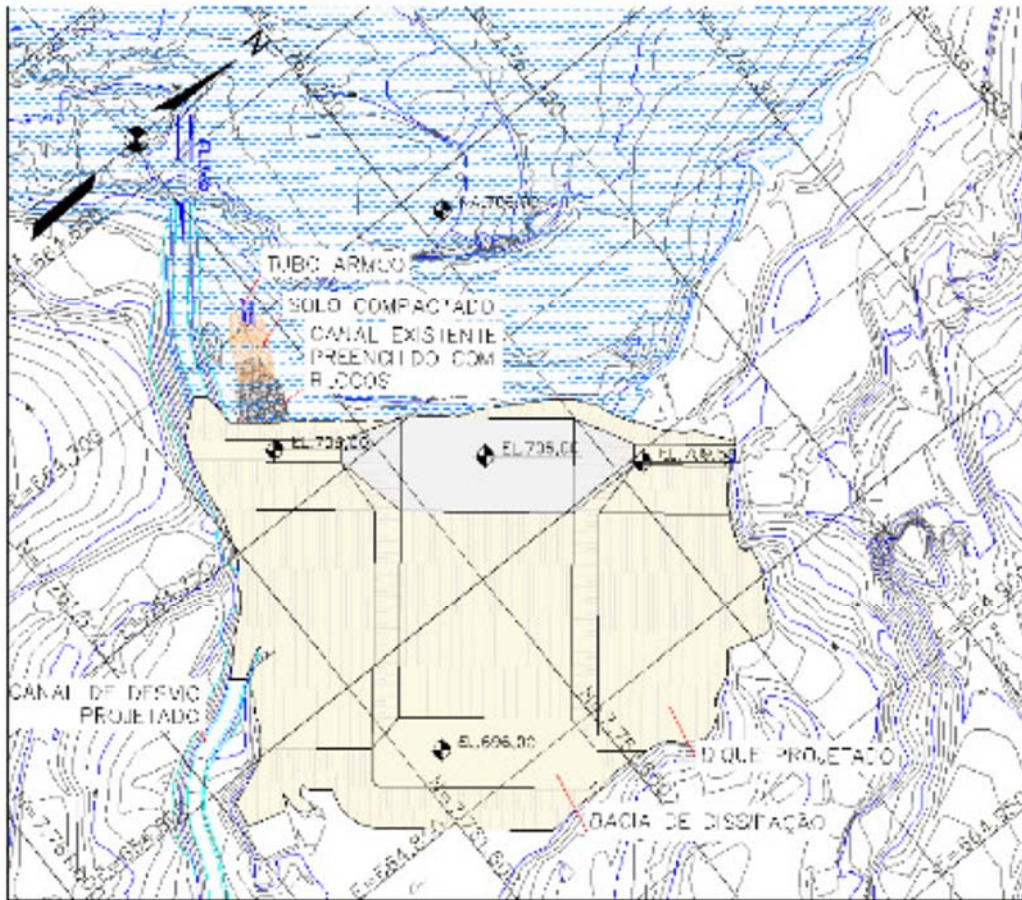
Figura 10 – Arranjo geral do Dique S1 e S2



Fonte: POTAMOS, 2017

O dique S3 é uma estrutura mais robusta do que os diques S1 e S2 e está localizado na confluência dos córregos Santarém e Mirandinha e sua construção ocorreu entre novembro de 2015 e janeiro de 2017 (Figura 11). As águas correntes que passam pelo dique S3 transportam material cujos sólidos em suspensão se precipitam ao passo que a velocidade das águas é reduzida pelas obras transversais de retenção, de forma que a água liberada é mais limpa após a decantação.

Figura 11 – Arranjo geral do Dique S3



Fonte: POTAMOS, 2017

De acordo com o relatório “Diagnóstico Atual do Transporte de Material Defluente do Vale da barragem de Fundão” da POTAMOS (2017), o dique S3 teve significativo impacto positivo na contenção do material efluente do vale do Fundão e de manutenção dos padrões de qualidade das águas dos cursos de água de jusante, uma vez que os dados de monitoramento demonstraram redução da turbidez e indicaram que os sedimentos foram contidos efetivamente. Além disso, o dique S3 é ponto de referência para examinar se há vazamentos de rejeitos/lama do vale do Fundão para o trecho de jusante e para avaliar a eficiência do sistema.

Embora o reservatório formado pelo dique S3 encontra-se colaborando na contenção dos eventuais vazamentos de rejeitos do vale do córrego do Fundão, devido a morfologia de seu espelho de água (especificamente no braço do córrego Mirandinha), o mesmo não pode ser plenamente utilizado no processo de sedimentação. O fluxo preferencial do sedimento advindo de Fundão se acumulou principalmente na confluência do córrego de Santarém com o de Mirandinha, imediatamente antes do maciço do Dique S3. Por essas razões, toda a região do reservatório formado pelo dique na região do Mirandinha ficou acúmulo de sedimento, de

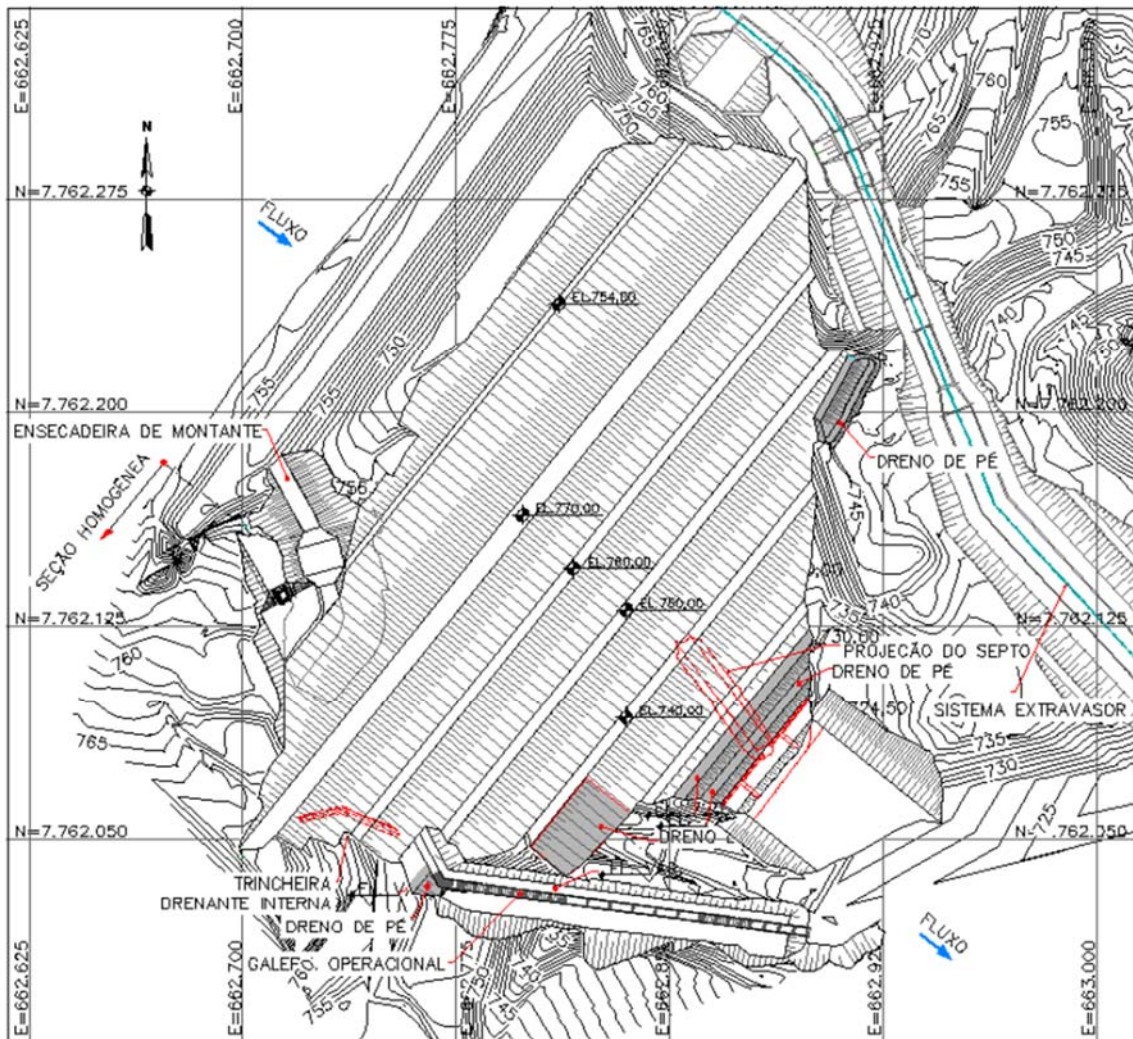
maneira que foi elaborado um plano de remanejamento interno do sedimento depositado no reservatório do dique S3, de forma a aproveitar ao máximo o volume útil disponível para a contenção de rejeitos e sedimentos afluentes. Desta maneira, os rejeitos depositados por gravidade no eixo principal do reservatório, foram remanejados internamente até o braço do córrego Mirandinha, otimizando o aproveitamento do volume útil disponível.

5.1.3.1.2 Barragem Nova Santarém

Apesar da onda ocorrida com a ruptura da barragem de Fundão não ter rompido a barragem de Santarém, esta teve todas as suas estruturas hidráulicas comprometidas, como maciço (que suportou o galgamento), extravasor e drenos, e seu reservatório assoreado, pois durante o evento de rompimentos, foi estimado que 3,0 Mm³ tenham ficado retidos nesse reservatório (POTAMOS, 2017).

Por esse motivo, além do reforço com blocos misturados com material fino também foi definida a construção da barragem Nova Santarém, que se trata de um novo maciço a jusante da estrutura existente, com espaldar de montante assentado sobre parte da antiga estrutura e seu arranjo geral pode ser visto na Figura 12. A barragem Nova Santarém, cujo volume de armazenamento é de 7,0 Mm³, tem função, juntamente com outras estruturas, de contenção dos rejeitos/lamas que ainda permanecem no vale do Fundão, possível clarificação de efluentes, além de ter sido projetada em vista da possibilidade futura de utilização para abastecimento de água para o processo produtivo (POTAMOS, 2017). Essa barragem teve seu cronograma de execução iniciado em 2016 e prazo programado inicialmente para ser terminado ao final do 2º trimestre de 2017 (AMPLO, 2017a). Em cronograma apresentado pela POTAMOS (2017), a barragem que foi finalizada desde janeiro de 2017 é a barragem Nova Santarém Provisória, enquanto a definitiva não havia sido concluída até a data de emissão daquele relatório, tendo sido concluída posteriormente em julho de 2017.

Figura 12 – Arranjo geral da Barragem Nova Santarém



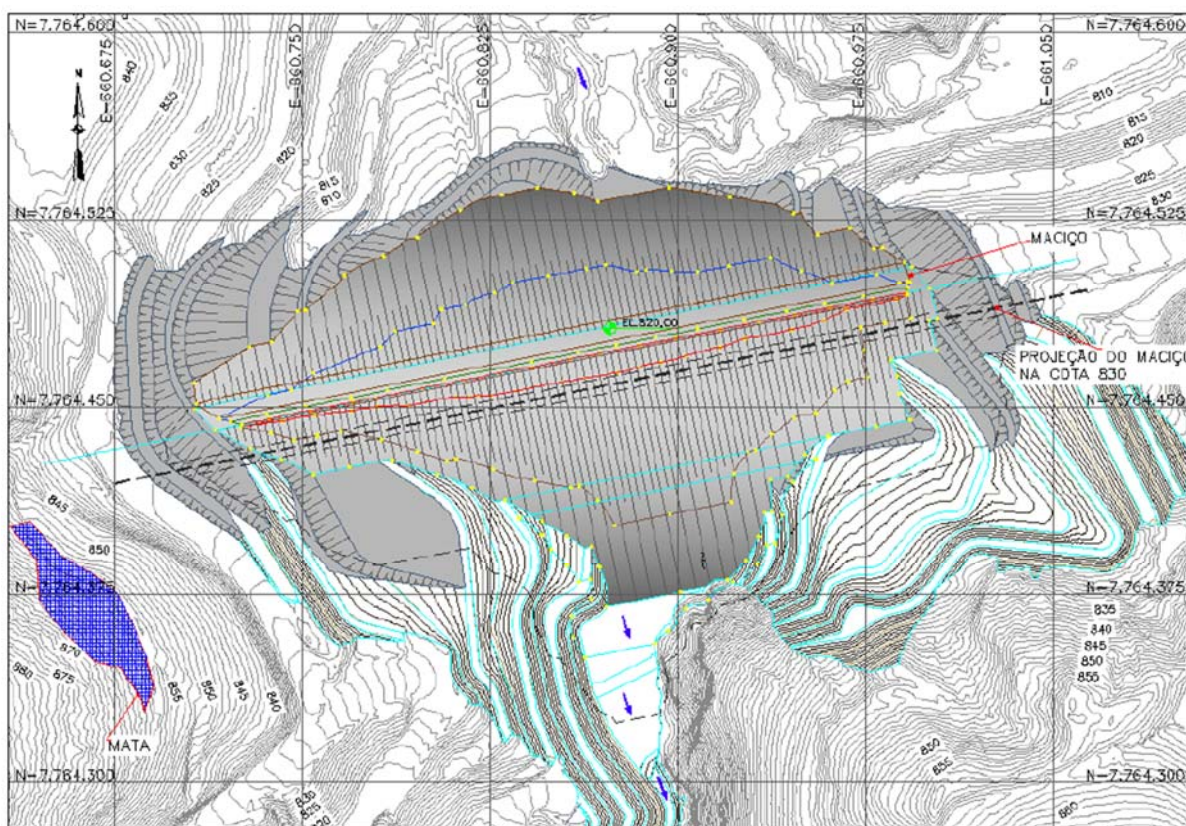
Fonte: POTAMOS, 2017

5.1.3.1.3 Dique Eixo 1

O dique Eixo 1, localizado no Trecho 1 e cujo arranjo geral pode ser visto na Figura 13, é uma estrutura de contenção idealizada e projetada com o objetivo de retenção do material defluente do vale do Fundão em localização próxima ao local de ruptura e a montante da barragem de Santarém (POTAMOS, 2017). O cronograma de obras estabelecido para essa estrutura visava sua execução ao longo de 2016 e 2017, mas devido a percalços ocorridos, principalmente relacionados à falta de materiais, houve a paralisação da obra em outubro de 2016. . A paralisação das obras teve como objetivo priorizar a disponibilização de material para a construção da barragem Nova Santarém, que foi priorizada devido a sua posição mais a jusante de qualquer outra estrutura de controle até então existente e também pela sua atuação na estabilidade do eixo da antiga barragem de Santarém. Por sua vez, as obras do Eixo 1 estão

previstas para serem executadas ao longo de 2018, de maneira que após sua conclusão a estrutura terá atuação na manutenção das condições alcançadas no sistema de barragens, principalmente com relação à segurança das estruturas remanescentes e construídas e também com relação à eficiência da contenção de sedimentos dentro da área da SAMARCO. O **Anexo I** deste Volume 3 apresenta o Memorial Descritivo do Eixo 1 e Ações de Controle Ambiental para Execução da Obra do dique Eixo 1 (Ampló, 2017). Este relatório foi protocolado em 18 de dezembro de 2017 através do Ofício GGMA 580/2017 com objetivo de subsidiar as discussões acerca da emissão de um ato autorizativo para a execução do Eixo 1.

Figura 13 – Arranjo Geral do Eixo 1

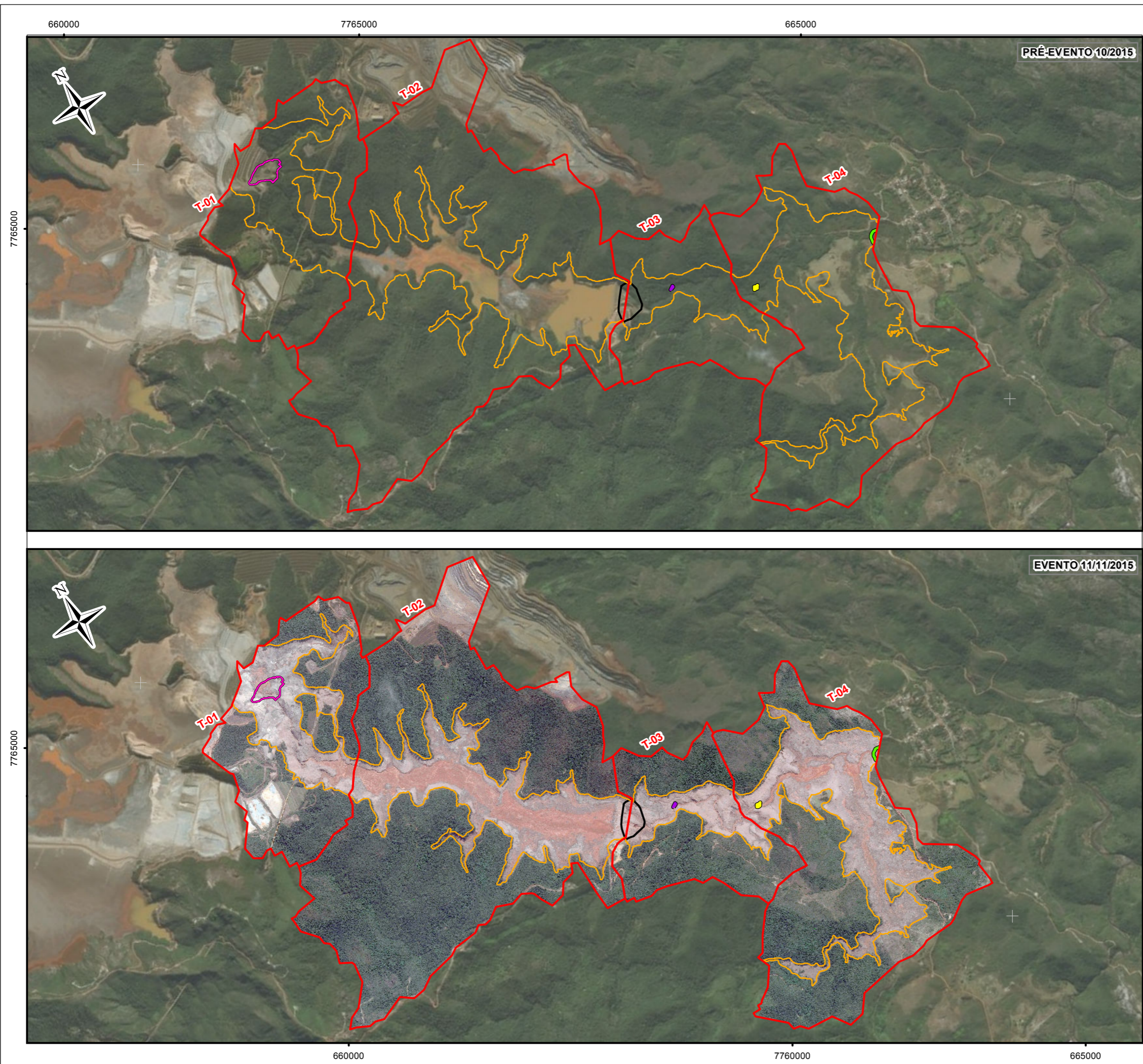


Fonte: POTAMOS, 2017

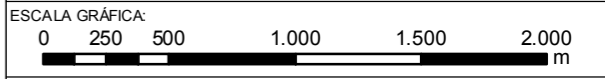
Em termos de trabalhos já realizados, foram realizadas escavações em 2017 para limpeza da fundação e também a construção de estruturas provisórias de drenagem superficial para proteção da região no período de chuvas de 2017/2018. É previsto que sejam iniciadas as obras de implantação da primeira etapa construtiva, com crista de elevação de 820,00 m no período seco de 2018, entre os meses de março a outubro (AMPLO, 2017b).

5.1.3.1.4 Evolução Temporal das Obras Emergências

Observando a Figura 14, Figura 15 e Figura 16, pode-se analisar alguns momentos da evolução temporal da implantação das obras de contenção na área da Samarco, nos Trechos 1 ao 4. A Figura 14 traz o cenário pré-evento (acima) e poucos dias após o evento (abaixo), demonstrando a existência apenas da barragem de Santarém, que foi galgada pela onda proveniente da ruptura da barragem de Fundão, mas que não chegou a ser rompida também. Na Figura 15, na imagem pós-evento no ano de 2016, já se pode observar a estrutura do dique S3 em funcionamento e o reservatório do mesmo nos córregos Santarém e Mirandinha, além das obras da barragem Nova Santarém. Na imagem de janeiro de 2017, pode-se observar também o alagamento de parte da área de reservatório da barragem Nova Santarém. A Figura 16 traz uma imagem mais recente e com o detalhe nas áreas das estruturas de contenção, mostrando atividades na região do Eixo 1, a barragem Nova Santarém e parte de seu reservatório alagado e o dique S3 em funcionamento com seu reservatório alagado.



- LEGENDA:
- Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
- Estruturas de Contenção**
- Eixo 1
 - Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015; Digital Globe, 2017.
Google Earth Pro, 11/11/2015; Esri, 2007.
Estruturas de Contenção, fornecido pelo cliente, 2017.

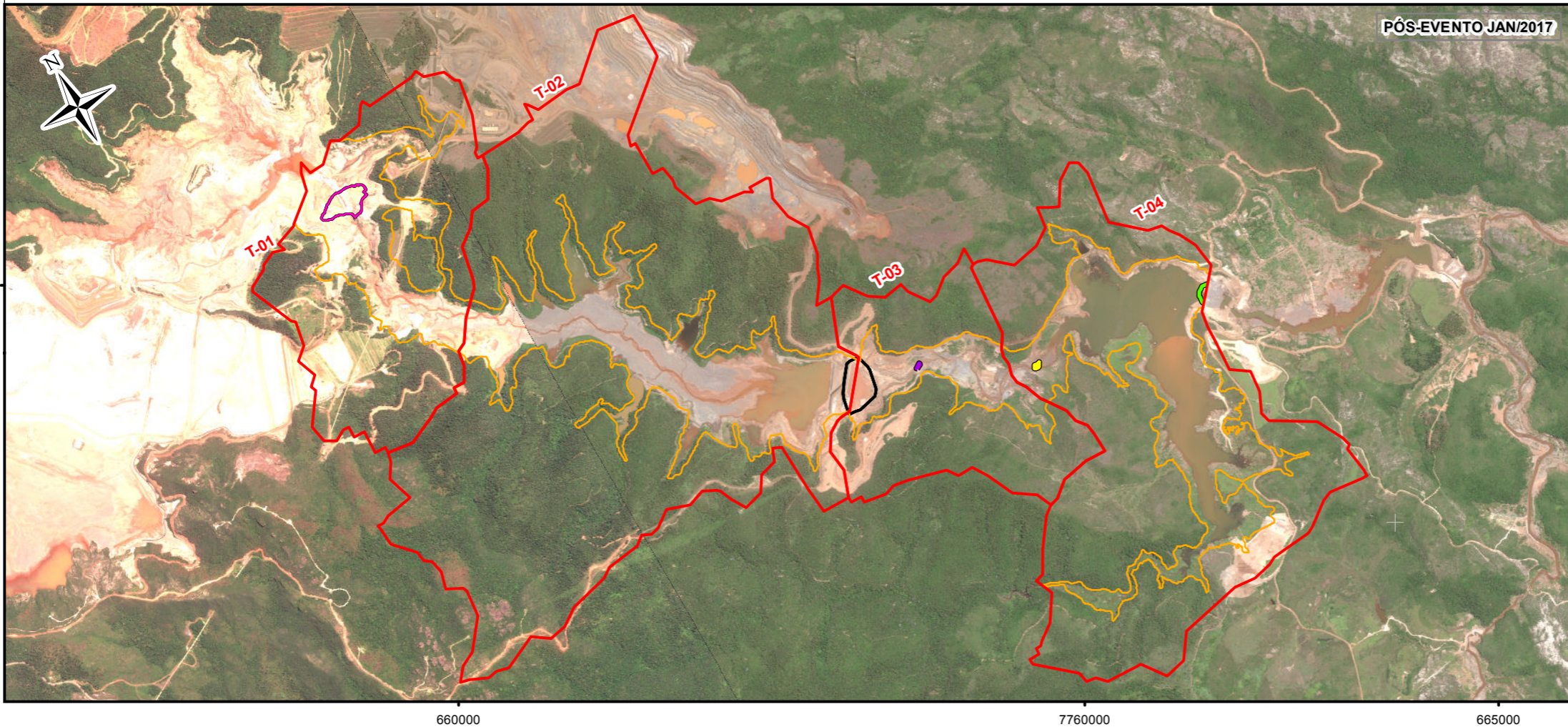
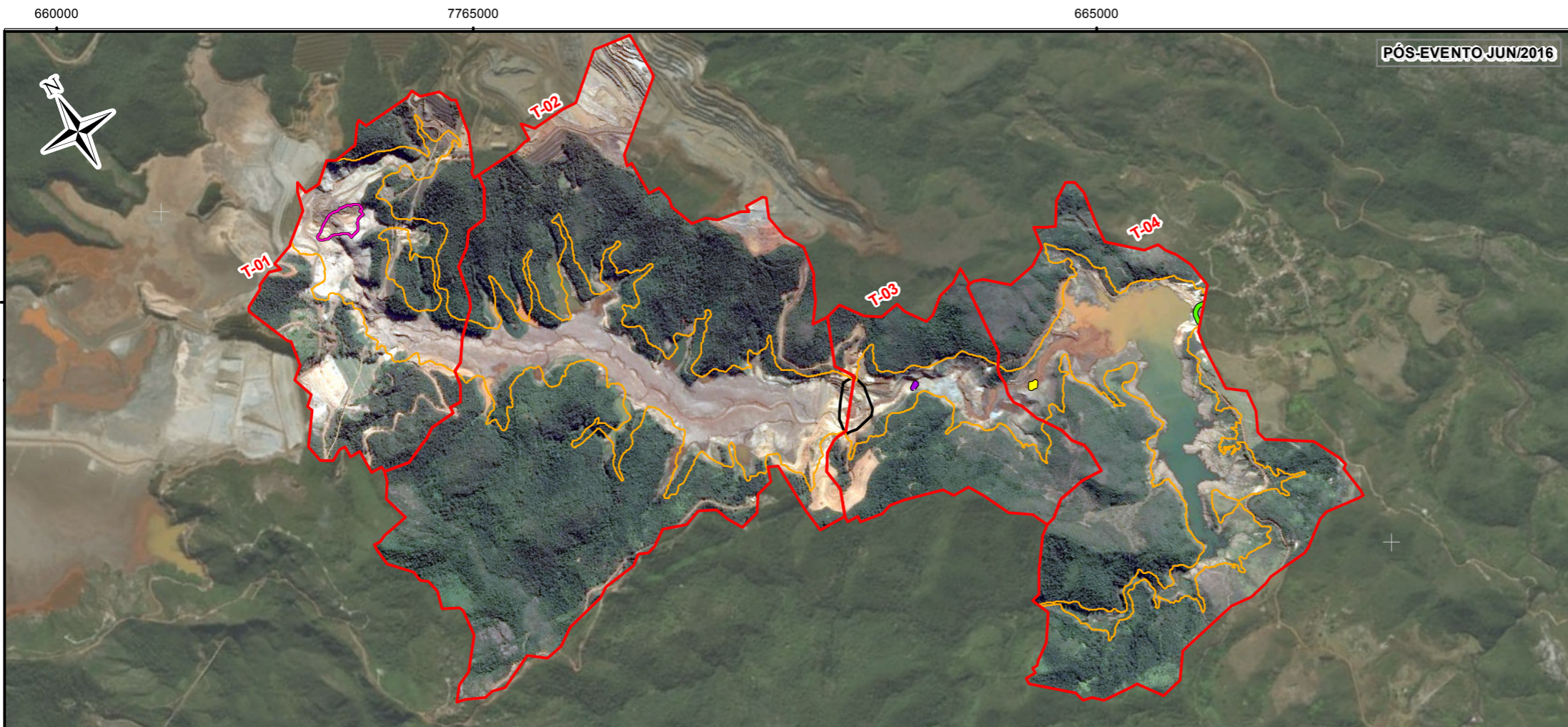


TÍTULO:
Figura 14
Análise Histórica das Estruturas de Contenção
(Pré-evento - Evento)

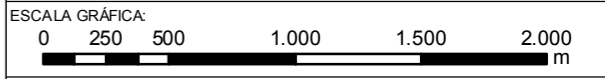
PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:30.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

Figura 14 - Análise Histórica das Estruturas de Contenção (Pré-evento - Evento)



- LEGENDA:
- Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
- Estruturas de Contenção**
- Eixo 1
 - Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015; Google Earth Pro, 2016; Esri, 2007.
Estruturas de Contenção, fornecido pelo cliente, 2017.



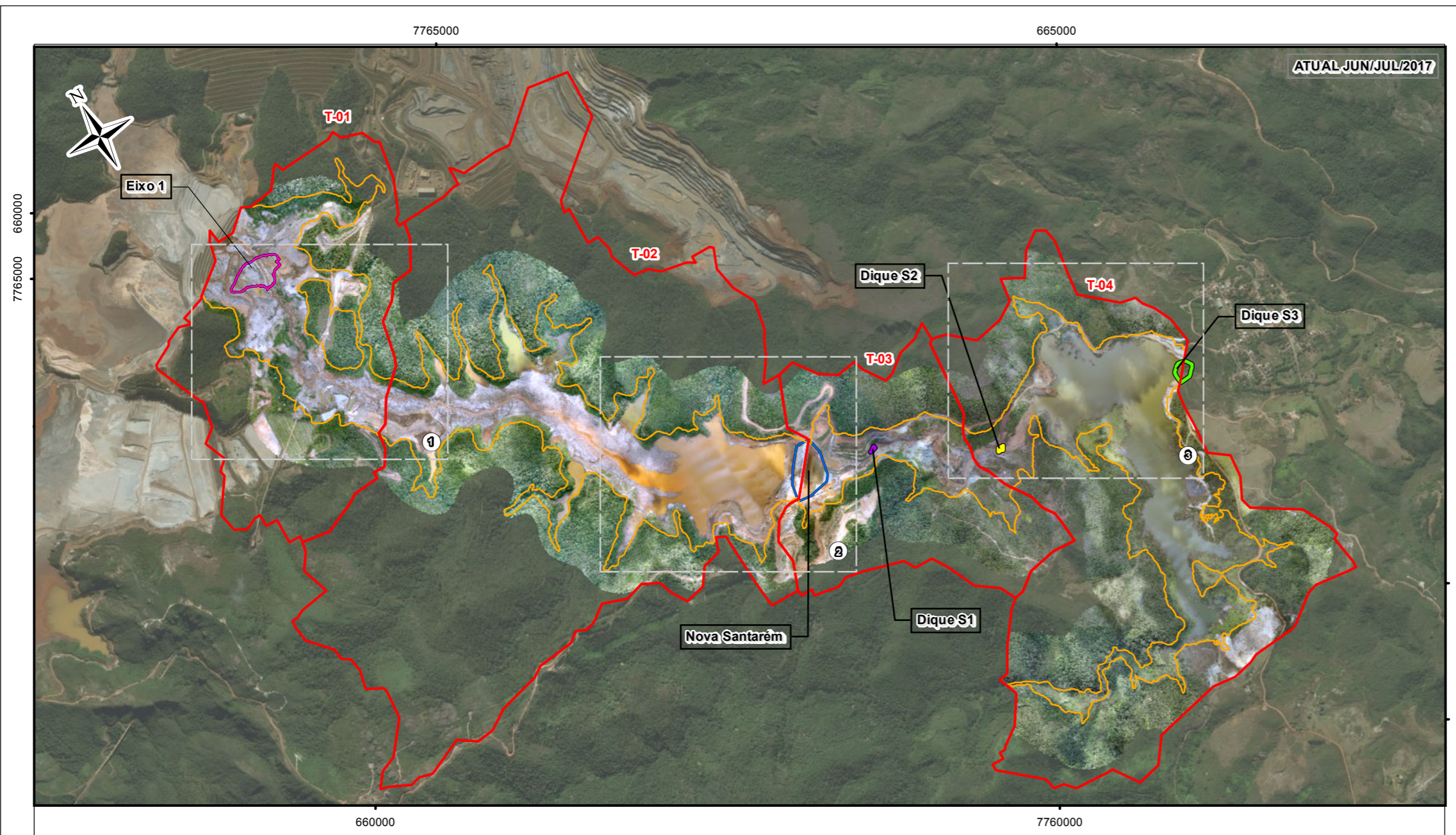
TÍTULO:
Figura 15
Análise Histórica das Estruturas de Contenção
(Pós-evento 1 e 2)

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

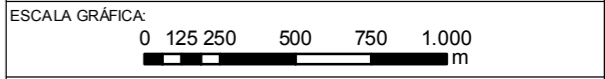
ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:30.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 15 - Análise Histórica das Estruturas de Contenção (Pós-evento 1 e 2)



- LEGENDA:
- Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
- Estruturas de Contenção**
- Eixo 1
 - Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015; Esri, 2007;
Levantamento por Drone, Geopixel, Jun/Jul/2017.
Estruturas de Contenção, fornecido pelo cliente, 2017.

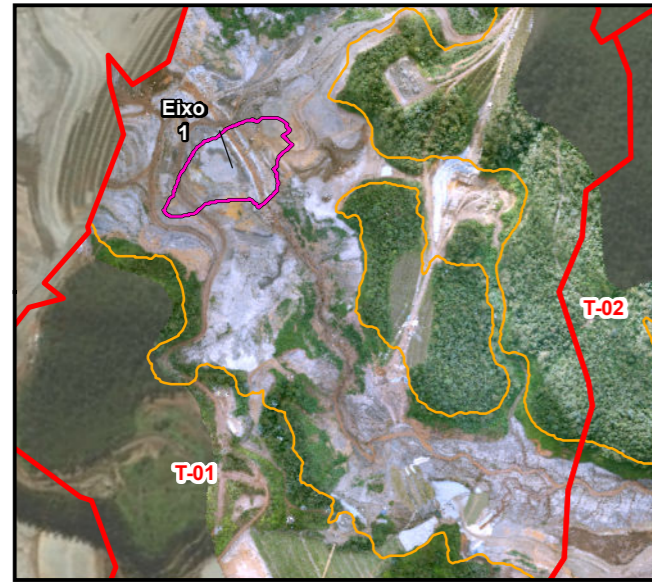
JACOBS ch2m.

TÍTULO:
Figura 16
Análise Histórica das Estruturas de Contenção (Atual)

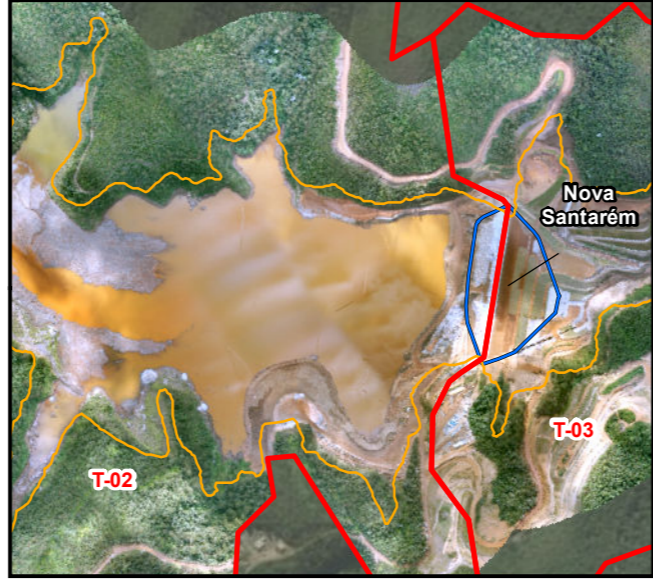
PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:25.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

Detalhe 1 - Eixo 1



Detalhe 2 - Nova Santarém



Detalhe 3 - Dique S3

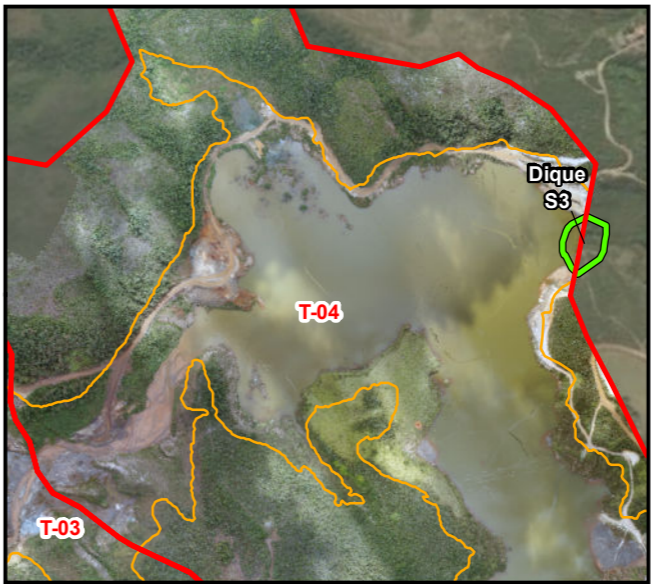


Figura 16 - Análise Histórica das Estruturas de Contenção (Atual)

5.1.3.2 *Disciplinamento das Drenagens e Controle de Erosão em Tributários*

Para os Trechos 1 ao 4, especificamente, foram realizadas campanhas de monitoramento das intervenções, através de vistorias de campo dos técnicos do IBAMA², responsáveis por fiscalizar as ações realizadas nos tributários. Tais atividades integram a Operação Áugias, enquanto os rios principais Gualaxo do Norte, Carmo e Doce são fiscalizados pela FEAM³, na Operação Watu. Porém, nos relatórios da Operação Watu, não foram identificados pontos de monitoramento nos Trechos 1 ao 4.

As atividades de vistoria da Operação Áugias são realizadas desde abril de 2016 e os relatórios desta Operação registram as constatações provenientes do acompanhamento visual das intervenções implantadas.

O relatório emitido em outubro de 2017 registrou as vistorias realizadas na Fase IV (Fase Argos) que compreendeu o período entre 21 e 30 de agosto de 2017, e antecipou a previsão de realização da Fase V em meados de outubro de 2017. No entanto, não foi identificada emissão de relatórios com informações da execução da Fase V até o fechamento do presente relatório.

A fiscalização realizada pela Operação Áugias foi realizada no âmbito das Cláusulas 158⁴, 159⁵ e 160⁶ do TTAC, em atendimento à deliberação CIF nº11/2016 e aos programas acompanhados pela Câmara Técnica de Restauração Florestal e Produção de Água (CTFLOR). Além disso, a fiscalização foi conduzida com suporte de um check list contendo 36 itens que atendiam a três eixos principais:

² <http://www.ibama.gov.br/noticias/422-2017/1231-operacao-augias-ibama-divulga-relatorio-de-vistoria-em-areas-impactadas-pelo-rompimento-da-barragem-de-fundao>

³ <http://www.feam.br/noticias/1/1507-operacao-watu-fase-i-fiscaliza-eficacia-de-medidas-emergenciais-no-rio-doce>

⁴ Cláusula 158: revegetação emergencial numa extensão de 800 ha até 30/06/2016 para redução da erosão laminar e eólica.

⁵ Cláusula 159: recuperação de 2000 ha na área ambiental 1 em até 4 anos com mais 6 anos de manutenção.

⁶ Cláusula 160: regularização das calhas e margens dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce (trecho a montante da UHE Risoleta Neves) até 29/12/2017.

- Avaliação das intervenções realizadas;
- Diagnóstico ambiental da área; e
- Atividades de recuperação ambiental.

O relatório desta Operação refere-se às atividades desenvolvidas entre 21 e 30 de agosto de 2017 que compreendeu tributários localizados entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves, já a jusante dos trechos 1 ao 4.

Os pontos abrangidos pela Operação Águas que coincidem com a área dos Trechos 1 ao 4, referem-se aos pontos ITS01, ITS02, ITS03, ITS04, ITS05, ITS06, ITS07, ITS08 e ITS09, cujos relatos de vistoria são apresentados nos relatórios de campo, anexos do Relatório geral de vistoria operação Águas – Fase Argos – Etapa IV (IBAMA, 2017), e sumarizados na sequência.

A Tabela 4 e a Figura 17 apresentam as coordenadas dos pontos vistoriados pela Operação Águas que estão localizados nos Trechos 1 ao 4.

Tabela 4 – Coordenadas dos pontos de monitoramento da Operação Águas localizados nos Trechos 1 ao 4

PONTO DE MONITORAMENTO	COORDENADAS UTM	
	Leste	Norte
ITS 01	663.574,77	7.761.983,54
ITS 02	664.194,36	7.762.309,78
ITS 03	664.631,52	7.761.032,52
ITS 04	664.065,2	7.761.912,47
ITS 05	664.606,62	7.760.612,08
ITS 06	664.374,99	7.760.426,08
ITS 07	664.175,55	7.760.328,34
ITS 08	663.967,03	7.760.374,61
ITS 09	663.715,77	7.760.321,63

As constatações das vistorias realizadas nestes pontos foram registradas em relatórios de campo, anexos ao Relatório geral de vistoria operação Águas – Fase Argos – Etapa IV (IBAMA, 2017).

Os registros ponto a ponto constataram, em geral, que a drenagem do terreno se encontra boa e foi aplicada biomanta nos taludes, porém alguns indivíduos apresentaram crescimento obstruído por baixo desta biomanta. Foi constatada ausência de cercamento de APPs e, principalmente nos pontos dentro da propriedade da Samarco, próximos ao dique S3

e S4, foi reforçada a necessidade de intervenção nos taludes marginais dos tributários, de forma a conter os processos erosivos e o carreamento de rejeito.

Além dessas recomendações foi indicada a utilização do mix de sementes de forma a enriquecer a vegetação nativa e conter o avanço dos processos erosivos na calha principal do córrego Santarém. Segundo o referido relatório, é necessário, também, a manutenção das técnicas de bioengenharia, estando estas classificadas como regulares, e avaliar melhor solução para as ravinas e voçoroca observadas na área.

De forma específica para cada ponto, registrou-se:

ITS01: o acesso ao tributário é restrito, dificultando a realização de avaliações, porém não foi identificada necessidade de implementação das ações emergenciais propostas, sendo recomendado que a empresa realize o enriquecimento e condução da vegetação nativa e atue na contenção de processos erosivos na calha principal do córrego Santarém.

ITS02: À montante da estrada, formou-se um pequeno lago devido a uma área de barramento e, apesar do lago apresentar-se cristalino e com boa regeneração vegetal em suas margens, constataram-se processos erosivos e o início de ravinamento. Diante disso, foi recomendado que seja incorporada matéria orgânica sobre o rejeito, conter os processos erosivos e evitar o carreamento para o leito do curso principal.

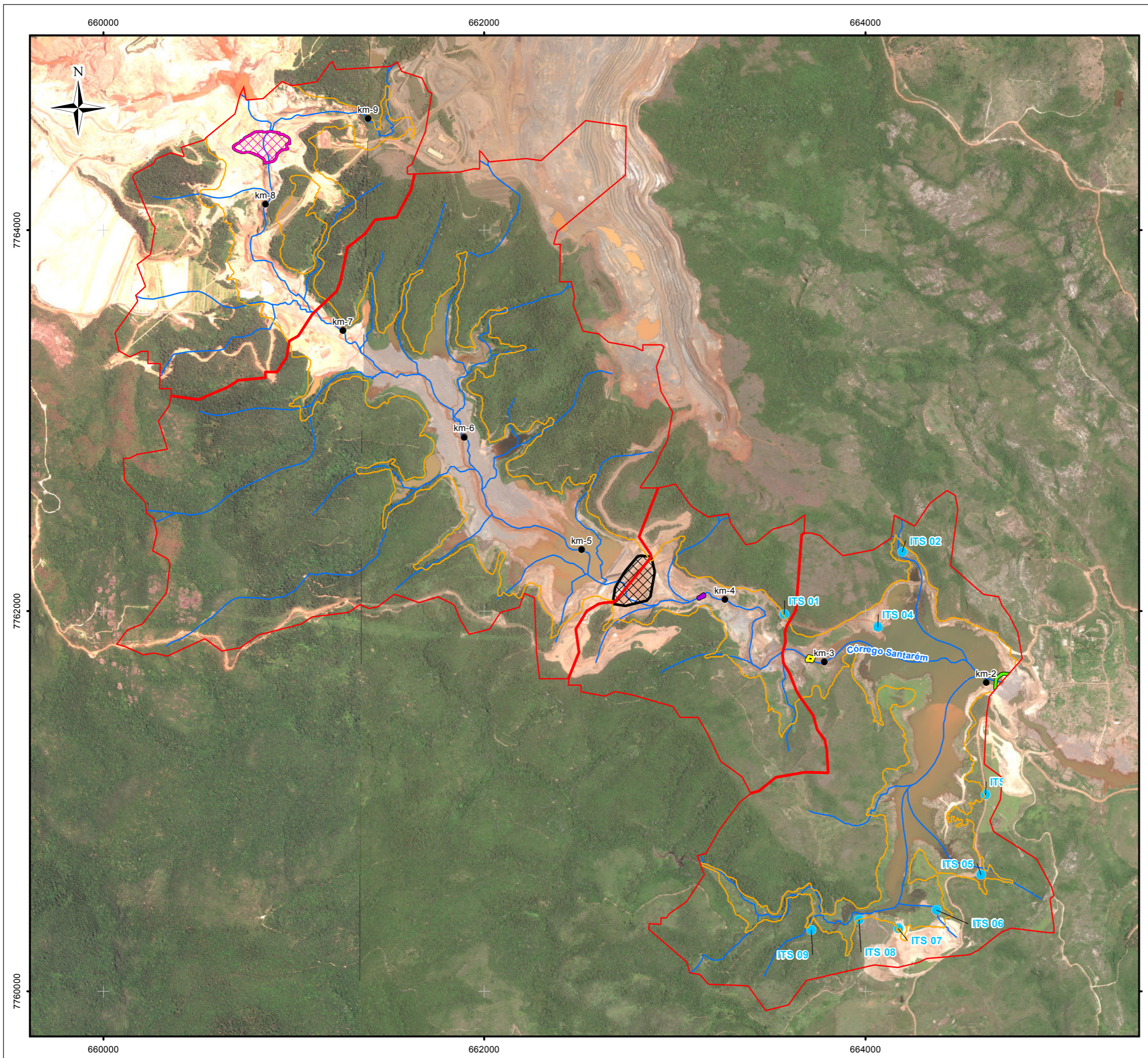
ITS03: em virtude da construção de estrada anteriormente inexistente, recomenda-se que a drenagem, a contenção de processos erosivos e o retaludamento sejam avaliados neste sentido.

ITS05: necessidade de contenção da erosão da estrada, com restabelecimento do talude adequado.

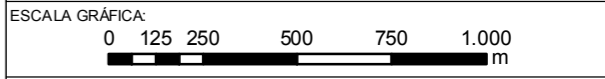
ITS06: avaliar melhor forma de manejo do rejeito identificado na área, com processo de ravinamento em andamento e avaliar melhor forma de manutenção e contenção do deslizamento presente no dique construído no tributário.

ITS07: a área não está cercada, porém apresenta bom desenvolvimento da vegetação.

ITS09: não há definição da cota de inundação pelo dique S3, sendo esta indicação necessária para dimensionar o projeto de recuperação da APP do lago formado a partir do barramento (dique S3).



- LEGENDA:
- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
 - Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
 - ▨ Eixo 1
 - ▩ Barragem Nova Santarém
 - ▭ Dique S1
 - ▭ Dique S2
 - ▭ Dique S3
 - Monitoramento - Operação AUGIAS



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Digital Globe, 2017.
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017.
GOLDER, 2016.



TÍTULO:
Figura 17
Pontos de Monitoramento da Operação AUGIAS

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 17 - Pontos de Monitoramento da Operação Augias - Trechos 1 a 4

5.1.4 Levantamento Planimétrico

O Mapa Hipsométrico do Trechos 1 ao 4, apresentado na Figura 18, foi elaborado a partir do levantamento planimétrico realizado por meio de LiDAR (*Light Detection and Ranging*). De acordo com este mapa, as altitudes nos Trechos 1 ao 4 variam de até 700 metros a acima de 850 metros.

As altitudes mais baixas estão localizadas nos Trechos 3 e 4, sobretudo no Trecho 4, nas áreas associadas às baixadas, próximas aos cursos d’água (Córrego Santarém), que coincidem com as áreas impactadas pelos depósitos de rejeito, podendo variar de 700 metros a 775 metros, no Trecho 3, e de 700 metros a 750 metros, no Trecho 4.

Nos trechos 1 e 2, as altitudes variam de 775 metros à acima de 800 metros, sendo as áreas mais baixas correspondem a estrutura de contenção do dique S3 e dos respectivos tributários, associados às áreas de deposição do rejeito. Como pode ser visualizado na Figura 18, que apresenta o mapa de declividade da área de abrangência.

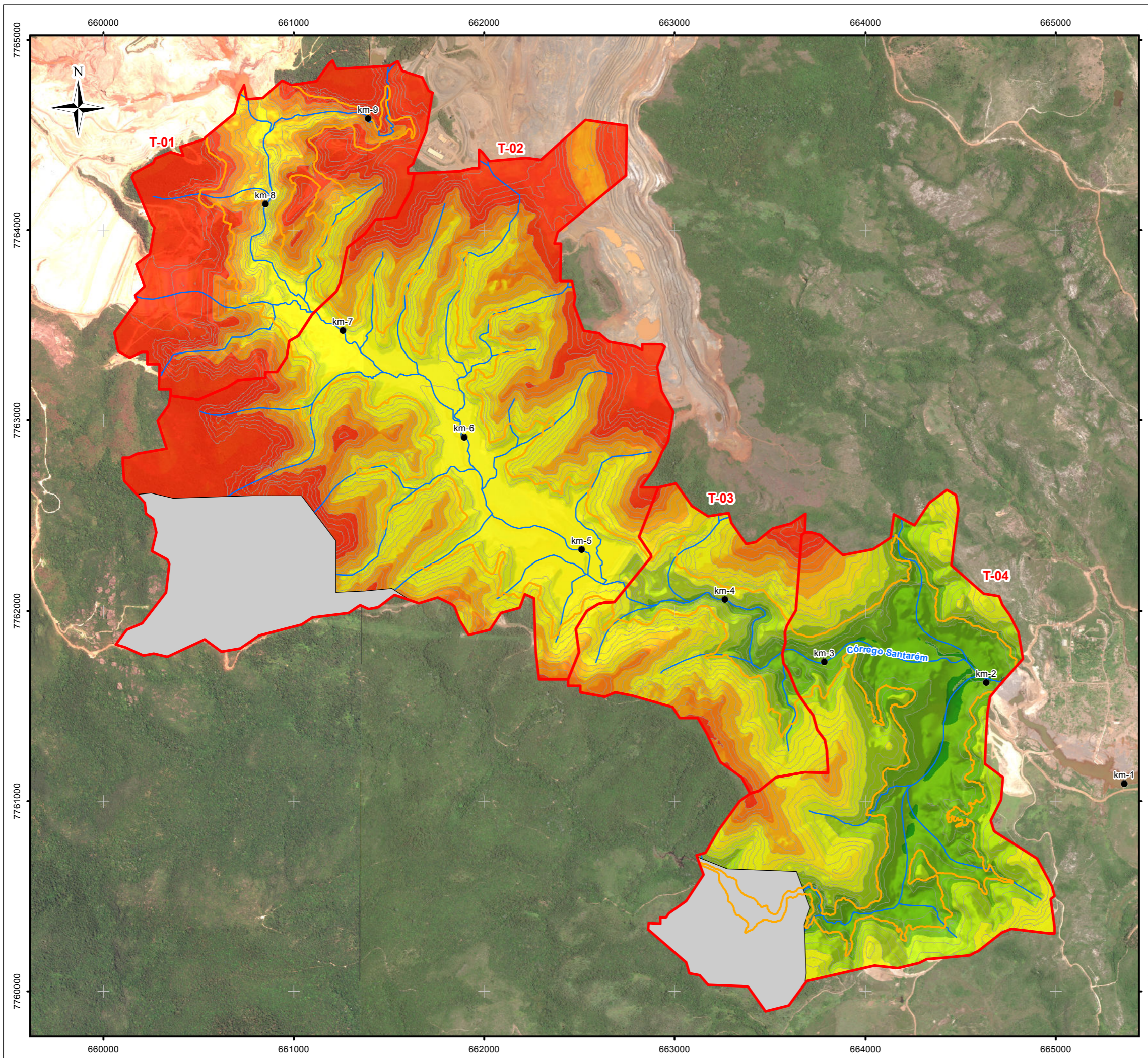
As maiores altitudes estão concentradas nas encostas e topos de morros, geralmente variando de 800 metros a acima de 850 metros, ocorre em todos os trechos mas mais concentradas nos Trechos 1 e 2.

No Trecho 2 e 4, em duas áreas não foi mapeada a altitude do relevo em decorrência da área não fazer parte da cobertura do LiDAR.

Cruzando as informações de curvas de nível com a área impactada, foi possível identificar as alturas máximas atingidas pelo rejeito em cada trecho, conforme a Tabela 5:

Tabela 5 – Alturas máximas atingidas pelo rejeito em cada trecho

ÁREA DE ABRANGÊNCIA	ALTURA MÁXIMA ATINGIDA PELO REJEITO (M)
Trecho 1	> 35
Trecho 2	25 – 30
Trecho 3	~40
Trecho 4	~25

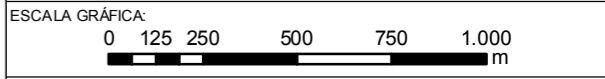


LEGENDA:

- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
- Curso d'água
- Curva de Nível (10 - 10m)
- Área Impactada - Trechos 1 ao 4
- Trechos 1 ao 4

Classes Hipsométricas (m)

- Até 700m
- 700 a 725m
- 725 - 750m
- 750 - 775m
- 775 - 800m
- 800 - 825m
- 825 - 850m
- Acima de 850m
- Áreas sem cobertura do LIDAR*



NOTAS:
 Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S
 * As áreas cinzas não foram cobertas com o levantamento LIDAR utilizada na modelagem da hipsometria.

REFERÊNCIA:
 IBGE, 2015; Digital Globe, 2017;
 Levantamento LIDAR, fornecido por Fundação Renova, 2017.
 Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017



TÍTULO:
 Figura 18
 Mapa Hipsométrico

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

5.1.5 Unidades da Paisagem

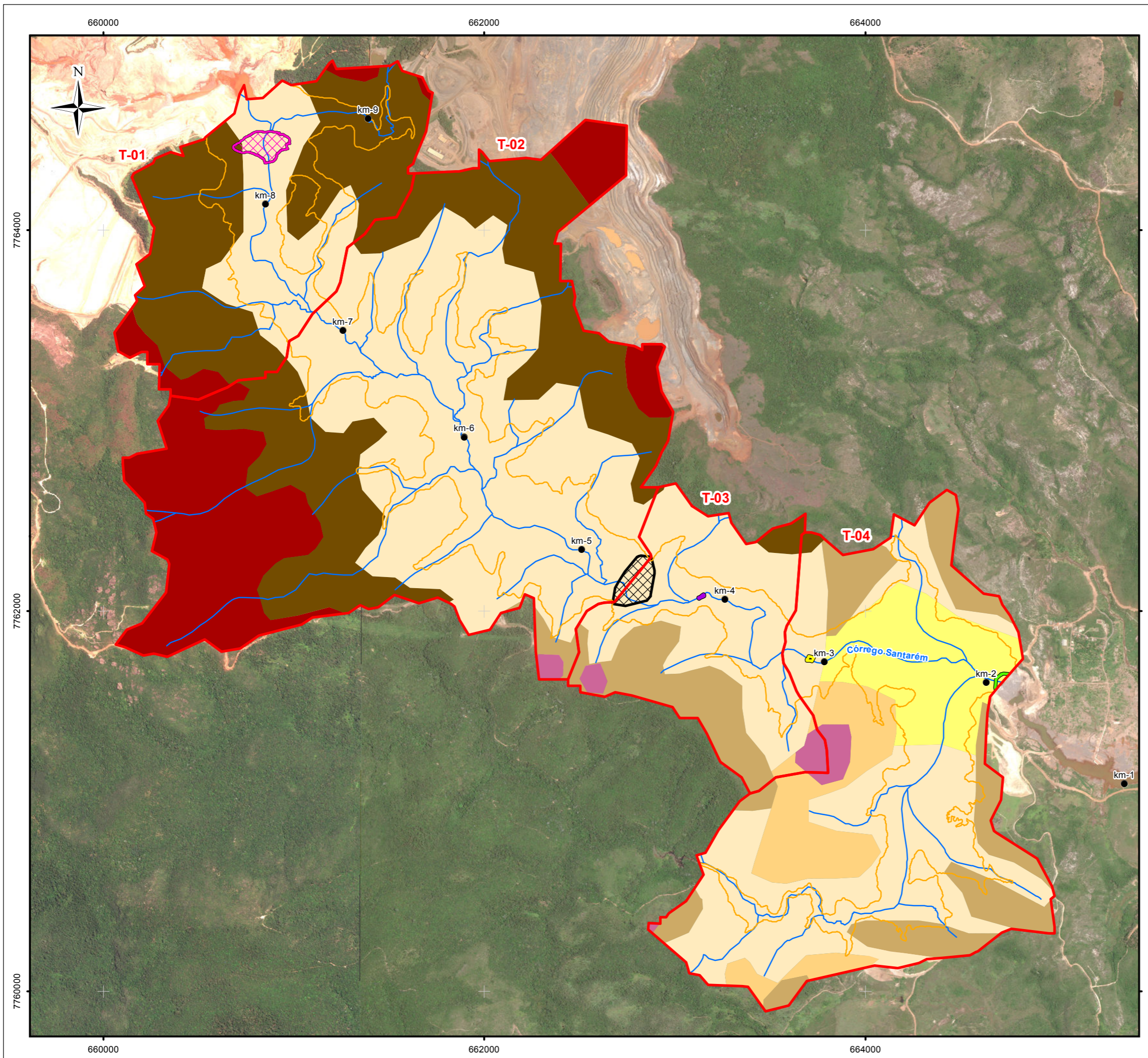
De acordo com o Zoneamento Ambiental Produtivo – ZAP – de 2017 da bacia do rio Gualaxo do Norte, os Trechos 1 ao 4 apresentam as Unidades de Paisagem distribuídas em:

Tabela 6 – Unidades de paisagem nos Trechos 1 ao 4

CLASSIFICAÇÃO	TRECHO 1 (HA)	TRECHO 2 (HA)	TRECHO 3 (HA)	TRECHO 4 (HA)
Afloramento rochoso	10	104	-	-
Colina do topo alongado	-	4	31	58
Escarpa rochosa	108	135	3	1
Rampa de colúvio	-	-	1	44
Terraço fluvial	-	-	-	54
Vale encaixado com vertente ravinada	57	249	80	141
Vertente convexa com inclusão cônica	-	2	4	4

Fonte: extraído de EMATER (2017)

Ressalta-se que as Unidades de Paisagem foram identificadas pelas imagens do satélite Sentinel 2, nas datas de 02 de agosto de 2016, e detalhadas em observações de campo, conduzidas por uma equipe multidisciplinar da EMATER-MG, IGAM e Fundação Renova, e são apresentadas na Figura 19.

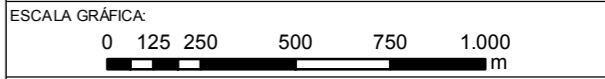


LEGENDA:

- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
- Curso d'água
- Área Impactada - Trechos 1 ao 4
- Trechos 1 ao 4
- ▨ Eixo 1
- ▨ Barragem Nova Santarém
- Dique S1
- Dique S2
- Dique S3

Unidades da Paisagem (ZAP)

- Terraço Fluvial
- Vale Encaixado com Vertente Ravinada
- Rampa de Colúvio
- Colina de Topo Alongado
- Escarpa Rochosa
- Afloramento Rochoso
- Vertente Convexa com Inclusão Cônica



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015; Digital Globe, 2017;
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017



TÍTULO:
Figura 19
Unidades de Paisagem (ZAP)

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:20.000	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RM	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: R0
---------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	-------------

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 19 - Unidades de Paisagem - Trechos 1 a 4

5.1.6 Resultados dos Monitoramentos e Dados de Outros Programas

Com relação aos planos e programas de monitoramento existentes, a Cláusula 178 do TTAC especifica:

“[...] a FUNDAÇÃO deverá planejar e implementar um plano de monitoramento quali-quantitativo das águas do Rio Doce e seus tributários, em função das intervenções da FUNDAÇÃO que vierem a ser realizadas para detectar, acompanhar e registrar eventuais impactos de intervenções estruturais implementadas pela FUNDAÇÃO na ÁREA AMBIENTAL 1, para atender operações de remoção ou recuperação ambiental de áreas ou trechos do Rio Doce e sua planície de inundação, tais como dragagens e remoção de resíduos e demais intervenções decorrentes deste Acordo.”

Adicionalmente, os indicadores devem estar de acordo e alinhados aos requisitos mínimos dos programas vigentes de monitoramento da qualidade de água e sedimento, e da regeneração da vegetação em áreas em reabilitação. São eles:

- Ofício nº 38/2016/AP-GF-ANA (Deliberação CIF nº 17), Nota Técnica nº 08, com a Proposta de conteúdo mínimo do PMQQS;
- Deliberação CIF nº 17, Seção VII - Plano de Monitoramento Quali-Quantitativo de Vigilância para Avaliação de Impactos;
- Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos (PMQQS); e
- Plano de Amostragem Componente de Qualidade de Água e Sedimentos do Programa de Monitoramento das Intervenções (PMQQVAI) – Anexo D do PMQQS.

A seguir serão descritos os programas e estudos avaliados. Os resultados serão apresentados conforme as seções:

- Seção 5.1.6.1 - Aspectos Físicos;
- Seção 5.1.6.2 - Aspectos Químicos;
- Seção 5.1.6.3 - Aspectos Biológicos.

O principal instrumento de monitoramento da qualidade das águas e sedimentos é o PMQQS, que tem por objetivo monitorar em caráter permanente a recuperação da bacia hidrográfica do rio Doce, assim como, zonas costeira e estuarina adjacentes, por meio da coleta

de dados de qualidade das águas e sedimentos que permitam avaliar a efetividade das intervenções permanentes realizadas. No escopo do PMQQS, foram definidos os parâmetros de qualidade de água e sedimento para controle, abaixo discriminados, porém não há pontos deste monitoramento nos Trechos 1 ao 4:

- Água: Parâmetros físico-químicos, hidrobiológicos e bacteriológicos; e
- Sedimento: Parâmetros físico-químicos e biomonitoramento de macroinvertebrados bentônicos.

Por outro lado, o PMQQVAI corresponde a um anexo do PMQQS e consiste no monitoramento quali-quantitativo das águas do Rio Doce e seus tributários que foram sujeitos a intervenções, de forma a acompanhar eventuais impactos de intervenções estruturais implementadas. Este programa possui pontos de monitoramento nos Trechos 1 ao 4 e os parâmetros analisados no PMQQVAI são:

- Água superficial
 - Rios principais: parâmetros físico-químicos, hidrobiológicos (fitoplâncton e zooplâncton) e bacteriológicos;
 - Tributários: parâmetros físico-químicos, hidrobiológicos (fitoplâncton e zooplâncton) e bacteriológicos, turbidez, sólidos totais, sólidos totais em suspensão e sólidos totais dissolvidos.
- Sedimento
 - Rios principais: físico-químicos, hidrobiológicos (fitoplâncton e zooplâncton) e bacteriológicos;
 - Tributários: físico-químicos e biomonitoramento de macroinvertebrados bem tônicos.

Ressalta-se que para a descrição da turbidez das águas superficiais, além do PMQQS e PMQQVAI, também foram utilizados os dados do monitoramento emergencial que a Samarco/Fundação Renova realizaram no período após o evento do rompimento da barragem.

Para as intervenções realizadas no âmbito do Programa de Restauração Florestal e Produção de Água (PG 25), foram definidos monitoramentos específicos visando avaliar a eficácia das ações implantadas. Nesse sentido, os seguintes indicadores já foram estipulados e

estão sendo monitorados com base no Plano de Monitoramento para Acompanhamento das Intervenções Prioritárias. Seguem os indicadores:

- Monitoramento da Vegetação
 - Percentual de cobertura vegetal
 - Produção de biomassa vegetal
 - Avaliação do sistema radicular
 - Avaliação de parâmetros do solo
- Monitoramento do Controle de Erosão
 - Sedimentação em estruturas de contenção
 - Taxas de erosão em planícies de inundação
 - Avaliação da erosão nas margens e deposição nas calhas
- Monitoramento da qualidade da água
 - Avaliação de parâmetros físico-químicos

No Relatório de resultados da 1ª e 2ª Campanhas de Monitoramento: Plano de Monitoramento das Intervenções Prioritárias, o qual visa avaliar a efetividade das ações iniciais de recuperação ambiental das obras de drenagem e contenção e dos serviços em bioengenharia realizados nos tributários e rios principais, embora sejam realizados as ações dos Programas de Monitoramento citados acima, para os Trechos 1 ao 4 o relatório não apresenta a descrição destas ações e resultados nos referidos trechos em estudo.

Com relação à biodiversidade aquática, é realizado o Programa de Monitoramento da Ictiofauna, que abrange aproximadamente 670 km dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, totalizando 41 pontos monitorados. Para tanto, são realizadas coletas mensais de ictiofauna, macroinvertebrados aquáticos, fitoplâncton, zooplâncton, perifiton e ictioplâncton (a ser realizada somente no período chuvoso, quinzenalmente). Os resultados do monitoramento encontram-se apresentados no **Anexo III**.

A caracterização ambiental do solo e sedimentos foi realizada com base no Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos elaborado pela Golder e a versão final emitida em outubro/2017, o qual teve como objetivo executar testes geoquímicos

em 311 amostras para dar subsídio na tomada de decisões relativas ao manejo dos rejeitos liberados no rompimento da barragem de Fundão. As amostras foram coletadas em novembro/2015, compostas por amostras de rejeitos (amostras compostas), detritos em pilhas de rejeito em Barra Longa, solo de áreas não impactadas, sedimentos de áreas não impactadas e sedimentos e solo de áreas impactadas, em locais definidos pela consultoria. Os resultados analíticos compilados no presente PMR foram os de metais; os quais foram comparados com os valores orientadores da Resolução CONAMA nº 420/2009 (valores de prevenção e investigação para uso agrícola, residencial e industrial) além do padrão de referência da Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.

Em linhas gerais, segue o *status* de cada programa ou plano proposto, conforme informado pela Fundação Renova:

- PMQQS (inclui o monitoramento hídrico do TTAC) – iniciado no mês de agosto de 2017.
- PMQQVAI – iniciado em outubro de 2017.
- Biodiversidade – iniciado em abril de 2017.
- Monitoramento de intervenções emergenciais – a empresa Golder iniciou os trabalhos de monitoramento contratualmente para a Samarco em 26/12/2016 e, posteriormente, o contrato migrou para a Fundação Renova em 01/04/2017. A 1ª campanha de campo relativa aos trabalhos de monitoramento da vegetação foi realizada ainda no contrato com a Samarco, entre os dias 06 e 21/03/2017. Já os trabalhos de monitoramento do controle de erosão tiveram seu início em meados de janeiro de 2017 com o monitoramento das estacas graduadas em estruturas de contenção. Em relação ao monitoramento das taxas de erosão, as parcelas começaram a ser construídas em janeiro de 2017 e os dados começaram a ser coletados em abril de 2017.
- Monitoramento de Fauna Terrestre – monitoramento não iniciado.

A área de estudo deste PMR abrange a propriedade da SAMARCO. Desta forma, para a caracterização ambiental também foram utilizadas informações disponibilizadas nas seguintes fontes de dados:

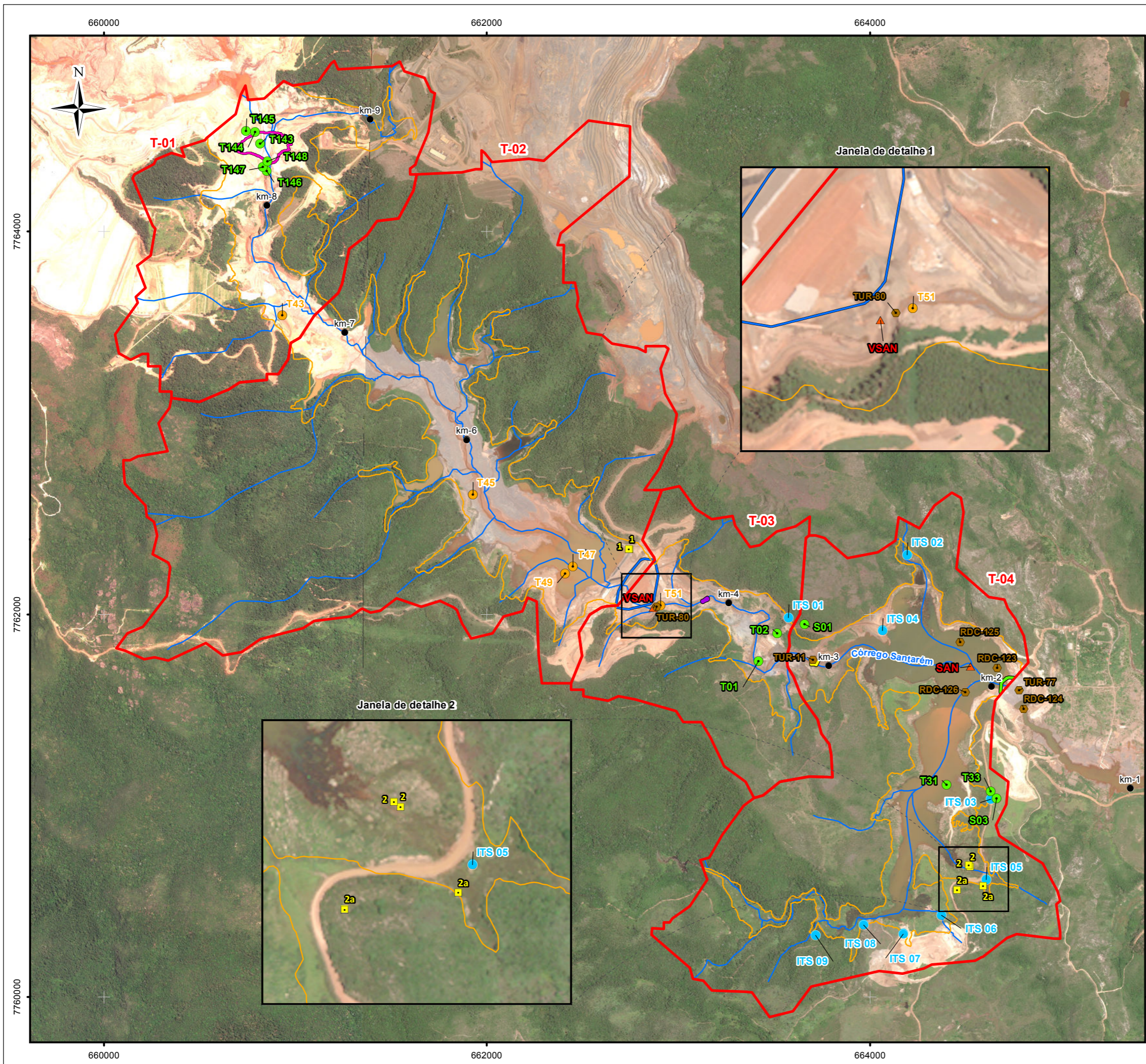
- Estudo de Impacto Ambiental Integrado do Complexo Germano (Amplo, 2017), o qual utilizou dados mensais de monitoramento das operações do Complexo Germano realizado pela SAMARCO de 2014 a 2016, em períodos sazonais;
- Banco de dados geral dos resultados do monitoramento emergencial da qualidade de água realizado pela SAMARCO logo após o evento do rompimento da barragem de Fundão. Foram avaliados dados de turbidez de janeiro/2016 a junho/2017;
- Diagnóstico Atual do Transporte de Material Defluente do Vale da barragem de Fundão (POTAMOS, 2017).

O Quadro 1 apresenta os pontos de monitoramento utilizados em estudos e monitoramentos realizados nos Trechos 1 ao 4. A Figura 20 apresenta os pontos de monitoramento utilizados em estudos e monitoramentos realizados nos Trechos 1 ao 4 em planta.

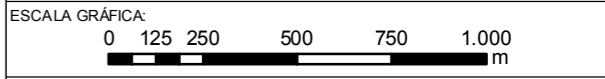
Quadro 1 – Pontos de monitoramento e estudos dos Trechos 1 ao 4

PROGRAMA	MONITORAMENTO / ESTUDO	PONTOS DE MONITORAMENTO NOS TRECHOS			
		1	2	3	4
PG 23	Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos	Solo: T144, T145, T143, T146, T147, T148 Sedimento: T43	Sedimento: T45, T47, T49	Solo: T01, T02 Sedimento: T51	Solo: S01, S03, T31, T33
PG38	PMQQS	-	-	-	-
PG38	PMQQVAI	-	-	ITS 01	ITS 2, ITS 3, ITS 4, ITS 5, ITS 6, ITS 7, ITS 8 e ITS 9
PG38	Monitoramento emergencial realizado pela Samarco	-	-	TUR-80	TUR-11; TUR-77* e TUR-69* RDC-123, RDC-124*, RDC-125 e RDC-126
PG25	Monitoramento das Áreas Prioritárias das Intervenções Golder	-	-	-	-
PG25	Fitossociológico	-	1	-	2, 2a
PG30	Programa de Monitoramento da Fauna Terrestre	-	-	-	-
-	EIA/RIMA Complexo Germano	-	-	VSAN	SANT, S3 (Dique S3 Centro), S3 (Dique S3 Margem Direita), S3 (Dique S3 Margem Esquerda), S3 (Dique S3 Jusante)

Nota: (*) Pontos localizados no Trecho 5, mas foram utilizados na caracterização da turbidez no Dique S3.



- LEGENDA:**
- Geoquímico - amostra de sedimento
 - Geoquímico - amostra de solo
 - Pontos fitossociológico (levant. florístico)
 - Monitoramento Emergencial da Qualidade de Água
 - PMQQVAI
 - ▲ EIA/RIMA Complexo Germano
 - Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
 - Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
- Estruturas de Contenção**
- Eixo 1
 - Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Digital Globe, 2017.
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017

JACOBS ch2m.

TÍTULO:
Figura 20
Localização dos pontos de monitoramento e estudos pretéritos

PROJETO:
Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 20 - Monitoramentos - Trechos 1 a 4

5.1.6.1 Aspectos Físicos

O relatório da Avaliação dos Impactos no Meio Físico Resultantes do Rompimento da Barragem de Fundão (Golder, 2016) retrata o levantamento dos impactos instalados e potenciais identificados num primeiro momento após o evento. A avaliação considera as alterações físicas na morfologia resultantes da erosão ocasionada pelo escoamento do rejeito, além de potenciais alterações na dinâmica de escoamento e hidrológica dos cursos d'água afetados.

O documento que registra esta avaliação concluiu, com base em levantamentos de campo, sobrevoo da área com helicóptero, estudos geoquímicos e análise documental, que o evento aportou sedimentos nos cursos d'água principais em sete vezes mais do que as condições anteriores ao rompimento da barragem de Fundão, além da tendência de erosão do rejeito superior ao solo natural numa escala de 60%, contribuindo com o aumento do nível de turbidez, além de cor e metais totais, que estão relacionados à presença de material em suspensão.

Diante dessas constatações, foram selecionadas área prioritárias para intervenção através de medidas de controle da erosão que, conforme o relatório supracitado, seriam suficientes para reduzir o impacto na qualidade das águas, não sendo recomendada a remoção de rejeito em larga escala (Golder, 2016).

As características físicas dos depósitos de rejeito, além da descrição do método de transporte e deposição do rejeito encontram-se apresentadas na Seção 0 do presente relatório.

Segundo o PMR (JACOBS CH2M, 2017), imediatamente após a ruptura da barragem de Fundão, a massa de rejeitos em movimento atingiu o córrego Santarém, num trecho de aproximadamente 1.100 m de comprimento, até chegar ao remanso do reservatório de Santarém, em setor já totalmente assoreado pelos rejeitos de minério decantados das águas drenadas da própria barragem de Fundão, delimitou-se nesta área o Trecho 1. A seta amarela indica o sentido do rio em ambas as fotos, sendo que a primeira refere-se ao sobrevoo de helicóptero enquanto à direita é apresentado o imageamento de drone.

Figura 21 – Ponto do Trecho 1 que apresenta o Córrego Santarém



Fonte: adaptado de FUNDAÇÃO RENOVA, agosto de 2016 - Sobrevoos

Fonte: imageamento por drone, abril de 2017

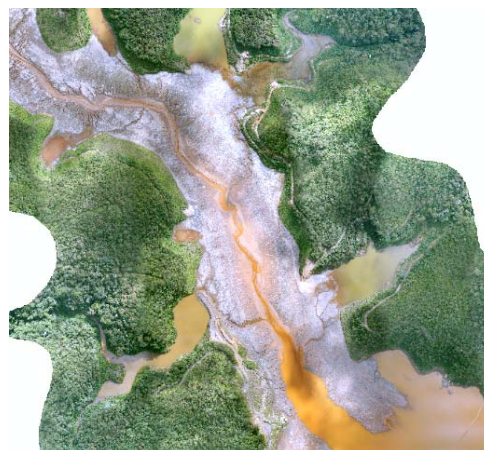
Coordenadas UTM: 660826 L; 7763944 N

Neste trecho, o vale do córrego Santarém apresenta-se bastante encaixado e em razão da grande vazão de escoamento da massa de rejeitos, esta alcançou alturas superiores a 30 m acima do talvegue e seu deslocamento provocou a remoção total da vegetação nativa de porte arbóreo e o desnudamento da camada de solo, expondo o substrato rochoso em grande parte da área afetada.

O Trecho 2 compreende a área do reservatório Santarém. No momento em que o rejeito alcançou este trecho, já havia incorporado a vegetação e os solos removidos do Trecho 1, encontrando uma seção de escoamento menos restritiva, constituída pela superfície dos rejeitos retidos na barragem desde o início de sua operação, cuja largura média é de 200 metros.

Nestas condições, a massa em movimento alcançou uma altura menor, em torno de 25 m, sobre as encostas adjacentes ao reservatório e, devido à menor velocidade de deslocamento, removeu toda a vegetação presente sobre as mesmas, mas não promoveu a erosão do solo com a mesma intensidade que no Trecho 1.

Figura 22 – Reestabelecimento natural da vegetação nas encostas do Trecho 2



Fonte: adaptado de FUNDAÇÃO RENOVA, agosto de 2016 - Sobrevoos

Fonte: imageamento por drone, abril de 2017

Coordenadas UTM: 662416.53 L; 7762401.51 N

O Trecho 3 se encontra à jusante da barragem de Santarém, onde o córrego continua por um vale encaixado, porém mais amplo que o Trecho 1. Assim, a massa de rejeito, ao galgar a barragem de Santarém e atingir este trecho, alcançou uma altura aproximada de 40 m sobre as encostas com velocidade suficiente para remover toda a vegetação arbórea existente, mas apenas uma parte dos solos foi removida.

Os setores de encosta, onde o solo não foi removido, vem apresentando a recuperação da vegetação herbácea, da mesma forma que no Trecho 2, porém os setores de encosta onde o solo foi removido encontram-se desnudos e sujeitos à erosão pluvial. A seta amarela indica o sentido do rio e a seta vermelha indica aproximadamente a mesma localização em ambas as fotos apresentadas abaixo. A primeira foi realizada durante sobrevoos em direção a Noroeste, enquanto a segunda, realizada por drone, apresenta uma imagem plana vista de cima do mesmo ponto cerca de 08 meses depois.

Figura 23 – Remoção de parte do solo das encostas



Fonte: adaptado de FUNDAÇÃO RENOVA, agosto de 2016 - Sobrevoos **Fonte:** imageamento por drone, abril de 2017

Coordenadas UTM: 663440 L; 7761900 N

No Trecho 4, o vale do córrego Santarém torna-se aberto e bastante amplo, notadamente pela vertente da margem direita, de onde recebe um afluente, o córrego Mirandinha. Logo a jusante da foz do córrego Mirandinha, no entanto, encontra-se um estreitamento de vale, exatamente onde se implantou posteriormente o dique S3 com a finalidade de reter os rejeitos remobilizados da barragem de Fundão e evitar que aportem ao rio Gualaxo do Norte.

Em razão desta configuração morfológica, o fluxo de rejeito, em seu movimento, tomou uma ampla área do vale do córrego Santarém e seguiu no contrafluxo a montante no córrego Mirandinha por 2.700 metros. Num primeiro momento, removeu a vegetação existente sobre as áreas invadidas, mas, no refluxo, ao perder velocidade, depositou rejeito em toda a faixa inundada, que alcança até 500 m de largura e cuja espessura depositada chega a 5,8 m (Córrego Santarém).

Na Figura 24, a seta amarela indica o sentido do rio e a seta vermelha indica aproximadamente a mesma localização em ambas as fotos (dique S3), sendo a primeira realizada durante sobrevoos em direção a Nordeste, enquanto a segunda, realizada por drone, apresenta uma imagem plana vista de cima do mesmo ponto.

Figura 24 – Reservatório formado pelo Dique S3



Fonte: adaptado de FUNDAÇÃO RENOVA, agosto de 2016 - Sobrevo

Fonte: imageamento por drone, abril de 2017

Coordenadas UTM: 664741 L; 7761630 N

5.1.6.2 Aspectos Químicos

5.1.6.2.1 Qualidade da Água Superficial

A Tabela 7 apresenta os pontos de monitoramento da qualidade de água selecionados para caracterização ambiental, apreciando que não foram identificados pontos de monitoramento nos Trechos 1 e 2.

Tabela 7 - Pontos de amostragem de água superficial

TRECHO PMR	PONTO AMOSTRAGEM	DESCRIÇÃO	COORDENADAS (UTM)		REFERÊNCIA
			L	N	
Trecho 3	VSAN	Vertedouro da barragem de Santarém	662868	7762032	EIA do Complexo Germano
	ITS 01	Primeiro tributário após a barragem de Santarém	663574.77	7761983.53	PMQQVAI
	TUR-80	-	662886	7762041	Monitoramento Emergencial
Trecho 4	SANT	Córrego Santarém	664526	7761728	EIA do Complexo Germano
	ITS 02	Córrego Fraga, montante do reservatório do Dique S3	664194.35	7762309.78	PMQQVAI
	ITS 03		664631.51	7761032.52	PMQQVAI

TRECHO PMR	PONTO AMOSTRAGEM	DESCRIÇÃO	COORDENADAS (UTM)		REFERÊNCIA
			L	N	
	ITS 04		664065.20	7761912.47	PMQQVAI
	ITS 05		664606.62	7760612.07	PMQQVAI
	ITS 06	Córrego Mirandinha, no reservatório do Dique S3	664374.99	7760426.08	PMQQVAI
	ITS 07		664175.55	7760328.34	PMQQVAI
	ITS 08		663967.02	7760374.60	PMQQVAI
	ITS 09		663715.77	7760321.63	PMQQVAI
	TUR-11		-	663702	7761763
	TUR-69	-	664745	7761660	Monitoramento Emergencial
	TUR-77	-	664817	7761482	Monitoramento Emergencial
	RDC-123	Mariana - MG - Dique S3 - Centro	664665,9	7761717	Monitoramento Emergencial
	RDC-124	Mariana - MG - Dique S3 - Jusante	664804	7761505	Monitoramento Emergencial
	RDC-125	Mariana - MG - Dique S3 - Lado Esquerdo	664472,2	7761854	Monitoramento Emergencial
	RDC-126	Mariana - MG - Dique S3 - Lado Direito	664499,3	7761593	Monitoramento Emergencial

Fonte: Amplo, 2017; Fundação Renova, 2017 e Samarco, 2017

As referências legais de qualidade da água superficial utilizadas foram as seguintes:

- Resolução CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes dá outras providências.
- Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/2008 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e também estabelece padrões físico-químico de qualidade de água, os quais foram utilizados como valores orientadores.

5.1.6.2.1.1 Pré evento

O ponto VSAN, localizado no Trecho 3, na área do vertedouro Santarém, foi monitorado de 2014 até novembro de 2015, ou seja, antes do evento de rompimento da

barragem. De acordo com o EIA do Complexo Germano (2017), as águas neste local apresentaram turbidez média de 26,7 NTU (abaixo do limite permitido) durante o período monitorado. O relatório ainda informa outros parâmetros avaliados, tais como: média de sólidos em suspensão de 5,5 mg/L, a concentração média de sólidos dissolvidos foi de 290,9 mg/L e a condutividade média foi igual a 434,2 μ S/cm, mantendo uma proporcionalidade com os valores de sólidos dissolvidos. A cor verdadeira indicou mediana de 10 mg/L, representando baixas quantidades de substâncias capazes de causar coloração.

Com relação aos metais pesados, o mercúrio foi observado em média de 0,4 mg/L, sendo a concentração máxima detectada de 1,1 mg/L. Segundo a Amplo, considerando que o mercúrio não é utilizado na operação de mineração de ferro, a presença deste metal pode estar relacionada com atividades pretéritas de extração de ouro (Amplo *apud* RHODES, 2017) na região. A concentração de ferro dissolvido esteve acima do permitido somente em uma medição que ocorreu em março/2015, com 0,32 mg/L, ao contrário do manganês total que extrapolou o limite em 77% dos registros entre 2014 e 2015.

O ponto SANT, localizado no Trecho 4 do PMR, está a jusante do VSAN (Trecho 3) e também foi monitorado até novembro 2015, antes do acidente. No período avaliado, a média de sólidos em suspensão foi de 2,5 mg/L; 11,5 NTU de turbidez e 218,3 mg/L de sólidos dissolvidos. Para cor verdadeira, a mediana foi igual a 10 mg/L.

Neste ponto, as análises de metais pesados não detectaram cromo e a concentração de mercúrio variou entre 0,03 mg/L e 0,7 mg/L, com mediana igual a 0,2 mg/L, ressaltando que, conforme citado no ponto de monitoramento VSAN, a área tem histórico de garimpo de ouro que pode ser atrelado à presença do metal na água. O ferro dissolvido indicou baixas concentrações no período monitorado e o manganês total teve 66% dos resultados com valores acima do limite máximo permitido.

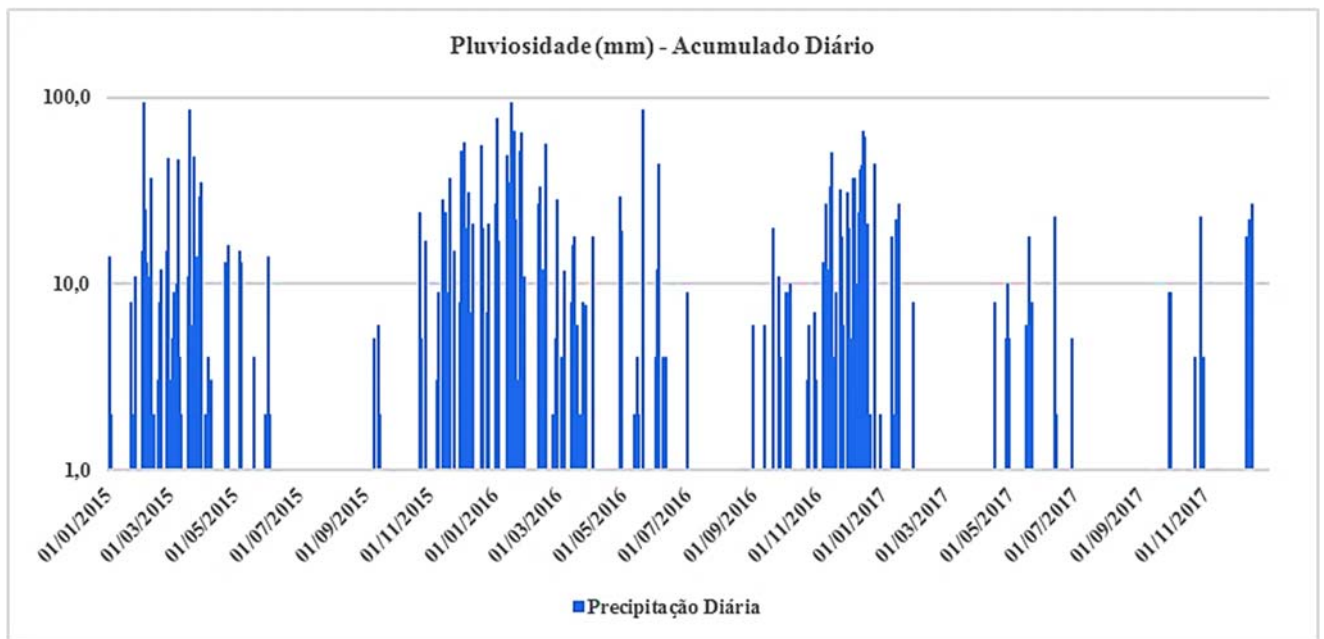
5.1.6.2.1.2 Pós evento – Emergencial

Dentro da área dos trechos deste PMR estão localizados pontos de monitoramento de turbidez que a SAMARCO acompanhou como medida emergencial logo após o rompimento da barragem de Fundão. Os pontos estão localizados no vertedouro da barragem de Santarém (TUR-80), jusante do dique S2 (TUR-11), montante do dique S3 (TUR-60) e jusante do dique S3 (TUR-77). Além disso, a SAMARCO detém 5 estações meteorológicas que fazem medição da precipitação acumulada diária, sendo uma estação (denominada de EM_G_WH05)

localizada dentro da área do Trecho 1 deste PMR. A Figura 20, apresentou a localização destes pontos.

A Figura 25 refere-se aos registros de precipitação diária da estação de monitoramento avaliada de 2015 a 2017. Em linhas gerais, nestes anos verificou-se que os meses de novembro a fevereiro foram os mais chuvosos, atingindo aproximadamente 100 mm acumulados em um dia; em contrapartida os meses mais secos foram meados de julho, agosto e setembro.

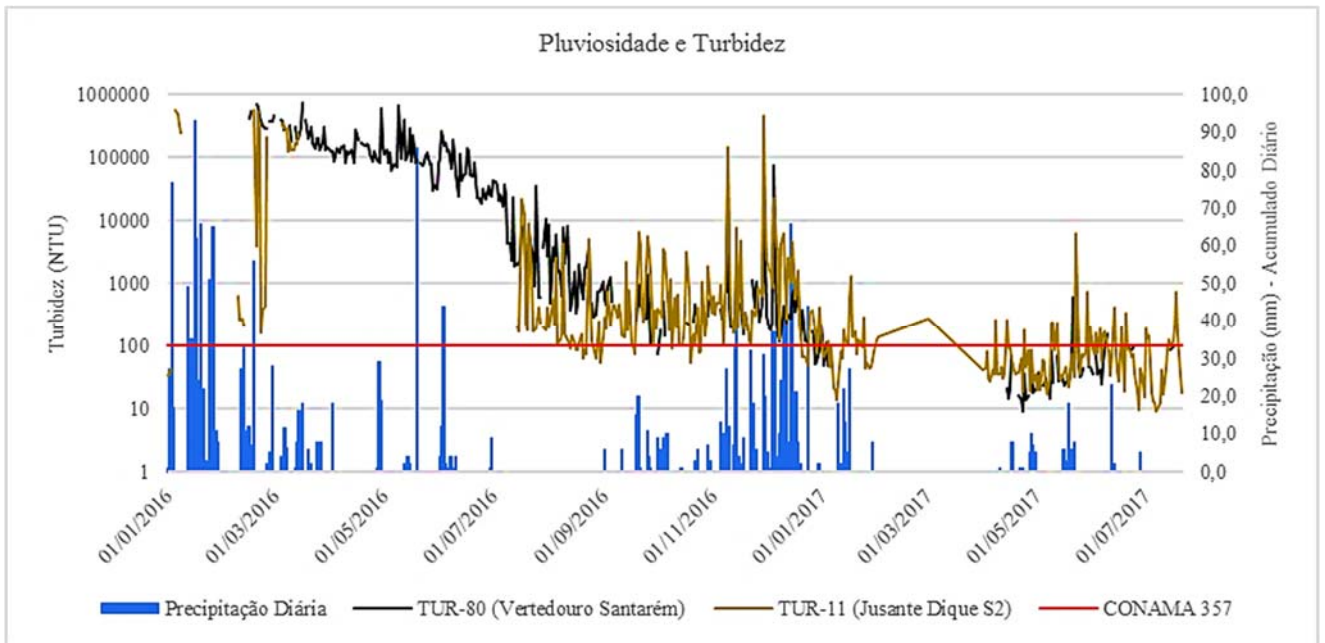
Figura 25 – Pluviosidade no Trecho 1



Fonte: Samarco, 2017

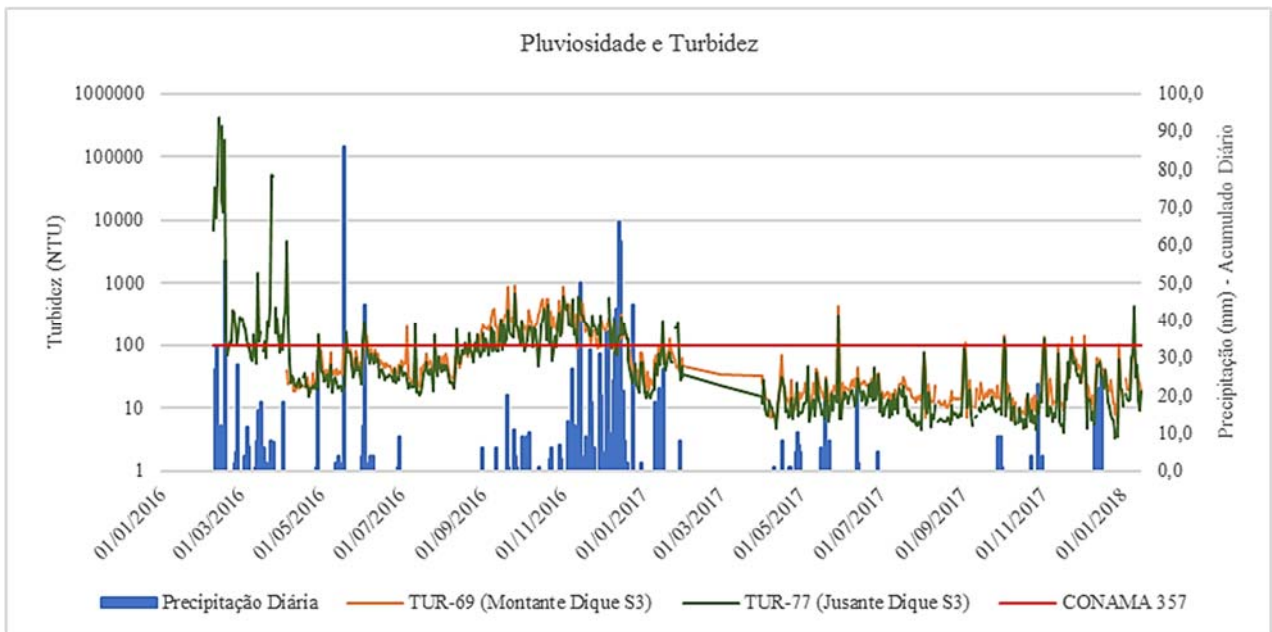
Nas figuras a seguir são apresentados os valores de precipitação na área cruzados com a turbidez registrada de janeiro/2016 a julho/2017 nos dois pontos de monitoramento da turbidez a montante (vertedouro Santarém e Jusante do dique S2, na Figura 26) e com os dois pontos a jusante (montante e jusante do dique S3, na Figura 27).

Figura 26 – Pluviosidade e Turbidez (TUR-80 e TUR-11)



Fonte: Fundação Renova, 2017

Figura 27 – Pluviosidade e Turbidez (TUR-69 e TUR-77)



Fonte: Fundação Renova, 2017

Nota: Os valores de turbidez dos pontos a montante e jusante do dique S3 foram extraídos de dois bancos de dados fornecidos pela Fundação Renova (“BDGERAL_TurbidezSST” e “Turbidez diques S3 e S4 Total”)

O ponto TUR-80 está no vertedouro da barragem de Santarém, sendo o ponto de monitoramento de turbidez localizado mais próximo à barragem de Fundão e, portanto, foi o que registrou maiores valores de turbidez até meados de setembro/2016. Neste ponto, observa-se que no primeiro semestre de 2016 a turbidez estava em ordem de grandeza aproximadamente 100 vezes maior que o segundo semestre do mesmo ano, sendo que ao longo do ano foram registradas concentrações acima do limite permitido pela Resolução CONAMA 357 (100 NTU), com exceção do mês de outubro. Cabe destacar que, de acordo com o cronograma de execução das barragens e diques da Samarco disponibilizado no relatório Diagnóstico Atual do Transporte de Material Defluente do Vale da barragem do Fundão (POTAMOS, 2017), o reforço da barragem de Santarém e a construção da Nova Santarém foi realizado durante todo o ano de 2016, o que pode ter influenciado nos valores de turbidez deste ano, além do evento do rompimento da barragem de Fundão em si.

No seguinte ano, em 2017, a turbidez reduziu significativamente para concentrações aceitáveis, com ressalva em maio/junho, quando houve um pico maior que 1.000 NTU.

O próximo ponto a jusante do TUR-80 é o ponto localizado a jusante do dique S2 (TUR-11), onde foram registrados valores acima de 500.000 NTU meados de março de 2016. O gráfico informa que por volta de agosto do mesmo ano, a turbidez reduziu significativamente para 10.000 NTU, o que pode ser associado à construção do Dique S2 o qual foi concluído no início de 2016 com o intuito de conter sedimentos. No final de 2016 (por volta de novembro e dezembro) houve um aumento na pluviosidade assim como na turbidez de ambos os pontos da **Figura 27**, atingindo pico maior que 100.000 NTU. No início de 2017 a pluviosidade e a turbidez diminuíram novamente atingindo valores menores que 100 NTU.

Com relação aos dois outros pontos na área do dique S3 (TUR-69 e TUR-77) - Figura 27, o gráfico indicou uma redução significativa nas concentrações em comparação com o ponto mais a montante (TUR-11). No final de 2016 (setembro a dezembro) os valores de ambos os pontos do dique S3 ainda estavam acima do limite permitido de 100 NTU, no entanto em 2017 verificou-se que a turbidez reduziu para menos do que isso, com ressalvas de alguns picos como por exemplo em junho deste ano e em janeiro de 2018. Esta redução significativa da turbidez está atrelada à construção do dique S3, uma estrutura mais robusta que o dique S2, e que foi finalizada no início de 2017. Desta forma, verifica-se que a estrutura de contenção contribuiu com a melhoria da qualidade da água, uma vez que a turbidez no dique S3 reduziu

para concentração permitida pela Resolução CONAMA 357. Ressalta-se que a amplitude entre as concentrações a montante e a jusante do dique S3 no período monitorado foram similares.

Além destes, a Fundação Renova possui um banco de dados histórico de monitoramento da qualidade da água que engloba todos os resultados analíticos desde o evento em 2015 até julho de 2017. Aqui foram avaliados os pontos dique S3 – Centro (RDC-123), dique S3 – Jusante (RDC-124), dique S3 – Lado Esquerdo (RDC-125) e Lado Direito (RDC-126). O **Anexo II** apresenta a tabela de resultados, os quais foram comparados com os valores da Resolução CONAMA 357/05 – Água Doce Classe II assim como a Deliberação COPAM 01/08 – Água Doce Classe II. As Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11 apresentam o recorte dos resultados cujos os valores estavam desconforme com as referências.

Os metais cádmio total, fósforo total e manganês total foram detectados em desconformidade legal em uma ou mais amostra em todos os pontos avaliados. Além desses, no RDC-123 também foi detectado DBO acima do limite permitido. No RDC-124 foram registradas concentrações de outros metais acima do permitido, tais como alumínio, níquel e zinco, além de sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e turbidez. Já no RDC-126, há registros de alumínio dissolvido, ferro dissolvido e DBO acima dos valores orientadores das referências adotadas.

Tabela 8 – Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 - Centro (RDC-123)

PONTO	DATA	CÁDMIO TOTAL (mg/L)	DBO (mgO2/L)	FÓSFORO TOTAL (mg/L)	MANGANÊS TOTAL (mg/L)
CONAMA 357/05 Água Doce- Classe II		0,001	5	0,1	0,1
COPAM 01/08- Água Doce - Classe II		0,001	-	-	0,1
RDC-123	02/09/2016	<0,0010	<3,00	0,382	0,316
RDC-123	28/09/2016	<0,0010	<3,00	0,483	0,276
RDC-123	23/11/2016	0,0025	<3,00	<0,010	0,27
RDC-123	09/02/2017	0,0012	<3,00	0,033	0,049
RDC-123	09/02/2017	0,002	<3,00	0,026	0,061
RDC-123	27/04/2017	0,002	<3,00	<0,010	0,045
RDC-123	23/05/2017	-	9	<0,010	0,044
RDC-123	23/05/2017	-	6	<0,010	0,043

Nota e Legenda: Resultados analíticos que superaram os valores orientadores de qualidade de água superficial

- Resultado analítico superior ao valor orientador da Resolução CONAMA 357/05 – Água Doce, Classe II
- Resultado analítico superior ao valor orientador Deliberação COPAM 01/08 – Água Doce, Classe II
- (-) Não há valor orientador para o parâmetro ou não foi analisado

Tabela 9 - Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 - Jusante (RDC-124)

PONTO	DATA	ALUMÍNIO DISSOLVIDO (mg/L)	CÁDMIO TOTAL (mg/L)	FERRO DISSOLVIDO (mg/L)	FÓSFORO TOTAL (mg/L)	MANGANÊS TOTAL (mg/L)	NÍQUEL TOTAL (mg/L)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)	ZINCO TOTAL (mg/L)
CONAMA 357/05 Água Doce- Classe II		0,1	0,001	0,3	0,1	0,1	0,025	500	-	100	0,18
COPAM 01/08- Água Doce - Classe II		0,1	0,001	0,3	-	0,1	0,025	500	100	100	0,18
RDC-124	29/06/2016	0,069	<0,0010	0,559	<0,010	0,317	<0,010	81,2	10,8	-	0,112
RDC-124	13/07/2016	<0,010	<0,0010	0,067	<0,010	0,172	<0,010	109,8	<10,0	-	0,012
RDC-124	27/07/2016	0,033	<0,0010	0,13	0,388	0,211	<0,010	70,6	59,4	-	0,103
RDC-124	10/08/2016	<0,010	<0,0010	0,079	<0,010	0,161	<0,010	95,9	50,1	-	<0,010
RDC-124	24/08/2016	<0,010	<0,0010	0,058	<0,010	0,142	<0,010	102,4	17,6	-	0,109
RDC-124	08/09/2016	0,031	<0,0010	0,055	<0,010	0,234	<0,010	55,8	10,2	-	0,026
RDC-124	21/09/2016	0,034	<0,0010	0,03	<0,010	0,231	<0,010	42	32	-	0,237
RDC-124	28/09/2016	0,144	<0,0010	0,747	0,597	0,257	<0,010	109,4	16,6	-	0,011
RDC-124	05/10/2016	0,015	<0,0010	0,069	0,018	0,258	<0,010	<10,0	<10,0	-	<0,010
RDC-124	19/10/2016	<0,010	<0,0010	0,099	<0,010	0,14	<0,010	25,4	12,6	-	0,093
RDC-124	01/11/2016	0,021	<0,0010	0,033	<0,010	0,259	<0,010	53	65	-	0,106
RDC-124	16/11/2016	0,011	<0,0010	0,085	0,069	0,296	<0,010	44,2	59,8	-	0,037
RDC-124	23/11/2016	0,078	0,0021	0,206	<0,010	0,341	<0,010	98,4	20,4	-	0,07
RDC-124	30/11/2016	0,04	<0,0010	0,126	0,25	0,669	<0,010	31,5	210,5	-	0,045
RDC-124	06/12/2016	0,016	0,0026	0,031	<0,010	0,162	<0,010	97	77	-	0,076
RDC-124	16/12/2016	0,021	0,005	0,075	0,018	0,149	<0,010	61,8	20,2	-	0,049
RDC-124	22/12/2016	0,061	0,002	0,137	0,014	0,059	<0,010	24	26	-	0,089
RDC-124	04/01/2017	0,049	0,0016	0,265	0,017	0,028	<0,010	15,1	108,9	-	0,028
RDC-124	11/01/2017	0,216	<0,0010	0,027	<0,010	0,109	<0,010	52,7	21,3	106	0,101
RDC-124	19/01/2017	0,037	0,0015	0,219	<0,010	0,052	<0,010	67,3	<10,0	76	0,01

PONTO	DATA	ALUMÍNIO DISSOLVIDO (mg/L)	CÁDMIO TOTAL (mg/L)	FERRO DISSOLVIDO (mg/L)	FÓSFORO TOTAL (mg/L)	MANGANÊS TOTAL (mg/L)	NÍQUEL TOTAL (mg/L)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)	ZINCO TOTAL (mg/L)
RDC-124	27/01/2017	0,017	0,0026	0,093	0,057	0,143	<0,010	67	67	231	0,024
RDC-124	20/02/2017	0,061	0,0025	0,104	0,038	0,056	0,039	102	18	18,3	<0,010
RDC-124	19/04/2017	0,012	0,0032	<0,010	<0,010	0,046	<0,010	40	12	7,4	<0,010
RDC-124	28/06/2017	0,011	<0,0010	0,015	0,033	0,05	<0,010	580	<10,0	5,25	0,347
RDC-124	29/06/2016	0,069	<0,0010	0,559	<0,010	0,317	<0,010	81,2	10,8	-	0,112
RDC-124	13/07/2016	<0,010	<0,0010	0,067	<0,010	0,172	<0,010	109,8	<10,0	-	0,012
RDC-124	27/07/2016	0,033	<0,0010	0,13	0,388	0,211	<0,010	70,6	59,4	-	0,103
RDC-124	10/08/2016	<0,010	<0,0010	0,079	<0,010	0,161	<0,010	95,9	50,1	-	<0,010

Nota e Legenda: Resultados analíticos que superaram os valores orientadores de qualidade de água superficial

Resultado analítico superior ao valor orientador da Resolução CONAMA 357/05 – Água Doce, Classe II

Resultado analítico superior ao valor orientador da COPAM 01/08- Água Doce - Classe II

(-) Não há valor orientador para o parâmetro ou não foi analisado

Tabela 10 - Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 – Lado Esquerdo (RDC-125)

PONTO	DATA	CÁDMIO TOTAL (mg/L)	FÓSFORO TOTAL (mg/L)	MANGANÊS TOTAL (mg/L)
CONAMA 357/05 Água Doce- Classe II		0,001	0,1	0,1
COPAM 01/08- Água Doce - Classe II		0,001	-	0,1
RDC-125	02/09/2016	<0,0010	0,52	0,538
RDC-125	28/09/2016	<0,0010	0,322	0,284
RDC-125	23/11/2016	0,0025	<0,010	0,224
RDC-125	09/02/2017	0,0041	0,021	0,047

Nota e Legenda: Resultados analíticos que superaram os valores orientadores de qualidade de água superficial

Resultado analítico superior ao valor orientador da Resolução CONAMA 357/05 – Água Doce, Classe II


Resultado analítico superior ao valor orientador da COPAM 01/08- Água Doce - Classe II


(-) Não há valor orientador para o parâmetro ou não foi analisado

Tabela 11 - Resultados analíticos de amostragem no Dique S3 – Lado Direito (RDC-126)

PONTO	CONAMA 357/05 ÁGUA DOCE- CLASSE II	COPAM 01/08- ÁGUA DOCE - CLASSE II	RDC-126 02/09/2016	RDC-126 28/09/2016	RDC-126 23/11/2016	RDC-126 09/02/2017	RDC-126 27/04/2017	RDC-126 23/05/2017
Data								
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,1	0,1	0,034	0,022	0,092	0,015	0,014	0,017
Cádmio total (mg/L)	0,001	0,001	<0,0010	<0,0010	0,002	0,0035	0,002	-
DBO (mgO2/L)	5	-	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	6
Ferro dissolvido (mg/L)	0,3	0,3	0,087	0,079	0,074	0,035	0,039	0,212
Fósforo total (mg/L)	0,1	-	0,631	0,696	<0,010	0,015	<0,010	<0,010
Manganês total (mg/L)	0,1	0,1	0,136	0,114	0,266	0,029	0,04	0,051

Nota e Legenda: Resultados analíticos que superaram os valores orientadores de qualidade de água superficial

 Resultado analítico superior ao valor orientador da Resolução CONAMA 357/05 – Água Doce, Classe II

 Resultado analítico superior ao valor orientador da COPAM 01/08- Água Doce - Classe II

(-) Não há valor orientador para o parâmetro ou não foi analisado

5.1.6.2.1.3 Pós-Evento - PMQQVAI

O ponto ITS 01 monitora o primeiro tributário após a barragem de Santarém e está localizado fora do canal que alimenta o reservatório do dique S3. De acordo com o banco de dados fornecido do PMQQVAI, este estava seco no período de outubro a fim de novembro de 2017.

Os pontos ITS 02 a ITS 09 estão localizados em tributários do córrego Santarém (Córrego do Fraga, Córrego Mirandinha e afluente do Córrego Santarém) e foram monitorados com frequência semanal os seguintes parâmetros: sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos totais e turbidez.

A Tabela 12 apresenta os resultados disponíveis até o momento de elaboração deste PMR. Ressalta-se que nestes pontos não são monitorados metais dissolvidos e totais, de acordo com o PMQQVAI.



Tabela 12 – Resultados analíticos de qualidade de água - PMQQVAI

PONTO	DATA	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)
Resolução CONAMA 357 – Classe 2 Águas Doces		500	-	-	100
COPAM 01/08- Água Doce - Classe II		500	100	-	100
ITS 02	27/10/2017 13:43	<5	<5	<5	0,89
ITS 02	30/10/2017 15:48	6	<5	7	<0,1
ITS 02	06/11/2017 09:26	<5	<5	<5	23,3
ITS 02	20/11/2017 09:58	32	<5	32	4,13
ITS 02	27/11/2017 09:36	10	<5	13	1,98
ITS 02	04/12/2017 09:54	32	<5	35	11,3
ITS 02	12/12/2017 14:54	56	<5	59	3,37
ITS 02	18/12/2017 14:28	11	<5	12	4,05
ITS 02	26/12/2017 10:13	28	<5	30	8,64
ITS 03	22/10/2017 10:59	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 03	06/11/2017 10:17	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 03	13/11/2017 12:58	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco
ITS 03	20/11/2017 16:06	42	<5	45	12,7
ITS 03	27/11/2017 12:58	24	<5	29	315
ITS 03	04/12/2017 10:31	30	46	80	86,8
ITS 03	12/12/2017 16:09	48	<5	51	1,24
ITS 03	18/12/2017 15:43	32	<5	33	1,27

PONTO	DATA	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)
ITS 03	27/12/2017 10:59	24	<5	31	1,06
ITS 04	27/10/2017 13:23	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 04	06/11/2017 09:05	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 04	14/11/2017 14:44	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco
ITS 04	20/11/2017 09:35	32	<5	32	1,22
ITS 04	27/11/2017 09:15	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 04	04/12/2017 09:36	21	<5	25	1,13
ITS 04	12/12/2017 14:41	34	<5	35	0,74
ITS 04	18/12/2017 14:12	13	<5	13	5,28
ITS 05	23/10/2017 11:38	69	<5	70	2,73
ITS 05	30/10/2017 17:02	24	<5	25	3,77
ITS 05	06/11/2017 10:26	41	<5	43	10,9
ITS 05	20/11/2017 16:19	31	<5	33	10,1
ITS 05	27/11/2017 13:07	24	<5	25	3,55
ITS 05	04/12/2017 15:41	29	<5	31	17,5
ITS 05	12/12/2017 16:19	39	<5	41	4,09
ITS 05	18/12/2017 16:03	23	<5	27	3,06
ITS 05	27/12/2017 10:45	26	18	48	3,61
ITS 06	23/10/2017 12:34	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco
ITS 06	01/11/2017 11:07	46	<5	46	6,98
ITS 06	06/11/2017 10:41	23	42	67	56,8
ITS 06	21/11/2017 09:10	46	19	67	24
ITS 06	28/11/2017 08:52	45	8	52	23,8
ITS 06	04/12/2017 14:46	108	20	132	91,9
ITS 06	11/12/2017 11:18	29	23	53	23,8
ITS 06	19/12/2017 11:25	44	54	104	42,8
ITS 06	27/12/2017 10:31	36	<5	38	2,82
ITS 07	23/10/2017 12:04	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco
ITS 07	01/11/2017 11:17	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 07	06/11/2017 10:49	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 07	13/11/2017 12:12	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco
ITS 07	21/11/2017 08:38	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 07	04/12/2017 15:06	46	43	91	223
ITS 08	23/10/2017 14:50	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco
ITS 08	01/11/2017 11:26	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 08	06/11/2017 11:00	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 08	13/11/2017 11:57	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco	Ponto seco
ITS 08	21/11/2017 09:37	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 08	04/12/2017 15:26	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 09	26/10/2017 16:12	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 09	03/11/2017 09:06	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco	PontoSeco
ITS 09	06/11/2017 11:27	42	90	135	113
ITS 09	21/11/2017 10:07	39	252	293	207

PONTO	DATA	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)
ITS 09	28/11/2017 09:33	23	<5	23	4,84
ITS 09	13/12/2017 15:15	21	62	88	68,7
ITS 09	19/12/2017 10:49	20	<5	25	4,19

Legenda:

	Resultado analítico superior ao valor orientador da Resolução CONAMA 357/05 – Água Doce, Classe II
	Resultado analítico superior ao valor orientador da COPAM 01/08- Água Doce - Classe II
(-)	Não há valor orientador para o parâmetro ou não foi analisado

De acordo com os resultados da qualidade de água da última semana de outubro até a última semana de dezembro/2017, os pontos ITS 07 e ITS 08 estavam secos, à exceção de dezembro/2017, quando o ITS 07 apresentou lâmina d'água.

No período avaliado, foram registradas 3 leituras em novembro em desconformidade com a Resolução CONAMA 357 (Classe II – Água Doce), uma no ITS 03 e duas no ITS 09; e uma em dezembro, no ITS 07. As outras medições não superaram o permitido e, com exceção do ITS 02 e ITS 05, os pontos estavam secos ao menos em uma medição.

5.1.6.2.2 *Qualidade da Água Subterrânea*

A rede de monitoramento de água subterrânea do EIA (AMPLO, 2017) avaliado não abrange a área dos Trechos 1 ao 4.

5.1.6.3 *Aspectos Biológicos*

Para a caracterização da biodiversidade dos Trechos 1 ao 4, foram considerados os resultados do EIA Integrado do Complexo Germano elaborado pela AMPLO (2017), o qual apresenta dados das áreas dos trechos 1 ao 4 e entorno que estão inseridas pelas áreas de influência do estudo que são consideradas viáveis para a caracterização regional da biota dos trechos em estudo. Além disso, foram utilizados os resultados parciais do Programa de Conservação da Biodiversidade, que contempla o monitoramento periódico da fauna aquática, além do estudo fitossociológico da ECONSERVATION (2017), entre outras referências bibliográficas pertinentes para este estudo.

A biodiversidade está sendo monitorada no ambiente aquático e vegetação de toda a área afetada pelo evento e entorno. Nos ambientes aquáticos, há pontos de monitoramento de ictiofauna, carcinofauna, perifiton, plâncton, macroinvertebrados bentônicos, invertebrados aquáticos, análise física e química da água e sedimento, ensaios ecotoxicológicos e bioacumulação. Os resultados dessas análises são importantes para a análise a compreensão dos aspectos biológicos antes e pós evento para o processo de tomada de decisão.

5.1.6.3.1 Cobertura Vegetal

A área de estudo está localizada em zona de transição dos domínios de Mata Atlântica e Cerrado, composto por diversas fitofisionomias, tais como campo limpo, campo-cerrado, cerrado, floresta estacional semidecidual e campo rupestre (AMPLO, 2017), embora oficialmente estes trechos estejam inseridos integralmente no Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2008).

As áreas dos ecossistemas que foram fortemente afetadas pela deposição de rejeitos, devido ao rompimento da barragem de Fundão, estão mais concentradas nos trechos iniciais (Trechos 1 ao 4) até a barragem de Candonga.

Antes do rompimento da barragem, o uso do solo nos Trechos 1 ao 4 eram referentes às áreas da planta de mineração, pastagens, solo exposto e remanescentes de vegetação, de acordo com mapeamento de uso do solo prévio ao evento. A área impactada pela deposição do rejeito nos Trechos 1 ao 4 afetou uma área, aproximada, de 114,85 hectares (ha) de fragmentos remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual (FES), de acordo com mapeamento de uso do solo prévio e pós evento (datado de 2017), fornecidos pela Fundação Renova. A Tabela 13 apresenta a quantificação das áreas de cobertura vegetal antes e depois do evento do rompimento da barragem. A cobertura vegetal antes e depois do evento podem ser visualizadas nas figuras anteriormente apresentadas (Figura 14, Figura 15 e Figura 16).

Tabela 13 - Quantificação da cobertura vegetal na área impactada antes e após o evento

COBERTURA VEGETAL NA ÁREA IMPACTADA					
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Total
Pré- evento *	44,3	44,3	28,7	62,4	179,7
2017**	11,41	26,5	4,9	22,02	64,83
					114,87

Fonte: os cálculos de cobertura vegetal foram baseada no levantamento de uso do solo elaborado pela COFFEY (*) e pelo Zoneamento Ambiental Produtivo - ZAP (**), fornecidos pela Fundação Renova.

Os resultados do Levantamento Fitossociológico realizado pela ECONSERVATION (2017a), no contexto do Programa de Monitoramento de Biodiversidade (PG25), nos pontos amostrais nos Trechos 1 ao 4, identificaram formações florestais com vegetação secundária em estágio inicial de regeneração, áreas de revegetação (herbáceas) e regeneração natural. Não foram amostrados fragmentos em estágio médio.

Os fragmentos remanescentes de vegetação nativa inseridos no Trechos 1 ao 4, apresentam aspectos estruturais e de composição florística similar a de outros trechos de Floresta Estacional Semidecidual (FES) no estado de Minas Gerais. As famílias botânicas que apresentaram maior quantidade de espécies foram Fabaceae, Myrtaceae, Asteraceae, Poaceae, Rubiaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Annonaceae e Euphorbiaceae, Cyperaceae e Sapindaceae, famílias típicas em fragmentos nativos de FES. A participação das espécies de Poaceae estão particularmente associadas ao componente herbáceo das áreas amostradas (ECONSERVATION, 2007a).

De acordo com os resultados do Estudo Florístico (ECONSERVATION, 2017a), a vegetação em estágio inicial amostrada nas adjacências da área afetada apresenta fitofisionomia de porte baixo (médias ente 4 e 8 m) com estratificação pouco evidenciada e predomínio de espécies pioneiras com baixa amplitude diamétrica. Predomínio de baixa ocorrência de epifitismo e fina e esparsa camada de serapilheira, sendo que em alguns locais o solo é coberto por gramíneas exóticas oriundas de pastagens do entorno (ECONSERVATION, 2017a).

O levantamento em campo nos remanescentes amostrados, registrou no estrato arbóreo em floresta em estágio inicial as espécies *Tapirira guianensis*, *Guatteria villosissima*, *Xylopia sericea*, *Handroanthus chrysotrichus*, *Erythroxylum citrifolium*, *Aegiphila integrifolia*, *Ocotea pulchella*, *Byrsonima crassifolia*, *Tibouchina estrellensis*, *Myrcia amazonica*, *Myrcia multiflora*, *Coccoloba warmingi*, *Casearia arborea*, *Cupania racemosa* e *Cecropia pachystachya* (ECONSERVATION, 2017a).

Xylopia sericea, *Tapirira guianensis* e *Byrsonima crassifolia* estão dentre as espécies de maior Valor de Importância em amostragens do inventário florestal de Minas Gerais em remanescentes do vale do rio Doce em municípios do entorno da região do presente estudo, em ambientes em melhor estado de conservação (SOUZA *et al.* 2008, *apud* ECONSERVATION, 2017a)

No estrato arbustivo, destacam-se as espécies *Baccharis dracunculifolia*, *Eremanthus erythropappus*, *Miconia albicans*, *Psidium guineense*, *Faramea latifolia*, *Siparuna guianensis* e *Solanum swartzianum* (ECONSERVATION, 2017a).

No estrato herbáceo dos fragmentos em estágio inicial destaca-se a presença de *Cyperus haspan*, *Rhynchospora corymbosa*, *Trichantheicum cyanescens*, *Megathyrsus maximus* (colonião) e *Urochloa decumbens* (braquiária). Destas, as espécies *M. maximus* e *U. decumbens* são exóticas e consideradas plantas daninhas (LORENZI, 2008) e foram encontradas em pontos amostrais nas bordas de fragmentos. As espécies *Cupania vernalis* e *Dalbergia nigra* estão dentre as plantas com maior densidade analisadas em três áreas de mata ciliar do rio Gualaxo do Norte em Mariana, conforme indicam Gonçalves et al. (2011, *apud* ECONSERVATION, 2017a), embora estas não tenham sido registradas nos pontos amostrais inseridos nos trechos em estudo.

Os pontos amostrados nas adjacências da área impactada pelo rompimento da barragem, localizados em cotas mais elevadas que o nível máximo de inundação, a maioria não sofreu impacto direto do rejeito. Já naqueles pontos inundados pelo material, foram observados em vários trechos a ocorrência de sub-bosque e deposição de serapilheira, bem como o recobrimento do solo por herbáceas, indicando a continuidade dos processos naturais da dinâmica florestal nesses locais (ECONSERVATION, 2017).

A maior parte dos pontos amostrados apresentou elevado valor de cobertura vegetal (média de 70%), embora em alguns deles, como no caso do ponto amostral localizado no Trecho 2, o predomínio era de áreas sem cobertura vegetal. Já nos trechos apenas com regeneração natural, como no ponto amostral no Trecho 4, verificou-se um recobrimento vegetal com valores medianos, porém prevalecendo sobre o espaço sem vegetação.

Nos locais onde ocorreu revegetação, referente ao Ponto 1 do Estudo Florístico, conforme apresentado na Figura 20, suprailustrada, os resultados das amostragens, para todos os trechos, apresentam um número maior de espécies existentes com relação ao número de espécies plantadas, demonstrando regeneração natural destas áreas. Destas, destacam-se *Sida glaziovii*, *S. linifolia* e *Solanum americanum*, plantas perenes e de maior porte (subarbusto), bastante rústicas, e indicadas como daninhas (LORENZI, 2008), embora sua presença indique potencial de ocupação por espécies pioneiras (ECONSERVATION, 2017a).

As espécies registradas na revegetação nas margens dos cursos d'água foram as espécies exóticas *Rhaphanus sativus*, *Crotalaria incana*, *Lolium multiflorum* e *Sorghum bicolor*, que apresentam grande recobrimento do solo, algumas daninhas e com comportamento invasor.

Nos pontos de amostragem nas áreas de regeneração natural no Trecho 4 (ponto 2/2a da Figura 20) às margens dos cursos d'água da área afetada, indicaram uma riqueza de seis espécies (três nativas e três exóticas) pertencentes duas famílias (Cyperaceae e Poaceae), sendo todas herbáceas, e plantas daninhas, que são: *Cyperus lanceolatus* (tiririca), *Cyperus luzulae* (tiririca), *Cyperus mundtii* (tiririca), *Lolium multiflorum* (azevem), *Setaria parviflora* (capim rabo de rato), *Urochloa decumbens* (braquiária) (ECONSERVATION, 2017). Espécies muito abundantes em pastagens, terrenos baldios e beira de estradas ou áreas úmidas, e que podem causar impactos sobre os sistemas naturais e a diversidade biológica.

Verifica-se que as espécies herbáceas e subarborescentes utilizadas na revegetação das margens dos cursos d'água apresentam um bom desenvolvimento no que tange à cobertura e proteção do solo, devendo ser mantidas em ações futuras dessa natureza.

Ainda, para o estabelecimento da correlação entre espécies e solo foram realizadas análises laboratoriais com relação à presença de macronutrientes e micronutrientes em tecidos vegetais e análises de solo no ponto de amostragem na área de regeneração natural do Trecho 4 (ponto 2/2 a). As análises físicas e químicas dos solos no referido ponto de coleta demonstrou que os solos em questão estão com baixo teor dos nutrientes analisados, especificamente para os macronutrientes P, K, Mg, Zn, Cu e B, e com níveis elevados dos micronutrientes Fe e Mn que, em excesso, são considerados tóxicos dependendo do pH do solo. As plantas pertencentes ao gênero *Hedychium* apresentaram deficiência nutricional, refletindo o estado destes solos. Não obstante, mesmo com os solos analisados apresentando uma deficiência de nutrientes, as plantas do gênero *Cyperus* e *Brachiaria* apresentaram nutrição adequada (ECONSERVATION, 2017).

5.1.6.3.1.1 Conectividade de habitats

A cobertura vegetal nos Trechos 1 ao 4 é composta por fragmentos de vegetação nativa contíguos, interceptados pelas por áreas da mineração, pastagens, silvicultura e solo exposto. As áreas impactadas extracalha pelo evento nestes trechos atingiram porções de vegetação nativa e pastagens.

Os impactos de supressão da vegetação nos fragmentos de vegetação nativa atingiram, para além das margens dos cursos d'água, parte das encostas dos vales encaixados ao longo dos cursos d'água nos Trechos 1 ao 4, sobretudo dos tributários, como o caso do Córrego Mirandinha. Embora a ação do evento e dos depósitos de rejeito tenha gerado a perda de cobertura vegetal na área impactada, não resultou em uma fragmentação significativa destas manchas de vegetação a ponto de gerar desconectividade entre os fragmentos remanescentes.

Vale ressaltar que os Trechos 1 ao 4 estão inseridos em Áreas Prioritárias para Conservação classificadas como de importância Extremamente Alta, de acordo com o mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira do Ministério do Meio Ambiente (2004).

Estes trechos não possuem lagoas marginais associadas ao curso d'água principal.

5.1.6.3.2 *Ecossistema aquático*

Para a caracterização da fauna aquática foram utilizados dados e resultados dos levantamentos de fauna aquática do EIA Integrado do Complexo Germano elaborado pela AMPLO (2017), em que foram compilados dados de diferentes fontes e pontos amostrais próximos dos trechos 1 ao 4, com dados referentes aos anos de 2008 a 2015, períodos anteriores a implantação da mineração e ao evento de rompimento da barragem.

Foram utilizados também dados e os resultados parciais do Ponto A01 do Programa de Monitoramento de Ictiofauna do Rio Doce nos MG e ES (ECONSERVATION, 2017b), elaborado em atendimento às exigências do IBAMA e ICMBio, que apresenta-se localizado na Figura 20, suprailustrada. Embora este ponto esteja inserido no Trecho 8, este é ponto a jusante mais próximo aos Trechos 1 ao 4, sendo representativo para os grupos da fauna aquática, considerando a mobilidade e a direção dos cursos d'água em estudo.

Também foram utilizados dados do estudo acústico de peixes e habitat aquático do rio Doce e tributários – maio de 2017 (*Acoustic fish and aquatic habitat survey of the rio Doce and tributaries – may 2017*) realizado pelas empresas Hydrobiology (Austrália) e Econservation (Brasil).

5.1.6.3.2.1 Ictiofauna

Estudos realizados nas sub-drenagens do alto Piracicaba, desde suas nascentes até o reservatório da UHE Sá Carvalho (rio Piracicaba), e no rio Gualaxo do Norte, registraram uma dominância de espécies nas ordens Characiformes e Siluriformes, padrão característico para rios da América do Sul (LOWE-MCCONNELL, 1975), conforme dados obtidos do EIA (AMPLO, 2017).

Para esta compilação de dados, o referido EIA utilizou entre publicações acadêmicas e estudos de avaliação de impacto ambientais, o resultado de 74 áreas amostrais, em diferentes períodos sazonais (seca/chuva), incluindo ambientes lênticos e lóticos. A lista dos estudos utilizados no EIA (AMPLO, 2017) resultou no registro de 40 espécies de peixes, que estão apresentadas no **Anexo III**.

De acordo com os dados do EIA (AMPLO, 2017), para o período levantado, predominam as espécies de pequeno a médio porte, que não representam maior interesse na pesca amadora. Entre as espécies nativas de maior porte estão presentes *Hoplias malabaricus* (traíra), *Hoplias intermedius* (trairão), *Rhamdia quelen* (bagre), *Leporinus copelandii* (piauvermelho), *Hypostomus affinis* (cascudo) e *Brycon opalinus* (pirapitinga). (AMPLO, 2017). O predomínio significativo de espécies de pequeno porte está relacionado com rede de drenagem de pequenas dimensões e localizados em áreas de gradiente altitudinal elevado.

Das espécies reconhecidas como ameaçadas de extinção na bacia do rio Doce, duas ocorrem na área considerada como Área de Influência Indireta do referido EIA: *Brycon opalinus* (pirapitinga) e *Pareiorhaphis scutula* (cascudinho). Na bacia do rio Doce, *Brycon opalinus* está distribuída limitada a poucas drenagens (VIEIRA, 2006), e *Pareiorhaphis scutula* apresenta distribuição restrita à bacia do rio Piracicaba. Ambas as espécies são encontradas em ambientes lóticos e com características ambientais mais conservadas.

Ocorrem também duas espécies endêmicas a *Australoheros ipatinguensis* (cará) e *Neoplecostomus doceensis* (cascudinho) da bacia do rio Doce, e duas do Piracicaba, *Pareiorhaphis scutula* e *Pareiorhaphis proskynita* (cascudinhos) (AMPLO, 2017).

Espécies exóticas foram registradas nestas drenagens, tais como, *Coptodon rendalli*, *Oreochromis niloticus*, *Metynnis maculatus*, *Cyprinus carpio*, *Clarias gariepinus*, *Colossoma macropomum* e *Poecilia reticulata* (AMPLO, 2017).

Peixes migradores obrigatórios (reprodução ou alimentação) estão presentes representados pelas espécies de maior porte, os já citados: *Leporinus copelandii* (piauí-vermelho) e a *Brycon opalinus* (pirapitinga). Além destas, foram registradas espécies reofílicas (dependentes do ambiente lótico para completar o ciclo de vida), uma característica comum a peixes que vivem em riachos nas partes mais altas das drenagens, representantes da família Loricariidae (*Neoplecostomus doceensis* e *Pareiorhaphis scutula*), Characidae (*Astyanax sp*) e a totalidade dos Trichomycteridae.

Estudos realizados após o evento do rompimento da barragem (Relatório de Avaliação dos Impactos da Ruptura da Barragem de Rejeitos de Fundão em Mariana da Fundação COPPETEC/RJ, 2016) demonstram diferenças na ictiofauna quando comparados com estudos pretéritos que englobaram amostragens de vários ciclos hidrológicos e áreas prioritárias para conservação, tais como a sub-bacia do rio Santo Antônio, cuja confluência no rio Doce está situada a cerca de 363 km de sua foz, junto à cidade de Naque, portanto, a mais de 450 km a jusante dos Trechos 1 ao 4.

Na mesma região foco do presente estudo, Santos et al. (2016) realizaram coletas entre os meses de março e abril de 2016 em diversos Pontos Amostrais ao longo do rio Doce e seus afluentes. Seus resultados, indicaram que a bacia do rio Doce se encontra bastante impactada pelas atividades antrópicas do entorno e pela descaracterização ocorrida pelo rompimento da barragem.

Corroboram com estes estudos, os resultados das campanhas maio a agosto de 2017 do Programa de Monitoramento de Ictiofauna do Rio Doce nos MG e ES, para o ponto amostral (A01) mais próximo a jusante dos Trechos 1 ao 4 (aproximadamente 8 Km), foi registrado apenas uma espécie, o *Astyanax bimaculatus*. Os resultados destas campanhas para todos os trechos amostrados (até Linhares) mostram que os pontos nos trechos mais afastados da

barragem apresentam maior riqueza de espécies de ictiofauna, que são equivalentes ao padrão de riqueza de espécies nos pontos em áreas não afetadas pelo rejeito (pontos controle) (ECONSERVATION, 2017b).

O estudo acústico de peixes e habitat aquático do rio Doce e tributários (HYDROBIOLOGY & ECONSERVATION, 2017), apresentou uma pesquisa sobre a distribuição da biomassa de peixes e a condição do habitat aquático em pontos afetados do rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce, e pontos de referência (não impactados) dos afluentes (rio Piranga, rio Piracicaba, rio Santo Antônio e rio Gualaxo do Sul). Embora o estudo não apresente pontos amostrais inseridos especificamente nos Trechos 1 ao 4, o estudo mostra que a densidade da biomassa de ictiofauna é menor em alguns pontos impactados do que nos pontos não impactados pelo rejeito (pontos controle). Foi registrada a presença de estruturas organizadas de peixes relacionadas à reprodução (ninhos), indicando o retorno de processos de reprodução deste grupo em pontos amostrais nas áreas impactadas dos rios.

5.1.6.3.2.2 Comunidade bentônica

Estudos realizados na em cursos d'água a montante dos Trechos 1 ao 4 (rio Piracicaba, córrego Brumado, córrego Natividade) referente ao período de 2008 a 2012, resultaram numa listagem de invertebrados bentônicos predominantemente composta por insetos bentônicos, pertencentes às ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, as quais formam o grupo EPT, bioindicadores de boa qualidade da água, indicando ambientes aquáticos bem oxigenados, com baixa ou nenhuma poluição orgânica e com vegetação ciliar bem desenvolvida, que promove a diversidade de recursos alimentares e a heterogeneidade de habitat (AMPLO, 2017).

Após o evento de rompimento da barragem, os resultados das campanha mensais de maio a agosto de 2017 do Programa de Monitoramento de Ictiofauna do rio Doce nos MG e ES (ECONSERVATION, 2017b) para o ponto amostral (A01) a jusante mais próximo aos Trechos 1 ao 4 (Figura 20), as amostragens registram predomínio de artrópodes bentônicos da ordem Diptera (56), além de outras espécies das ordens Odonata (5), Coleptera (4), Ephemeroptera (3), Trichoptera (3), Heteroptera (2) e Megaloptera (1).

Em menor ocorrência também estão presentes espécies de moluscos bivalves (*Diplodon sp.*, *Corbicula sp.*, *Corbicula fluminea*) e gastrópodes (*Heleobia sp.*, *Melanoides tuberculata*,

Biomphalaria sp., *Potamalithus sp.*, *Pomacea sp.*, *Physa sp.*) e de anelídeos (*Laeonereis culveri*, *Branchiura sowerbyi*, *Dero sp.*, *Pristina sp.*).

A espécie exótica *M. tuberculatus* apresenta ampla ocorrência no Estado de Minas Gerais e em outros estados brasileiros, e não existem estudos que indiquem relação desta espécie com parasitoses humanas (AMPLO, 2017).

Como já mencionado, os macroinvertebrados bentônicos apresentam função de bioindicadores, sendo sensíveis às mudanças que se sucedem na estrutura das comunidades bentônicas que variam de organismos próprios de águas limpas a intolerantes a poluição. Os organismos bentônicos predominantes registrados nas amostragens citadas acima indicam águas com baixa qualidade ambiental.

A ordem Díptera agrupa moscas e mosquitos, sobretudo a família *Chironomidae*, mais predominante, e é representada por 40 espécies, muito resistentes à poluição. Os representantes da ordem Odonata habitam todos os tipos de ambientes de água doce, apresentando alta diversidade nos trópicos. São insetos predadores nas fases larval e adulta, sendo as larvas consideradas um dos principais predadores do ambiente aquático, onde elas podem estar associadas às plantas aquáticas ou ao fundo de corpos d'água, sendo importantes como bioindicadores de qualidade de água e águas represadas (FERREIRA-PERUQUETT & DE MARCO JR, 2002).

Foram registrados dípteros da família *Ceratopogonidae*, que ocorrem gêneros ectoparasitas de insetos maiores, enquanto outros são importantes polinizadores. O gênero *Culicoides* tem importância epidemiológica no território brasileiro, pois algumas espécies são vetores do vírus que causa a febre oropouche e de helmintos do gênero *Mansonella* (AMPLO, 2017).

Além disso, com relação à riqueza de espécies da comunidade bentônica, é importante ressaltar que a modificação do habitat também pode alterar a densidade dos predadores de larvas e indivíduos adultos, como alguns peixes, e também o uso que eles fazem do ambiente que ocupam, conseqüentemente alterando as taxas de alimentação e desenvolvimento destas espécies. Dessa forma, estas modificações, alteram a riqueza em espécies de muitos predadores, o que pode ser fator determinante em alguns processos, como fluxo de energia, o que afetaria a estrutura das teias dos ecossistemas aquáticos.

5.1.6.3.2.3 Fitoplâncton

Estudos realizados em cursos d'água a montante dos Trechos 1 ao 4 (rio Piracicaba, córrego Brumado, córrego Natividade), referente ao período de 2008 a 2012, identificaram 237 táxons de algas, pertencentes a 10 Classes: *Zygnemaphyceae* (89 táxons); *Bacillariophyceae* (73); *Cyanophyceae* (36); *Chlorophyceae* (23); *Euglenophyceae* (6); *Dinophyceae* (4); *Chrysophyceae* (3); *Cryptophyceae* (1); *Oedogoniophyceae* (1) e *Rhodophyceae* (1) (AMPLO, 2017).

As classes *Zygnemaphyceae* (desmídias) e *Bacillariophyceae* (diatomáceas) contribuíram com o maior número de espécies identificadas, grupos que contemplam a maior riqueza entre as algas de águas continentais no Brasil (MENEZES et al., 2015), o que naturalmente reflete o resultado encontrado na referida área (AMPLO, 2017).

De acordo com as informações do EIA (AMPLO, 2017), as classes registradas que predominam nas sub-bacias em questão, *Zygnematophyceae* habitam ambientes ácidos e oligotróficos (ESTEVES, 1998, apud AMPLO, 2017) e a maioria das espécies está limitada a baixas concentrações de cálcio e magnésio, e as diatomáceas (*Bacillariophyceae*), um dos grupos mais importantes de algas do fitoplâncton, devido à sua morfologia, a maioria das espécies é sésil e associada a substratos litorais (perifíticas) (WETZEL, 2001, apud AMPLO, 2017).

Foi detectada a presença de alguns gêneros ou espécies de cianobactérias produtoras de toxinas em águas brasileiras, no entanto em densidades inferiores ao limite máximo previsto pela legislação brasileira, sendo importante o monitoramento do aumento dos aportes de nitrogênio e, principalmente, de fósforo neste ambiente (AMPLO, 2017).

Nos resultados das campanhas mensais de maio a agosto de 2017, foram levantados 24 táxons de fitoplâncton, referente ao ponto A01, ponto mais próximo a jusante dos Trechos 1 ao 4 (Figura 20), pertencentes às classes: *Bacillariophyceae* (diatomáceas) (11), *Zygnematophyceae* (6), *Cyanophyceae* (clorofila a) (3), *Rhodophyceae* (pigmentos roxo e azuis) (1), *Chlorophyceae* (algas verdes) (1), *Coscinodiscophyceae* (10) e *Trebouxiophyceae* (1).

Embora estes resultados sejam extraídos apenas de um ponto amostral, podendo refletir em um resultado subestimado da riqueza destes táxons nestes trechos, é possível notar que se mantem o predomínio de ocorrência de táxons das classes *Bacillariophyceae* e *Zygnematophyceae*, padrão comum em rios tropicais.

De acordo com o Estudo Acústico de Peixes e Habitat Aquático (HYDROBIOLOGY & ECONSERVATION, 2017) a zona fótica nos pontos amostrados nas áreas impactadas pelos depósitos de rejeito apresenta-se menor (0,5 – 1,8 m) do que nos pontos amostrados em áreas referência (não impactados) (0,25 – 2,00 m). Estes resultados mostraram que a turbidez da área impactada se apresenta um pouco maior que a turbidez causada por sólidos em suspensão naturais (áreas de referência).

A relação entre turbidez e profundidade fótica indica o limite de penetração de luz através da coluna de água, o que é um fator determinante para a capacidade do fitoplâncton, algas bentônicas e macrófitas para fotossintetizar e, portanto, adicionar produção primária ao rio e promover um retorno as funções ecológicas dos corpos d'água.

5.1.6.3.2.4 Zooplâncton

Em estudos realizados em cursos d'água a montante dos Trechos 1 ao 4 (rio Piracicaba, córrego Brumado, córrego Natividade), referente ao período de 2008 a 2012, foram identificados 48 táxons zooplanctônicos, representantes de protozoários (23), rotíferos (21) e crustáceos (4). As análises da comunidade zooplanctônica indicaram o predomínio de rotíferos, seguidos de protozoários, conforme reportado para outros ambientes de águas doces tropicais. A predominância de ambientes lóticos na área do Complexo Germano favoreceu espécies associadas à vegetação litoral, de tamanho menor e de curto ciclo de vida, como tecamebas e cladóceros, além dos rotíferos (AMPLO, 2017).

Dentre os crustáceos presentes, os cladóceros foram predominantes, principalmente aqueles pertencentes à família *Chydoridae*. Foi identificado o gênero *Notodiptomus*, que possui espécies endêmicas do Brasil (IUCN, 2017). Não foram registradas espécies exóticas ou invasoras (AMPLO, 2017).

Nos resultados das campanhas mensais de maio a agosto de 2017, foram levantados 18 táxons de zooplânctons, referente ao ponto A01, ponto mais próximo a jusante dos Trechos 1

ao 4 (Figura 20), representados por espécies de protozoários (6), rotíferos (5) e algas chromistas (5).

Os zooplânctons apresentam resposta rápida a alterações ambientais, funcionando como bioindicador para avaliação da qualidade da água. Estes organismos funcionam como condutores de fluxo energético entre os produtores primários e consumidores de níveis tróficos superiores, sendo importantes pela produtividade secundária e pelo transporte e regeneração de nutrientes, sendo fonte de alimentos para peixes e crustáceos.

5.1.6.3.2.5 Potencial ecotoxicológico

Para todos os trechos do rio Doce, área que não inclui os Trechos 1 ao 4, foi observado um incremento de toxicidade na avaliação na coluna d'água, utilizando a espécie *Ceriodaphnia dubia*, para os períodos imediatamente posteriores ao evento do rompimento da barragem. Foi observado um retorno ao patamar inicial (sem incremento de toxicidade) no terceiro mês após o evento, e um novo aumento após um mês, decorrente do aumento da pluviosidade e do aporte de novos rejeitos da barragem já rompida. Após este momento, observou-se a estabilização dos níveis de toxicidade aceitáveis (APLYSIA, 2017).

Foi observado que a toxicidade das amostras estava associada à presença de sólidos em suspensão, afetando esta espécie a longo prazo (ensaio crônico). Com relação à espacialização da magnitude dos efeitos, foi observada diferença significativa entre o alto e baixo curso do rio Doce, em que há uma diminuição gradativa da magnitude à medida em que vai se distanciando da origem do evento (Barragem de Fundão) (APLYSIA, 2017).

Testes também foram realizados para a espécie *Hyaella azteca*, mas não foi observada diferença dos níveis de toxicidade para os períodos de antes e depois do evento, apenas uma variação nos índices de mortalidade, que foi maior no primeiro mês após o evento (APLYSIA, 2017). Isto pode ser explicado pelo fato de que os sedimentos naturais têm a capacidade de armazenar contaminantes, de modo que os níveis de toxicidade já poderiam se apresentar altos antes do evento. Ainda, os sedimentos podem apresentar composições diferentes, implicando em uma resposta de ecotoxicidade diferente sobre os organismos.

Também não foi verificada correlação entre os resultados de ecotoxicologia com os parâmetros de qualidade de água (turbidez, sólidos em suspensão, ferro total e manganês). Isso

pode estar relacionado à influência de outros fatores ambientais. Porém, foi observada tendência de decréscimo na magnitude crônica de ecotoxicidade que acompanha uma melhoria na qualidade da água nos pontos na direção montante-jusante após o evento.

Embora estes dados não sejam relativos especificamente aos trechos em análise, é possível utilizar e extrapolar estes dados e comportamento da ecotoxicidade ao longo dos cursos d'água afetados pelo evento, considerando as semelhanças dos atributos ambientais, a fim de contribuir para a avaliação de impacto deste estudo.

5.1.7 Aspectos Socioeconômicos

O levantamento de informações de aspectos socioeconômicos está sendo realizado no âmbito do PG 17 – Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias. Em linhas gerais, a EMATER foi contratada para realizar e entregar três produtos, o Zoneamento Ambiental Produtivo – ZAP, o Indicador de Sustentabilidade de Agroecossistema (ISA) e o Plano Socioeconômico e Ambiental – PASEA.

O ZAP da sub-bacia do Gualaxo do Norte, que é um documento de caracterização da sub-bacia (unidades de paisagem, uso e ocupação do solo, etc.), já foi entregue e utilizado na presente caracterização dos Trechos 1 ao 4. O ISA e o PASEA são referentes ao estabelecimento rural, e ainda estão em fase de finalização.

Com relação à atividade econômica da região, a modo geral é importante comentar que o estado de Minas Gerais, e principalmente os municípios localizados em áreas do Quadrilátero Férreo (região geológica de 7.000 km², situada no centro-sudeste do estado de Minas Gerais), é conhecido pela sua tradição na atividade de extração mineral como ferro, manganês, pedras preciosas e ouro. A ocupação de Mariana teve seu início no século XVII, principalmente devido à atividade de exploração de pedras e minerais preciosos encontrados na época.

Já na região do rio Gualaxo de Norte, as atividades de extração de ouro são historicamente comuns na forma de garimpos. Desta maneira, diferentes técnicas, desde rudimentares até modernas, são geralmente utilizadas, sendo possível a utilização de mercúrio para a amalgamação de ouro. O estudo realizado por Rhodes em 2010, revela que em função das análises realizadas, mesmo que a atividade garimpeira tenha diminuído na região do rio

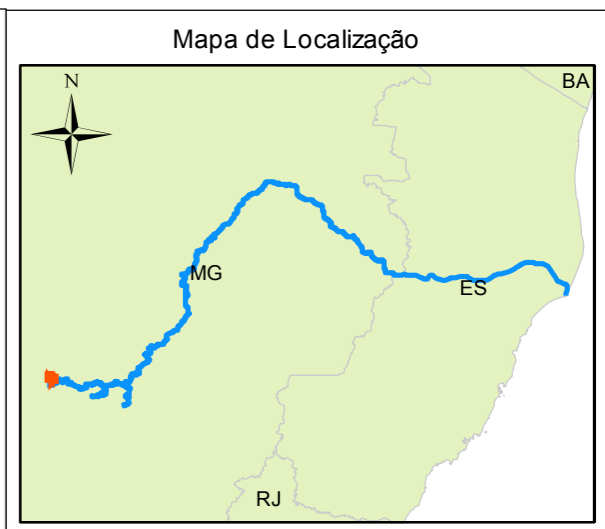
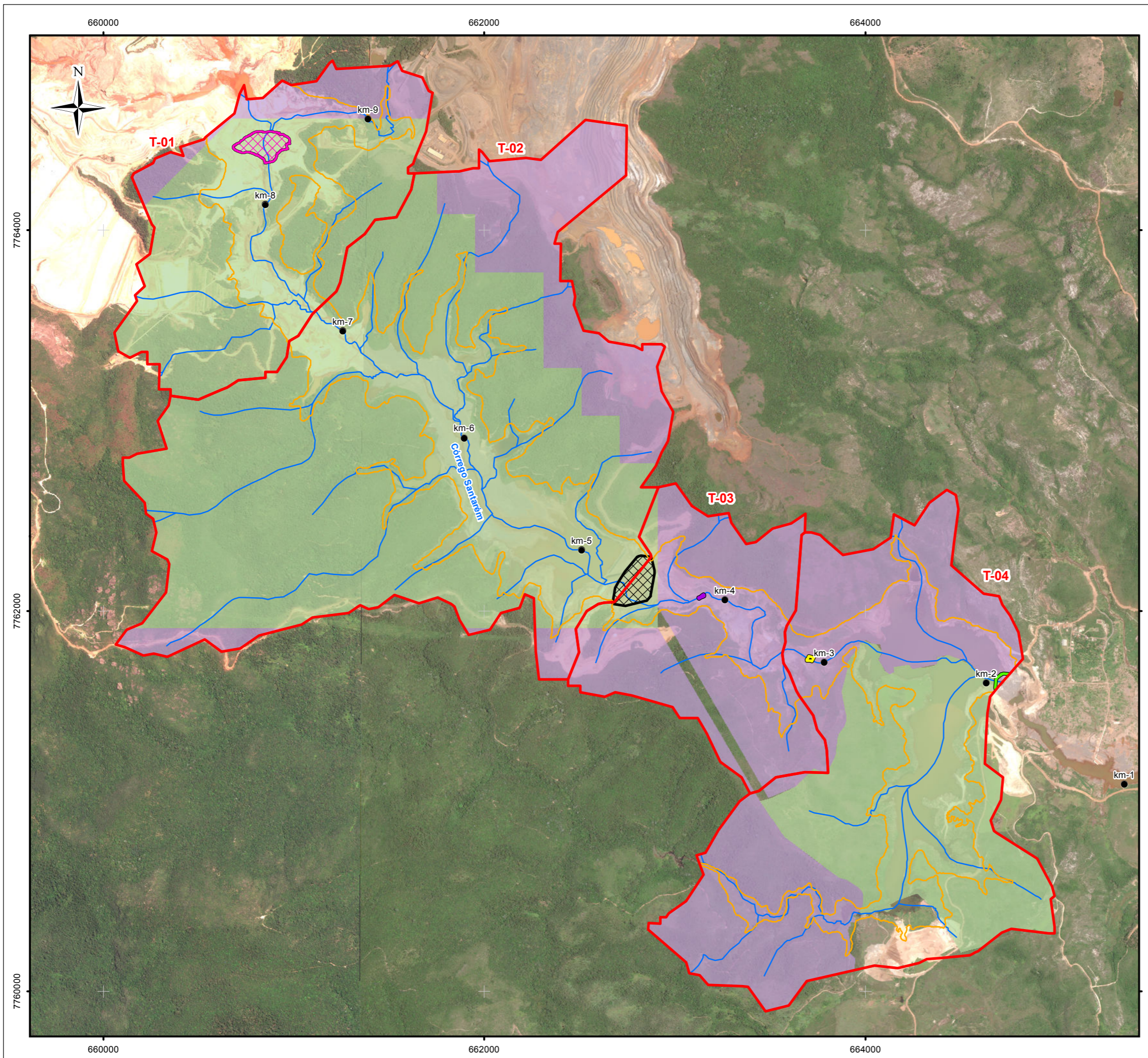
Gualaxo do Norte, as amostras de sedimento do rio ainda apresentam teores consideráveis de mercúrio e arsênio.

Além da atividade garimpeira, a partir do século XX a exploração do minério de ferro se torna um chamariz por empresas internacionais do segmento minerário, sendo esta a principal atividade econômica da região. As demais atividades econômicas da região perpassam por agricultura de subsistência, pecuária, silvicultura e turismo, dentre outras.

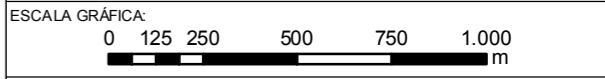
5.1.7.1 Proprietários

Na identificação das propriedades particulares existente ao longo do córrego Santarém, conforme dados disponibilizados pela Fundação Renova que foram identificados como “não concluídos”, os trechos 1 ao 4 encontram-se dentro dos limites das propriedades da Samarco Mineração S. A. e da Vale S. A., exceto por uma porção a Sul do trecho 4 que não apresentou proprietário, conforme a Figura 28.

Não foram identificados proprietários não empresariais, com atividades econômicas de pastagem ou agricultura, dentro da área afetada.



- LEGENDA:**
- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
 - Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
 - ▨ Eixo 1
 - ▨ Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3
- Proprietários***
- SAMARCO Mineração S.A.
 - VALE S.A.



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

*A delimitação das propriedades ainda esta em revisão segundo a Fundação Renova.

REFERÊNCIA:
Indicador de Sustentabilidade de Agroecossistema, 2017.
Digital Globe, 2017; Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017.
Propriedades, fornecido por Fundação Renova, 2017.



TÍTULO:
Figura 28
Mapa de Proprietários

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 28 - Proprietários - Trechos 1 a 4

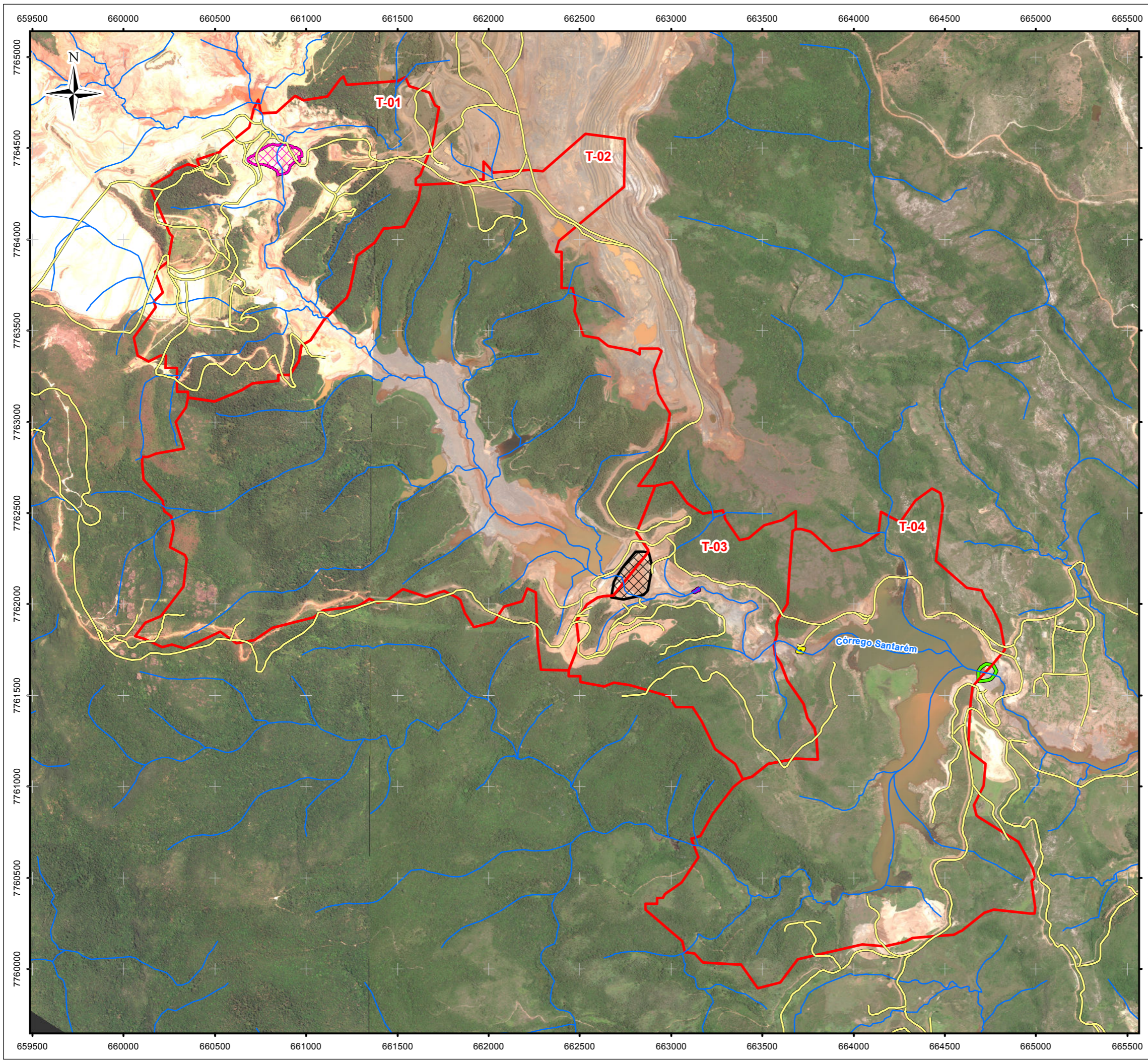
5.1.7.2 Acessos

Segundo o EIA (Amplo, 2017), para acessar o Complexo Germano, partindo de Belo Horizonte, têm-se as duas opções descritas abaixo:

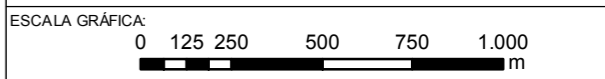
Para acessar a portaria do Complexo: pela BR-040 no sentido Rio de Janeiro até o trevo da Lagoa dos Ingleses. A partir daí, segue-se pela rodovia BR-356 até o município de Mariana, percorrendo-se 62,0 km até a área urbana da sede municipal. Passando-se pela área urbana, segue-se até o entroncamento com a rodovia MG-129 (Rodovia Mariana – SAMARCO Mineração S.A.), onde se toma o rumo norte percorrendo-se mais 30,0 km em direção ao município de Catas Altas, onde está localizada a portaria do Complexo Germano. Da portaria, as diversas instalações podem ser acessadas por estradas internas.

Para acessar as estações de bombas EB V e EBVII: pela BR 262, percorrendo-se cerca de 41 km até o trevo que segue para o Município de Matipó. Segue-se pela MG-129 por mais 3km até chegar na entrada à direita sentido para Padre Fialho. Nesta entrada encontra-se uma placa indicando “ Estação do Bombas – Samarco”. A partir deste ponto segue-se por uma estrada de asfalto por 6 km e converte à esquerda e tomando uma estrada de chão no sentido a Santa Margarida (neste local também existe uma placa indicativa), deste ponto em diante segue por mais 2,7 km até chegar na entrada da Estação de Bombas da empresa.

A Figura 29 apresenta o mapa de acessos dentro da área de abrangência dos Trechos 1 ao 4.



- LEGENDA:
- Curso d'água
 - Trechos 1 ao 4
 - Eixo 1
 - Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
 - Dique S2
 - Dique S3
 - Acesso



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Digital Globe, 2017.



TÍTULO:
Figura 29
Mapa de Acessos

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:20.881	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RU	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: RA0
---------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	--------------

Figura 29 - Mapa de Acessos

5.1.7.3 *Uso e ocupação do solo*

De acordo com o Zoneamento Ambiental Produtivo de 2017 da bacia do rio Gualaxo do Norte, os Trechos 1 ao 4 apresentam o uso e ocupação distribuído em:

Tabela 14 – Uso do Solo na área de abrangência dos Trechos 1 ao 4

CLASSIFICAÇÃO	TRECHO 1 (HA)	TRECHO 2 (HA)	TRECHO 3 (HA)	TRECHO 4 (HA)
Pastagem	7	-	-	17
Silvicultura	3	-	-	-
Mineração e indústria	73	121	34	48
Solo exposto	-	-	-	2
Vegetação	92	371	86	193
Afloramento rochoso	-	1	-	-

Fonte: extraído de EMATER (2017).

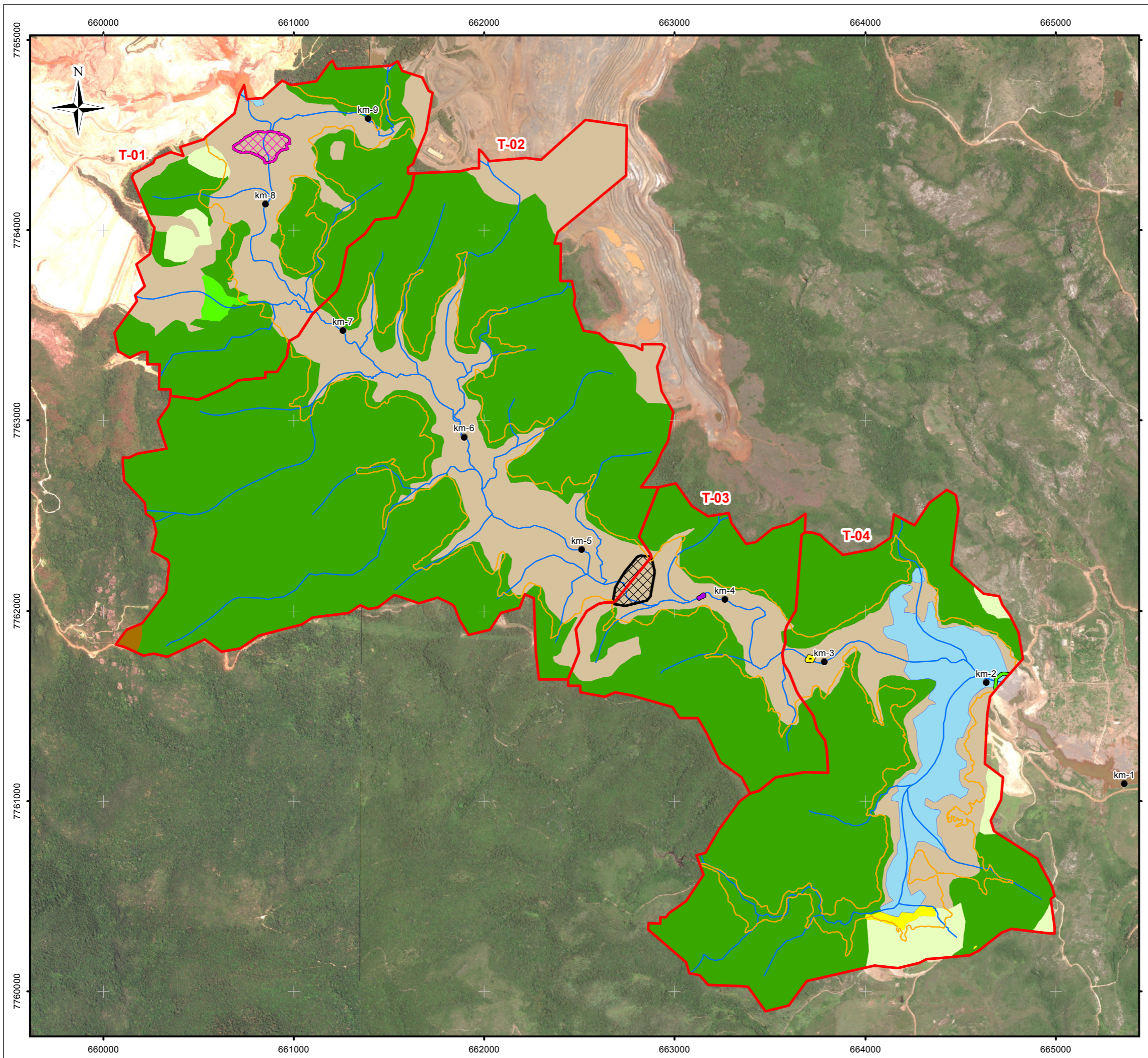
Ressalta-se que o ZAP enquadrou a área impactada pelo rejeito na classificação de Mineração e Indústria, uma vez que a área por onde o rejeito passou nos Trechos 1 ao 4 no momento do evento correspondem às áreas da SAMARCO utilizadas para contenção de rejeito da atividade minerária. Diante disso, a JACOBS CH2M realizou a delimitação da área impactada conforme a Seção 5.1.1, seguindo o mesmo procedimento utilizado nos demais trechos estudados nos Volumes 1 e 2 da Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos (JACOBS CH2M, 2018).

A Figura 30 apresenta o mapa de uso do solo dos Trechos 1 ao 4. O referido zoneamento apresenta o mapeamento das áreas conservadas e antropizadas. Foram consideradas como área conservada as feições Vegetação Nativa e Afloramento Rochoso, e como antropizada as demais, com exceção de curso d’água. Para os Trechos 1 ao 4 tem-se as seguintes áreas:

Tabela 15 – Áreas conservadas X antropizadas nos Trechos 1 ao 4

	TRECHO 1 (HA)	TRECHO 2 (HA)	TRECHO 3 (HA)	TRECHO 4 (HA)
Área conservada	92	372	86	193
Área antropizada	83	121	34	67
TOTAL	175	493	120	260
Taxa de conservação (%)	53	75	72	74

Fonte: cálculos realizados com base nas informações fornecidas pelo ZAP da EMATER (2017).

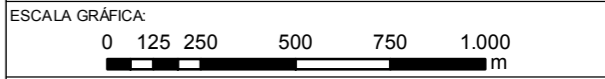


LEGENDA:

- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
- Curso d'água
- Área Impactada - Trechos 1 ao 4
- Trechos 1 ao 4
- ▨ Eixo 1
- ▨ Barragem Nova Santarém
- ▭ Dique S1
- ▭ Dique S2
- ▭ Dique S3

Uso do Solo (ZAP)

- Mineração e Indústria
- Afloramento Rochoso
- Solo Exposto
- Pastagem
- Silvicultura
- Vegetação
- Corpo d'água



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015; Digital Globe, 2017;
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017



TÍTULO:
Figura 30
Uso do Solo (ZAP)

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

Sobrepondo-se a área diretamente impactada pela deposição dos rejeitos sobre o levantamento de uso do solo realizado pelo ZAP, é possível classificar a área impactada de acordo com o uso do solo.

Dos 313 ha de área impactada (conforme delimitação descrita na seção 5.1.1), têm-se as seguintes classificações de uso do solo conforme o ZAP.

Tabela 16 – Classificação percentual do uso do solo identificado na área impactada

CLASSIFICAÇÃO	TRECHO 1 (%)	TRECHO 2 (%)	TRECHO 3 (%)	TRECHO 4 (%)
Corpo d'água	0,7	-	-	41
Pastagem	1	-	-	1
Mineração e indústria	79,5	77	84	36
Silvicultura	0,3	-	-	
Vegetação	18,7	23	16	21
Solo exposto	-	-	-	2

Fonte: extraído de EMATER (2017)

5.1.7.4 Alteração de cota do terreno/drenagem

No processo de avanço da “onda de rejeitos” sobre os Trechos 1 ao 4 , dois processos ocorreram, quais sejam: (i) a remoção da cobertura vegetal e de camadas de solo presentes nas encostas e remoção dos rejeitos decantados no reservatório Santarém, que se encontrava praticamente tomada por esses materiais, como resultado da força erosiva da passagem da onda; e, na sequência, (ii) a deposição por decantação dos rejeitos mobilizados, enquanto as áreas afetadas permaneceram submersas resultando na formação de uma camada de rejeitos que se assentou sobre todas as áreas atingidas, com espessuras relativamente uniformes e diretamente proporcionais ao tempo de submersão.

Como resultado, observam-se espessuras de rejeitos, os quais, nas encostas mais altas, iniciam com poucos centímetros e aumentam gradativamente até a sua base. Já nos fundos de vale e no reservatório Santarém, à deposição inicial ocorrida durante o período de submersão pela “onda de cheia”, se seguiu um processo de transporte e deposição pelas águas pluviais dos rejeitos depositados nas encostas e por transporte fluvial dos rejeitos depositados nos próprios fundos de vale a montante, incluindo-se volumes significativos de rejeitos que forma mobilizados na barragem de Fundão no período chuvoso que se seguiu ao evento de ruptura.

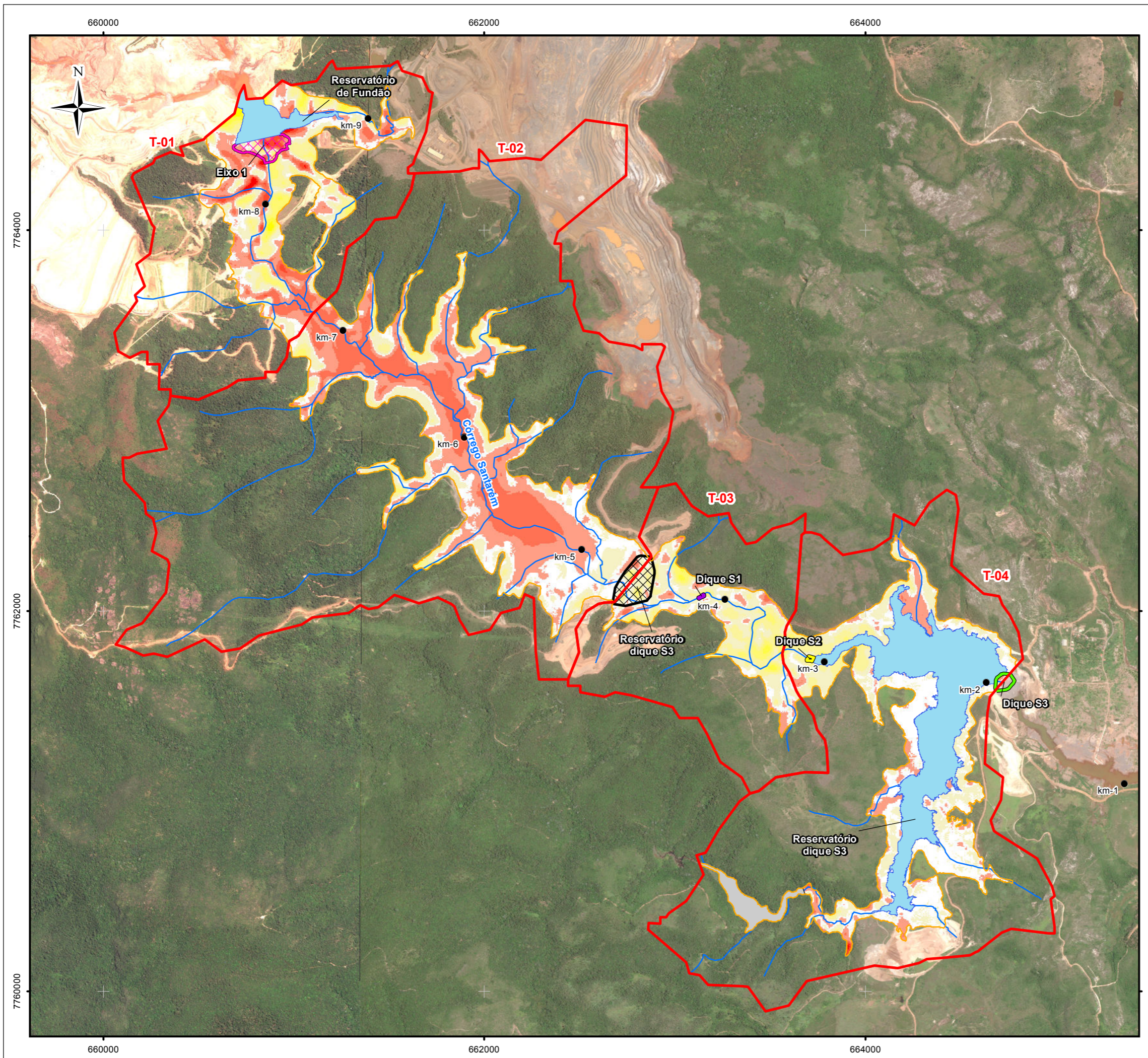
Como resultado deste processo, nesse fundo de vale e no reservatório de Santarém, formaram-se depósitos com espessuras significativas, frequentemente com mais de 5 metros de espessura.

Já nas encostas que sofreram erosão extrema, com exposição das rochas, pela sua irregularidade e alta declividade, os rejeitos que se depositaram sobre as mesmas foram praticamente removidos pelas chuvas dos dois períodos chuvosos completos que se seguiram ao evento.

Assim, nos Trechos 1 e 3, considerando que a erosão da camada de solos sobre as encostas foi total e não houve compensação pela formação de depósitos permanentes de rejeitos, ocorreu efetivamente um rebaixamento topográfico. Entretanto, isto não se traduz em maior suscetibilidade a inundações, pois se tratam de trechos com vales encaixado e gradiente hidráulico elevado.

Já nos Trechos 2 e 4, os quais correspondem, a grosso modo, aos reservatórios de Santarém e do dique S3, respectivamente, tais estruturas e suas cotas de coroamento das barragens é que determinam a posição atual dos “terrenos”, considerando-se os mesmos plenamente preenchidos por rejeitos e, assim, também a suscetibilidade a inundações, destacando-se que as encostas lindeiras a tais reservatórios são bastante declivosas e não têm usos suscetíveis a tais fenômenos.

Na Figura 31 é apresentada uma comparação objetiva entre as altitudes registradas em dois levantamentos altimétricos realizados na área de estudo, sendo o primeiro anteriormente à data do Evento (novembro/2015) e o segundo após o Evento (setembro/2016). A denominada Topografia Primitiva, datada de novembro de 2015, fornecidas pela SAMARCO, delimitou curvas de nível da ordem de 0,5 metros para a área de estudo em formato vetorial e as mesmas foram comparadas com o Levantamento LIDAR, datado de setembro de 2016. A combinação dos arquivos, forneceu a diferença entre as altitudes medidas em metros (m) da Topografia Primitiva e o Levantamento LIDAR, onde podem ser observadas as tendências dos processos de rebaixamento topográfico (amarelo) e preenchimento do rejeito (vermelho) nos Trechos 1 ao 4. É importante ressaltar, que as bases topográficas utilizadas não possuem a mesma resolução, pelos que os resultados apresentados na Figura 31 devem ser considerados apenas pela sua ordem de grandeza e distribuição espacial.

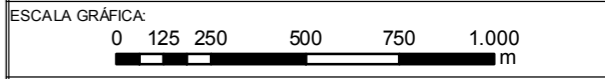


LEGENDA:

- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
- Curso d'água
- Corpo d'água
- Área Impactada - Trechos 1 ao 4
- Trechos 1 ao 4
- Áreas sem cobertura do LIDAR*
- Eixo 1
- Barragem Nova Santarém
- Dique S1
- Dique S2
- Dique S3

Varição de altitudes (m)

15 a 20	-1 a 0
10 a 15	-5 a -1
5 a 10	-5 a -10
1 a 5	-10 a -15
0 - 1	-15 a -20
	Abaixo de -20



NOTAS:
 Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

* As áreas cinzas não foram cobertas com o levantamento LIDAR utilizada na modelagem da hipsometria.

REFERÊNCIA:
 Levantamento LIDAR, fornecido por Fundação Renova, 2017.
 Levantamento Topográfico, HGT, Nov/2015.
 Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017; IBGE, 2015.



TÍTULO:
 Figura 31
 Comparação Altimétrica entre Topografia Primitiva (Nov/2015) e Levantamento LIDAR (Set/2016)

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 31a - Comparação Altimétrica entre Topografia Primitiva (Nov_2015) e Levantamento LIDAR (Set_2016) - Trecho 1 a 4

5.1.7.5 *Uso da água*

O ZAP apresenta a análise de disponibilidade hídrica da referida bacia. Foram utilizados dados de usuários de água de cadastro de uso insignificante e outorga que ocorrem na bacia, disponibilizados pela SEMAD, no ano de 2015/2016. A análise apresentada no zoneamento também utilizou informações do “Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais”, realizado pela UFV & IGAM 2012.

Do mapeamento realizado, não foram identificados cadastros de uso insignificantes ou outorgas de uso na área dos Trechos 1 ao 4, entretanto o EIA apresenta o status legal referente aos usos da água no Complexo Germano e as outorgas referentes às obras emergenciais, conforme Quadro 2. Essas outorgas não foram objeto de suspensão nos termos do ofício SURAM/SEMAD/SISEMA nº 139/16, e, portanto, encontram-se válidas.

Não foram apresentadas as localizações dos poços de captação e de rebaixamento de nível d’água apresentados no EIA (Amplio, 2017) outorgados ou com solicitação de outorga sob análise da SUPRAM (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável).

Quadro 2 – Status das outorgas do Complexo Germano (dezembro/2016)

STATUS DO USO DA ÁGUA	PROCESSO/ PORTARIA IGAM	OBJETO DO PROCESSO / DA PORTARIA	OBSERVAÇÃO
Uso outorgado	Port. 01115/2006	Captação no córrego Santarém – 278 l/s = 1.000,8 m ³ /h	Vigente. Processo de renovação: 10495/2011 Processo de retificação da vazão residual: 31418/2014

Fonte: adaptado de Amplio (2017)

5.1.8 **Hidrologia**

A rede de monitoramento hidrométrico de águas superficiais em pontos estratégicos das bacias hidrográficas que drenam a área do empreendimento da SAMARCO encontra-se especialmente concentrada no entorno imediato do empreendimento e o período de dados disponível e a frequência de leitura/medição não são suficientes para permitir a caracterização completa do regime hidrológico local.

Conforme citado no relatório da POTAMOS (2017), como nos Trechos 1 ao 4 não existe monitoramento sistemático de vazões, as ofertas hídricas devem ser determinadas para as estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) localizadas nas proximidades da área de estudo ou na bacia hidrográfica e posteriormente transferidas aos locais citados. A estação considerada encontra-se apresentadas na Tabela 17, em conjunto com os valores foram regionalizados para as sub-bacias de aporte identificadas dentro dos Trechos 1 ao 4, sendo que a vazão média de longo prazo nos Trechos 1 ao 4 está na ordem 2,6 m³/s.

Tabela 17 - Valores de vazão média e específica de longo termo (QMLT e QESP) da estação fluviométrica da ANA 56336001 e regionalização nas bacias dos Trechos 1 ao 4.

CÓDIGO	ESTAÇÃO	CURSO DE ÁGUA	ÁREA DE DRENAGEM (KM ²)	QMLT (M ³ /S)	QESP (L/S.KM ²)
56336001	Bicas Jusante	R Gualaxo do Norte	196	6,24	31,9
PONTO Trechos 1 ao 4					
	Dique Eixo 1 (córrego do Fundão)		6,20	0,198	
	Eixo Fundão-Germano		15,9	0,507	
	Barragem Nova Santarém		22,2	0,707	
	Dique S3 (córrego Santarém)		38,1	1,21	

Fonte: POTAMOS, 2017

5.1.9 Identificação das Áreas de Disposição Dentro da Área de Afetada

Foram selecionadas duas Áreas de Projeto de Disposição de Rejeito (ADMEs), a ADME 1 localizada no interior do Trecho 4, e a ADME 3 a, aproximadamente, 5 Km da barragem de Fundão, ambas propriedades da Samarco, conforme apresenta o Mapa de Áreas de Projeto de Disposição de Rejeito (ADMEs) na Figura 36.

As ADMEs têm volume estimado entre 100.000 e 200.000 m³ cada. Elas encontram-se cobertas por gramíneas e o acesso é por estrada não-pavimentada, como pode ser visualizado nas fotos da Figura 32 a Figura 35.

**Figura 32. ADME 1 (UTM 664527.00 m E/
7760277.00 m S)**



**Figura 33. Acesso a ADME 1 (UTM 664327.00 m
E/ 7760095.00 m S)**

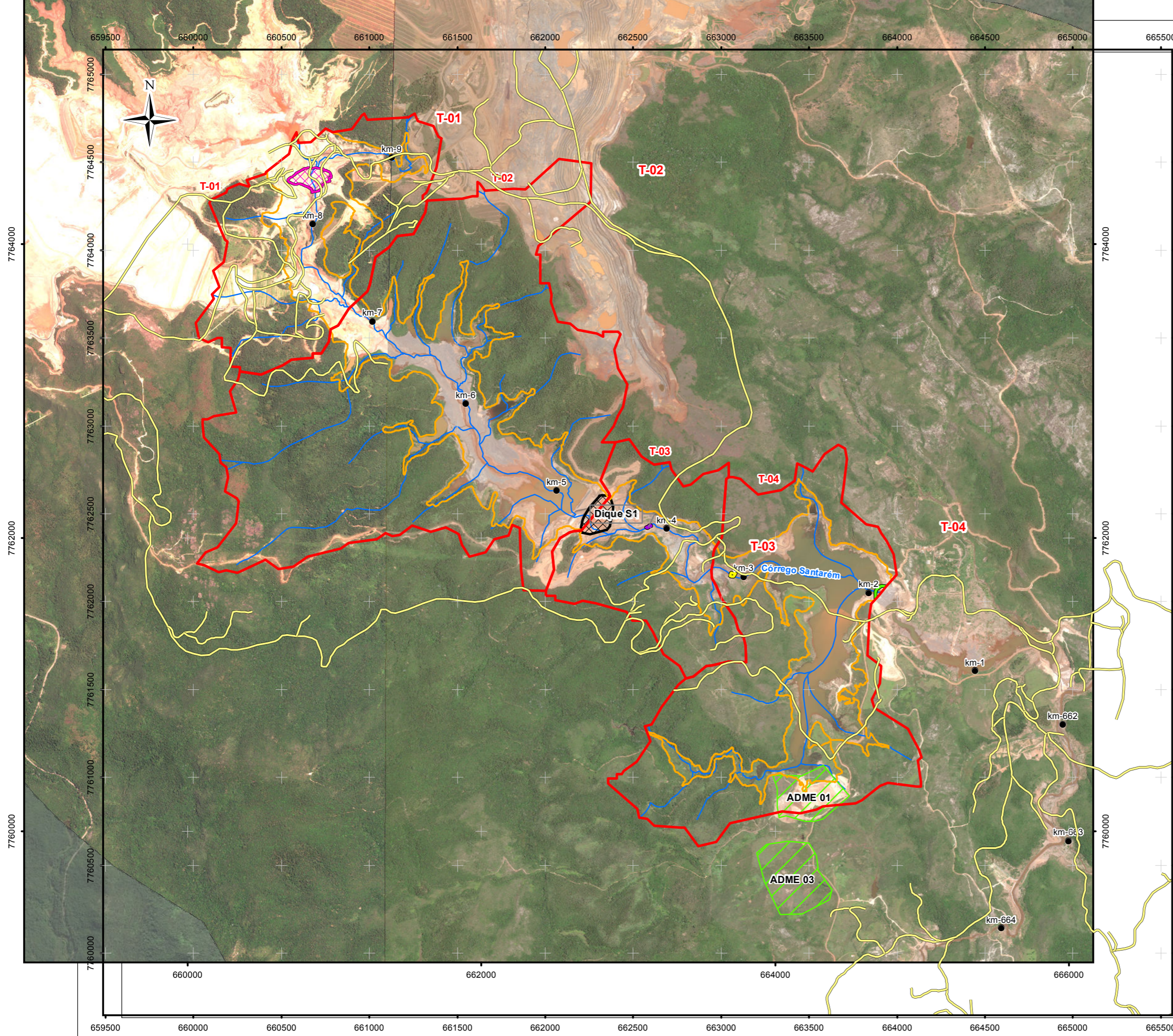


**Figura 34. ADME 3 (664285.00 m E/ 7759673.00
m S)**



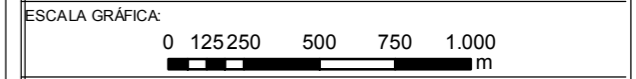
**Figura 35. Acesso ADME 3 (664440.00 m E/
7759593.00 m S)**





LEGENDA:

- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
- Curso d'água
- Área Impactada - Trechos 1 ao 4
- Trechos 1 ao 4
- ▨ Eixo 1
- ▨ Barragem Nova Santarém
- Dique S1
- Dique S2
- Dique S3
- Acesso



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015; Digital Globe, 2017;
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017



TÍTULO:
Figura 36
Áreas de Disposição de Rejeitos

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:25.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

5.2 Caracterização Ambiental dos Depósitos de Rejeito

5.2.1 Identificação dos Tipos de Depósitos

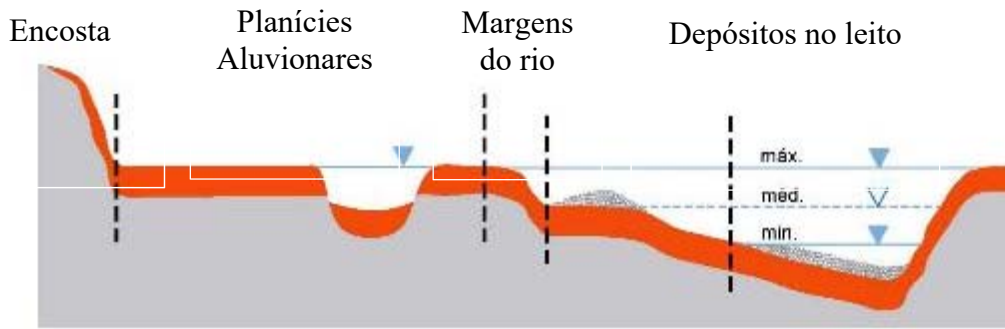
A classificação dos tipos de depósito de rejeitos está ligada ao comportamento do fluxo de rejeito, quando submetido aos diversos fatores relacionados aos mecanismos de transporte, ao longo dos cursos d’água afetados. Esses mecanismos de transporte são detalhados na Seção 5.3 do Plano de Manejo de Rejeito – Revisão 01. Os depósitos de rejeito foram divididos em extracalha e intracalha, classificados de acordo com o contexto em que foram identificados e seguem sumarizados na Tabela 18.

Tabela 18 – Tipos de depósito de rejeitos classificados por contexto

TIPO DE DEPÓSITO	CONTEXTO
Depósito Extracalha	Depósitos sobre rochas ou solos parcialmente decapados, em encostas declivosas
	Depósitos sobre planícies ou terraços aluvionares e baixas vertentes suavizadas
	Depósitos sobre lagoas marginais, depósitos finos sobre cavas e depressões antrópicas
Depósito Intracalha	Depósitos indiscriminados de calha
	Depósitos em bancos arenosos
	Depósitos arenosos sobre leitos rochosos
	Depósitos de assoreamento do reservatório de candonga
	Depósitos finos sobre bancos arenosos
	Depósitos finos sobre leitos rochosos

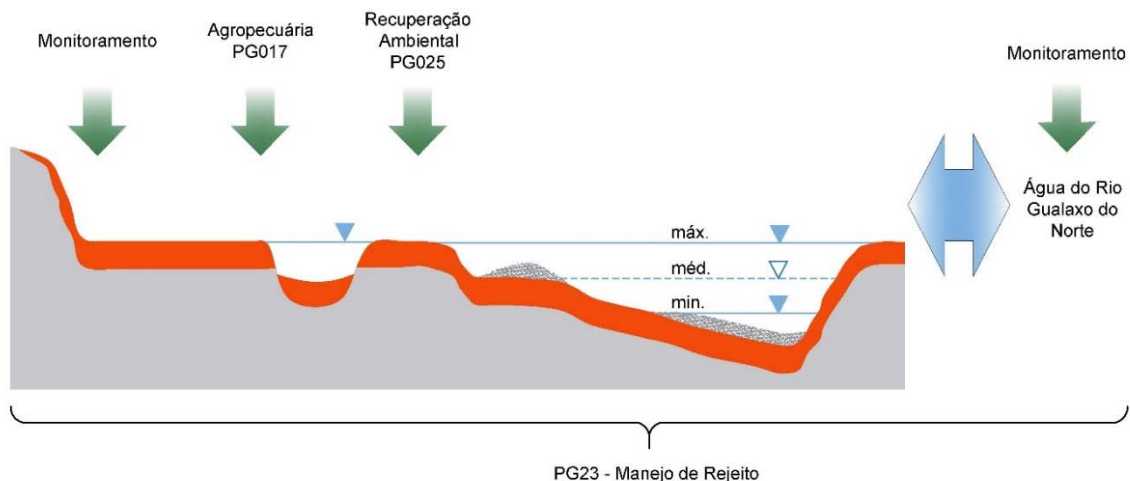
Para fins deste PMR, foi adotada a definição de “rejeito” como a mistura de rejeitos (fração estéril produzida pelo beneficiamento de minério) proveniente da barragem de Fundão, que durante o trajeto do curso d’água incorporou sedimentos presentes nas calhas e planícies aluvionares e solos das planícies aluvionares e encostas. A Figura 37 ilustra os tipos de depósitos apresentados.

Figura 37 - Ilustração dos Tipos de Depósitos de Rejeito nas Seções Intracalha e Extracalha



A interface do Programa de Manejo de Rejeito com os outros programas socioambientais e a relação com o tipo de depósito pode ser esquematicamente identificada na Figura 38.

Figura 38 – Programas socioambientais que possuem interface com o PG 23 – Programa de Manejo de Rejeito - e abrangência conforme os tipos de depósito



A aplicação do PMR nos Trechos 1 ao 4 abrangerá dois tipos de depósitos de rejeito identificados na área impactada:

- Depósitos extracalha (encostas e planícies aluvionares), cuja remobilização natural se dá por processos de erosão pluvial; e,
- Depósitos intracalha (na calha dos rios), cuja movimentação é comandada pela dinâmica fluvial.

As margens dos Trechos 1 ao 4 não foram apresentadas como um contexto individualizado pois em campo não foi possível diferenciar com exatidão os limites entre estas

e o canal fluvial. O canal possui um padrão anastomosado, esta característica ocorre em cursos d'água de baixa declividade do leito em relação a parte seca, praticamente planos (ou assoreado em alguns casos), gerando mais de uma via de escoamento da água, ocasionado ramificações ou múltiplos canais, separados por bancos (de rejeitos neste caso em específico), os quais se reencontram em pontos a jusante. Desta maneira, no momento em que foram realizadas as sondagens, as margens foram consideradas como depósito em planícies, com o objetivo de caracterização físico-química do rejeito depositado.

A Figura 39, Figura 40, Figura 41 e imagens e obtidas em campo nos transectos T4T1, T2T1 e T3T1 demonstram a característica de canal anastomosado mencionada.

Figura 39 – Foto Obtida no Transecto T4T1 com Destaque para as Ramificações do Córrego Santarém.



Fonte: JACOBS CH2M, 2017. Fotos Obtidas em Dezembro/2017.

Coordenadas: 23K 663784.37 / 7761734.40

Figura 40 - Foto Obtida no Transecto T4T1 com Destaque para as Ramificações do Córrego Santarém.



Fonte: JACOBS CH2M, 2017. Fotos Obtidas em Dezembro/2017.

Coordenadas: 23K 663784.37 / 7761734.13

Figura 41 – Foto Obtida no Transecto T2T1 com Destaque para as Superfície Plana que Favorece as Ramificações



Fonte: JACOBS CH2M, 2017. Fotos Obtidas em Dezembro/2017.

Coordenadas: 23K 661568.84 / 7763306.66

Figura 42 - Foto Obtida no Transecto T3T1 com Destaque para a Baixa Declividade Entre Calha e Seção Seca



Fonte: JACOBS CH2M, 2017. Fotos Obtidas em Dezembro/2017.

Coordenadas: 23K 663498.93 / 7761730.84

Nos Trechos 1 ao 4 não foram identificadas lagoas marginais, sejam de origem natural ou antrópica (garimpo ilegal, viveiro de peixes, etc) e, portanto, este tipo de depósito de rejeito não foi abordado no presente relatório.

Vale ressaltar que fez parte deste estudo a realização de sondagens na barragem de Fundão (fora dos Trechos 1 ao 4), com o objetivo único de se obter informações acerca das concentrações de metais e granulometria do material depositado nesta localidade. Portanto, a barragem de Fundão não foi tratada neste relatório como um tipo de depósito.

5.2.2 Estudos Prévios: Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos

5.2.2.1 Qualidade do Solo e Sedimentos

A caracterização ambiental do solo e sedimentos foi realizada com base no Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos elaborado pela Golder em outubro/2017, o qual teve como objetivo executar testes geoquímicos em 311 amostras para dar subsídio na tomada de decisões relativas ao manejo dos rejeitos liberados no rompimento da barragem de Fundão. Para tanto, foram coletadas, em novembro/2015, amostras de rejeitos (amostras compostas), detritos em pilhas erguidas em Barra Longa, solo de áreas não afetadas, sedimentos de áreas não afetadas e sedimentos e solo de áreas afetadas, em locais definidos

pela consultoria. Os parâmetros analisados foram: granulometria, distribuição granulométrica, análise de rocha total (XRF), metais totais, espécies de carbono e concentração de metais por fração granulométrica.

Os resultados analíticos de metais foram comparados com os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009 (valores de prevenção e investigação para uso agrícola, residencial e industrial) além do padrão de referência da Deliberação Normativa COPAM nº 166 de 2011, valores de Distribuição de Elementos-Traço no Quadrilátero Ferrífero (Q75 com outlier) – FEAM 2015 e 95º percentil de dados regionais coletadas pela CPRH entre 1972 e 2011.

No presente estudo serão abordadas as amostras coletadas dentro dos limites dos Trechos 1 ao 4, assim como seus resultados analíticos.

O estudo geoquímico elaborado pela Golder em 2017, define os tipos de amostras como:

- Rejeito: amostras coletadas na barragem de Rejeitos de Germano para caracterização da composição química e distribuição granulométrica dos rejeitos-fonte. São amostras usadas como sendo as mais próximas dos rejeitos depositados na barragem de Rejeitos de Fundão antes de seu rompimento.

- Solo e sedimentos de áreas afetadas: amostras de solo e sedimentos coletadas em áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão. Estes materiais representam misturas entre rejeito, solo natural, sedimentos e outros detritos (por exemplo, vegetação e/ou materiais antropogênicos, como esgoto e detritos de construção) em diferentes proporções. As amostras de solo em área afetada foram coletadas em planície de inundação e na barragem de Fundão; já os sedimentos em área afetada em calha, planície de inundação e no reservatório de Santarém.

- Solo e sedimentos de áreas não afetadas: amostras de solo e sedimentos coletadas em áreas não afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão. As amostras de solo em área não afetada foram coletadas em encosta; já os sedimentos em área não afetada em calha e planície de inundação.

Ressalta-se que os tipos de amostras (solo, sedimento ou solo natural) em área impactada ou não impactada a serem descritas a seguir nesta seção de Estudos Prévios referem-se à classificação dada pelo estudo avaliado, conforme descrito acima.

A Figura 20 que consta na Seção 5.1.6 apresenta a localização destas amostras. As tabelas do **Anexo IV** apresentam os resultados analíticos que serão discutidos nas seções subsequentes, por Trecho do PMR.

a) Trecho 1

Neste Trecho foram coletadas e analisadas 6 amostras de solo (T143, T144, T145, T146, T147 e T148) na área da barragem de Fundão e 1 amostra de sedimento (T43) coletada na barragem de Santarém, sendo todas localizadas em área considerada impactada pelo evento do rompimento.

b) Trecho 2

Neste Trecho, foram coletadas e analisadas 3 amostras de sedimento (T45, T47, T49) na calha na área da barragem de Santarém em área considerada impactada pelo evento do rompimento.

c) Trecho 3

Neste Trecho, foram coletadas e analisadas 2 amostras de solo natural (T01 e T02) na planície de inundação do córrego Santarém e 1 amostra de sedimento (T51) na barragem de Santarém em área considerada impactada pelo evento do rompimento.

d) Trecho 4

Neste Trecho, foram coletadas e analisadas 2 amostras de solo natural (S01 e S03) na encosta do córrego Santarém e córrego Mirandinha, respectivamente, em área considerada não impactada e 2 amostras de solo (T31 e T33) na planície de inundação do córrego Mirandinha em área considerada impactada pelo evento do rompimento.

Os resultados das amostras de solo natural coletadas nas áreas dos Trechos 1 ao 4 encontram-se sumarizados na .

Tabela 19 – Resumo dos Resultados obtidos dentro do Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos elaborado pela Golder em outubro/2017

PARÂMETRO	TRECHO 1		TRECHO 2		TRECHO 3		TRECHO 4	
	Solo - Área Impactada	Sedimento - Área Impactada	Sedimento - Área Impactada	Solo - Área Impactada	Sedimento - Área Impactada	Solo - Área Não impactada	Solo - Área impactada	
Teor de sólido	69,2 a 97%	84,40%	83,8 a 85,6%	86,8 a 88%	86,30%	75,7 a 96,6%	86,9 a 87,5%	
Teor de umidade	3 a 30,8%	15,60%	14,4 a 16,2%	12 a 13,2%	13,70%	3,4 a 24,3%	12,5 a 13,1%	
Argila (0,002 mm)	4,37 a 26,7%	9,69%	0,7 a 9,69%	5,88 a 10,5%	11,20%	17,3 a 26,4%	1,48 a 2,12%	
Silte (0,062 mm)	20 a 66,7%	27,60%	25,2 a 53,7%	25,2 a 47,9%	58,50%	19,9 a 23,1%	43,5 a 43,7%	
Areia muito fina (0,125 mm)	5,8 a 42,1%	18,60%	18,6 a 42,9%	10,1 a 21,6%	19,90%	8,57 a 11,8%	32,9 a 35,1%	
Areia fina (0,25 mm)	0,53 a 28,9%	9,99%	9,99 a 23,8%	15,9 a 19,3%	9,03%	13,3 a 21,4%	15,4 a 18,5%	
Areia média (0,5 mm)	0,11 a 3,43%	3,55%	2,19 a 5,56%	13,3 a 24%	1,11%	12,9 a 22,7%	<0,11 a 2,94%	
Areia grossa (1 mm)	0,11 a 0,32%	2,86%	0,2 a 2,86%	2,13 a 4,04%	0,18%	1,97 a 8,08%	0,41 a 0,70%	
Areia muito grossa (2 mm)	0,11 a 0,15%	3,78%	0,1 a 3,78%	< 0,11%	0,13%	1,15 a 6,49%	<0,11 a 0,66%	
Areia total	6,54 a 73,96%	38,75%	38,75 a 73,32%	41,52 a 68,9%	30,39%	49,24 a 59,12%	52,54 a 54,13%	
Cascalho (>2 mm):	<0,11%	23,90%	<0,11 a 23,9%	<0,11%	<0,11%	1,27 a 3,46%	<0,11 a 2,24%	
D ₅₀	0,08 a 0,19 mm	23,9 mm	0,11 a 0,2 mm	0,11 a 0,23 mm	0,1 mm	0,13 a 0,31 mm	0,14 mm	
Resultados de distribuição granulométrica	Maior massa para grãos com 0,063 mm em todas as amostras de solo.	Maior massa para grãos com 0,063 mm na amostra de sedimento	Maior massa para grãos com 0,125 mm para duas amostras e grãos com 0,063 mm para uma amostra	Maior massa para grãos com 0,125 mm para as duas amostras de solo	Maior massa para grãos com 0,063 mm		Identificaram maior massa para grãos com 0,125 mm em ambas as amostras	
Resultados de análise de rocha total	Prevalência de SiO ₂ com 46 a 83% e Fe ₂ O ₃ com 16 a 33%	Prevalência de SiO ₂ com 50% e Fe ₂ O ₃ com 40%	Prevalência de SiO ₂ com 13 a 45% e Fe ₂ O ₃ com 22 a 52%	Prevalência de SiO ₂ com 53 a 80% e Fe ₂ O ₃ com 18 a 43%	Prevalência de SiO ₂ com 48% e Fe ₂ O ₃ com 47%	Prevalência de SiO ₂ com 27 a 67% e Fe ₂ O ₃ com 7,8 a 54%.	Prevalência de SiO ₂ e Fe ₂ O ₃ em ambas as amostras	

Resultados das análises de metais

Uma amostra identificada com concentração de arsênio acima do valor de qualidade da Deliberação Normativa COPAM. Os resultados de antimônio, cádmio, cobalto, mercúrio, molibdênio, prata, selênio apresentaram valor de quantificação de análise laboratorial acima de um ou mais valor de referência adotado. Já os outros resultados (alumínio, bário, berílio, boro, cálcio, chumbo, cobre, cromo, enxofre, ferro, fósforo, lítio, magnésio, manganês, níquel, nitrogênio, potássio, sódio, tálio, titânio, urânio, vanádio e zinco) não superaram o limite legal ou não há valor orientador estabelecido.

Concentração de arsênio acima do nível de classificação para água doce – nível 1 e cádmio apresentou o limite de quantificação laboratorial acima do valor de classificação para água doce – nível 1; já os resultados para os outros metais (alumínio, antimônio, bário, berílio, boro, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, enxofre, ferro, fósforo, lítio, magnésio, manganês e mercúrio) apresentaram valores abaixo dos limites estabelecidos, quando existentes.

Dois amostras detectaram concentração de arsênio acima do limite de níveis de classificação para água doce – nível 1 e também o valor de quantificação laboratorial destas amostras para mercúrio e cádmio foi acima do limite para níveis de água doce (nível 1) e água salina (nível 1). O restante dos metais (alumínio, antimônio, bário, berílio, boro, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, enxofre, ferro, fósforo, lítio, magnésio e manganês) apresentaram concentrações abaixo do limite legal, quando existentes

Concentrações de selênio e arsênio acima do valor de referência da COPAM, sendo que o resultado de selênio também superava o valor de investigação agrícola da CONAMA. Os resultados de antimônio, cádmio, cobalto, mercúrio, molibdênio e prata apresentaram concentrações abaixo dos respectivos limites de quantificação laboratorial, mas que eram superior a um ou mais dos valores de referência legal. Os outros metais (alumínio, bário, berílio, boro, cálcio, chumbo, cobre, cromo, enxofre, ferro, fósforo, lítio, magnésio, manganês, níquel, nitrogênio, potássio, sódio, tálio, titânio, urânio, vanádio e zinco) foram detectados em valores abaixo dos respectivos limites legais, quando existentes, ou não foram quantificados.

Concentrações de cádmio e mercúrio estavam abaixo dos respectivos valores de quantificação laboratorial, mas acima do nível de classificação para água doce (Nível 1). A concentração de prata superou o valor de qualidade de sedimentos para Minas Gerais – Percentil 95. O restante dos metais (alumínio, antimônio, bário, berílio, boro, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, enxofre, ferro, fósforo, lítio, magnésio, manganês, molibdênio, níquel, nitrogênio, potássio, selênio, sódio, tálio, titânio, urânio, vanádio e zinco) apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação laboratorial, ou de referência, quando existente.

Concentrações de antimônio, arsênio, chumbo, cobalto e vanádio acima do limite estabelecido pela COPAM, sendo que chumbo, cobalto e vanádio também superaram o limite da FEAM. Para as análises de cádmio, mercúrio, molibdênio, e selênio os resultados foram abaixo do limite de quantificação, mas este era superior a um dos valores orientadores. O restante dos metais analisados (alumínio, bário, berílio, boro, cálcio, cobre, cromo, enxofre, ferro, fósforo, lítio, magnésio, manganês, níquel, nitrogênio, potássio, sódio, tálio, titânio, urânio e zinco) não excederam os valores orientadores adotados, quando existentes, ou não foram quantificáveis.

Concentrações de antimônio, cádmio, cobalto, mercúrio, molibdênio, prata e selênio abaixo do limite de quantificação laboratorial, mas que era superior a um ou mais valor orientador adotado. O restante dos metais analisados (alumínio, arsênio, bário, berílio, boro, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, enxofre, ferro, fósforo, lítio, magnésio, manganês, níquel, nitrogênio, potássio, sódio, tálio, titânio, urânio, vanádio e zinco) não excederam os valores orientadores adotados, quando existentes, ou não foram quantificáveis.

PARÂMETRO	TRECHO 1		TRECHO 2		TRECHO 3		TRECHO 4	
	Solo - Área Impactada	Sedimento - Área Impactada	Sedimento - Área Impactada	Solo - Área Impactada	Sedimento - Área Impactada	Solo - Área Não impactada	Solo - Área impactada	
Resultados de espécies de carbono	Variaram entre menos que 0,05 a 0,20%C de carbono elementar; menos que 0,05 a 0,14%C de carbono inorgânico total; e 0,74 a 2,02%C de carbono orgânico total.	0,17 %C de carbono elementar; menos que 0,05 %C de carbono inorgânico total; e menos que 0,74 %C de carbono orgânico total.	Variaram de menos que 0,05 a 0,06%C de carbono elementar; menos que 0,05%C de carbono inorgânico total; e menos que 0,74%C de carbono orgânico total	Valor menor que 0,05 %C de carbono elementar; menor que 0,05 %C de carbono inorgânico total; e 0,74%C de carbono orgânico total.	Valores de 0,05 %C de carbono elementar; 0,05 %C de carbono inorgânico total; e 0,74%C de carbono orgânico total.	Valores menor que 0,05 a 0,12% de carbono elementar; menor que 0,05 a 0,38%C de carbono inorgânico total; e menor que 0,74 a 1,35%C de carbono orgânico total.	Valores menor que 0,05 a 0,13%C de carbono elementar; menor que 0,05 %C de carbono inorgânico total; e menor que 0,74 %C de carbono orgânico total.	
Análise do potencial gerador/não gerador de ácido (PAG/NPAG) de contagem ácido-base	Realizada em 3 das 6 amostras coletadas na área do Trecho 1 do PMR, sendo o resultado de todas como “potencial não gerador de ácido”.	Classificou a amostra de sedimento como “potencial não gerador de ácido”	Das 3 amostras coletadas, apenas 1 amostra correu a análise, a qual classificou a amostra de sedimento como “potencial não gerador de ácido”	-	Classificou a amostra de sedimento como “potencial não gerador de ácido”.		Classificou a amostra T31 como “potencial não gerador de ácido”	

Fonte: Golder (2017)

As amostras coletadas pelo estudo geoquímico serão avaliadas e comparadas com as amostras coletadas dentro do escopo deste PMR na Seção 5.2.4.6.

5.2.2.2 *Análise de Fração Coloidal*

Como medida de redução de sólidos em suspensão, desde meados de março de 2016 até 16 de julho de 2017 (última renovação da autorização foi emitida pelo Ofício N°01/2017 SUPRAM CENTRAL/SEMAD/SISEMA em 16 de janeiro de 2017), foram adicionados floculantes e coagulantes no corpo hídrico, na área a montante da barragem de Santarém, de modo a utilizar os reservatórios de Santarém, S3 e S4 como bacias de decantação. O propósito desta operação, conforme consta no Ofício, foi acelerar o processo de decantação do sedimento e consequentemente diminuir o valor do parâmetro turbidez na área. De acordo com informações da Fundação Renova, atualmente há autorização para dar continuidade ao uso de floculantes e coagulantes, no entanto este uso não está sendo realizado.

De acordo com o estudo de Investigação de Qualidade de Água, Coloides e Sedimentos no dique S3, dique S4 e Rio do Carmo elaborado pela Golder em 2017, os floculantes incluem o Superfloc A100 e o FLONEX 934 e são adicionados em concentrações de até 15 mg/L (média de 4,64 mg/L). Já os coagulantes incluem o Superfloc C-577 e o FLONEX 4540 aplicados em concentrações de até 1 mg/L (média de 0,44 mg/L).

O estudo supracitado teve como objetivo avaliar a composição da água, do material particulado, da fração coloidal e de sedimentos dentro dos reservatórios do dique S3 e dique S4, e no Rio Carmo, imediatamente a montante da confluência com o Rio Piranga.

Para tanto, em discussão com o IBAMA e Instituto Estadual do Meio Ambiente do Espírito Santo (IEMA-ES), foi criado um plano de amostragem e análise que abrangeu as informações solicitadas oficialmente e avaliação das condições de campo e envolveu ambos os órgãos ambientais, a Fundação Renova, a empresa consultora que elaborou o relatório citado, uma empresa para realização de amostragem e laboratórios.

O estudo foi baseado em coletas de amostras de água e sólidos (material particulado, fração coloidal e sedimentos) em 9 pontos espalhados nas áreas de estudo, além de avaliação de estudos anteriores, como a Caracterização Geoquímica da própria Golder e também monitoramentos da qualidade de água.

No presente PMR serão abordadas, quando possível, somente as conclusões da área do dique S3, uma vez que as áreas do dique S4 e Rio Carmo não estão inseridas nos Trechos 1 ao 4 do PMR. Em sua conclusão, o relatório referenciado afirma que as amostras de sedimentos coletadas no reservatório do dique S3 consiste primariamente de rejeitos misturados com sedimentos e solos locais. No entanto, ali não foram identificados reagentes (i.e., flocculantes e coagulantes) utilizados pela SAMARCO, incluindo componentes do grupamento amina. Considerando as análises da fração de particulado e coloidal, estes são compostos por geothita, hematita, ferrihidrita e caolinita, o que provavelmente são derivadas principalmente de sedimentos alterados mobilizados por escoamento de fonte não pontual provenientes da área de drenagem para o reservatório, com alguma contribuição de rejeitos.

Ainda sobre o estudo de investigação realizado pela Golder em 2017, representantes do IBAMA e do IEMA-ES coletaram amostra de um “filme sobrenadante” observado no dique S3 e dique S4. Foram constatados compostos orgânicos e inorgânicos que referem-se a fontes difusas do escoamento da área de drenagem a partir de solo e sedimento, da área de Bento de Rodrigues e de atividades relacionadas com a construção dos diques. No filme também não foram detectados reagentes utilizados pela SAMARCO.

5.2.3 Metodologias Estabelecidas para Coleta de Dados de Campo

5.2.3.1 Definição dos Pontos de Sondagem / Amostragem

Para se ter um melhor entendimento das características dos trechos e identificar os pontos de coleta de dados, assim como logística, dificuldades para a realização de amostragem, acesso, áreas com maior ou menor interesse, foi realizada uma visita de reconhecimento expedita antes do início das atividades de campo. Adicionalmente, adotou-se como ferramenta para a seleção dos pontos de amostragem, a avaliação de imagens orbitais disponibilizadas pelo Google Earth®.

Portanto, foram definidos os seguintes critérios para a seleção dos pontos de amostragem:

- Geomorfologia dos trechos do rio que favorecem a deposição de sedimentos intracalha e/ou extracalha;

- Distribuição espacial dos pontos nos segmentos do rio, com a tentativa de coleta de dados a cada quilometro linear de rio,
- Acesso ao ponto por parte da equipe de amostragem (segurança individual e patrimonial – proprietários);
- Presença de banco de sedimentação (na margem ou ilhas);
- Presença de estruturas antrópicas que poderiam aumentar a sedimentação na calha do rio (ex. reservatórios, barragens etc);
- Presença de indícios da execução de obras de movimentação de terra após o evento que pudesse mascarar as medições de espessura do rejeito.

Ao todo foram selecionados nove (9) locais para a realização dos transectos nos Trechos 1 ao 4, distribuídos da seguinte forma:

- 1 transecto no Trecho 1;
- 2 transectos no Trecho 2;
- 1 transecto no Trecho 3;
- 2 transectos no Trecho 4;
- 3 transectos na barragem de Fundão.

Foi realizado aproximadamente 1 transecto por quilometro do rio, distribuídos de maneira que representassem as diversas características dos trechos, oferecendo maior representatividade dos dados coletados.

Vale ressaltar que os transectos realizados na barragem de Fundão, aparecerão adiante neste relatório com denominação T1T2, T1T3 e T1T4 apenas pela proximidade com o Trecho 1, mas localizam-se fora do trecho e foram realizados com o objetivo único de coletar amostras do rejeito para análises laboratoriais. As sondagens, portanto, não foram realizadas até que se atingisse as demais camadas estratigráficas do local e não foram consideradas para o cálculo da estimativa de volume de rejeito depositado após o evento do rompimento da barragem.

Durante esta coleta, verificou-se a existência de dois materiais distintos dentro da barragem de Fundão, um material mais claro (coloração bege) com a predominância de grãos de areia, amostra coletada no transecto T1T3 (Figura 43), e outro de coloração mais escura

(marrom avermelhado) formado por material mais fino (argila e silte), amostra coletada no T1T4 (Figura 44).

Figura 43 – Material de Coloração Clara Encontrada Dentro da Barragem de Fundão



Figura 44 – Material de Coloração Marrom Avermelha Encontrada Dentro da Barragem de Fundão



Durante a execução das sondagens do transecto T1T2 (dentro da barragem), previstas inicialmente para coleta e análises químicas, detectou-se uma mistura destes dois materiais de diferente coloração, com a presença de partículas finas e médias e distintas colorações. Como optou-se em fazer uma avaliação dos materiais mais homogêneos, as amostras coletadas neste ponto não foram enviadas ao laboratório, e, portanto, não foram analisadas e contempladas no presente estudo.

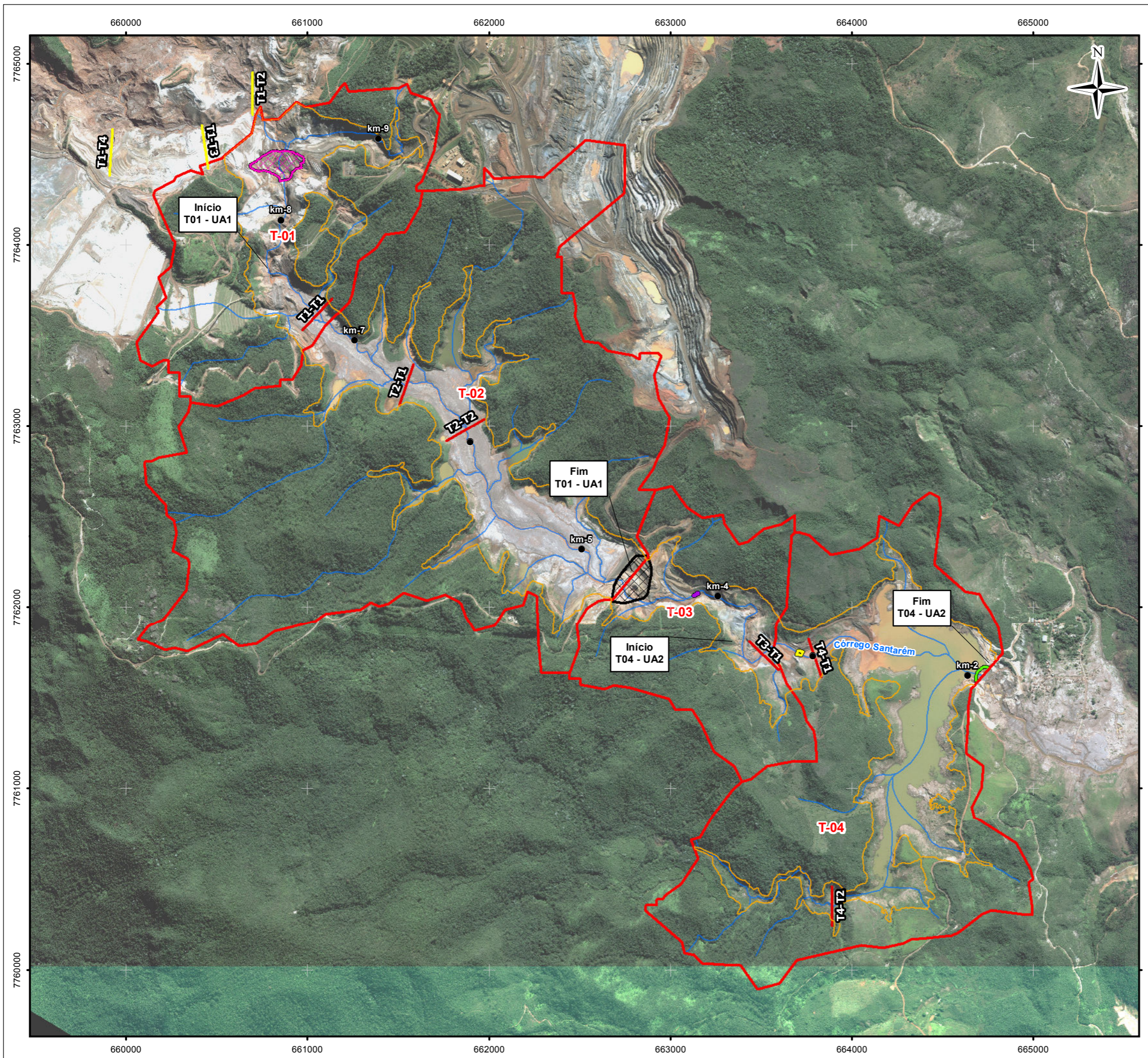
Cabe ressaltar que os dados de espessura de rejeito foram coletados normalmente nos pontos planejados (onde se teve acesso e condições seguras) e, portanto, não houve supressão de pontos de sondagem ou de transectos.

A Tabela 20 apresenta a identificação, localização e pontos com coleta de amostras, dos transectos realizados nos Trechos 1 ao 4 e na barragem de Fundão.

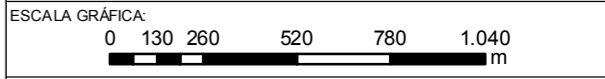
Tabela 20 – Transectos Selecionados para os Trechos 1 ao 4 e Barragem de Fundão

IDENTIFICAÇÃO DO TRANSECTO	LOCALIZAÇÃO	COLETA DE AMOSTRAS (GRANULOMETRIA, QUÍMICA E FERTILIDADE)
T1T1	Córrego Santarém	Sim
T1T2	Barragem de Fundão	Não
T1T3	Barragem de Fundão	Sim
T1T4	Barragem de Fundão	Sim
T2T1	Corrégo Santarém	Sim
T2T2	Corrégo Santarém	Sim
T3T1	Córrego Santarém	Sim
T4T1	Córrego Santarém	Sim
T4T2	Córrego Mirandinha	Sim

A Figura 45 apresenta a localização dos transectos para avaliação da espessura do rejeito depositado nos Trechos 1 ao 4 e também dos transectos realizados na Barragem de Fundão.



- LEGENDA:
- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
 - Curso d'água
 - ▭ Trechos 1 ao 4
 - ▭ Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Transecto
 - Transecto com Amostragem para Análise



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Digital Globe, 2017.

JACOBS ch2m.

TÍTULO:
Figura 45
Localização dos Transectos e Unidades de Análise (UA)
nos Trechos 1 a 4

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo
de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:21.000	09/02/2018	RU	DF	MB	RAO

Figura 45 - Localização dos Transectos e Unidades de Análise

5.2.3.2 Atividades de campo

As atividades de campo, realizadas entre os dias 18 a 21 de dezembro de 2017, seguiram a metodologia de utilização de pontos de coleta (sondagens) em transectos transversais ao rio para se obter as características do rejeito e as características de depósito de rejeito em diferentes contextos. A utilização destes transectos permitiu que se avaliassem as duas laterais do rio (extracalha), assim como a calha (intracalha), visando reduzir a variabilidade espacial, muitas vezes encontrada em pontos próximos um do outro, ou de uma margem a outra. No **Anexo VIII** encontra-se o relatório fotográfico de campo.

Foi prevista a realização de 9 sondagens em cada transecto, 3 na lateral esquerda, 3 na lateral direita e 3 na calha, contudo, devido às condições encontradas em campo, como segurança de acessos, estabilidade do piso, e mesmo à ausência de rejeito em alguns pontos da encosta, não foi possível a realização de todas as sondagens.

As sondagens extracalha foram localizadas próximas às margens do rio, nas planícies e nas encostas dos vales, próximo ao limite da área impactada.

As sondagens intracalha visaram, além da avaliação do material, a verificação da existência de *lag layer* (rejeito lavado) e medição das camadas de rejeito na calha do rio.

Uma das vantagens da utilização dos transectos como coleta de dados foi a possibilidade de se comparar os resultados, entre os diferentes pontos, para o cálculo da estimativa de volume de rejeito em cada um dos trechos avaliados.

As sondagens foram executadas pela equipe da empresa ServSolo Sondagens com supervisão integral da JACOBS CH2M. A figura apresentada na seção anterior (Figura 45) apresenta a localização das sondagens realizadas nesta etapa do trabalho.

Os dados, tais como pontos de amostragem, método de amostragem, localização, data e hora, condições do tempo, equipamentos utilizados, amostras coletadas, descrições das sondagens, características da área, fotos, coordenadas geográficas, entre outros, foram documentados nas fichas de sondagem de campo, **Anexo V**.

As sondagens realizadas tiveram profundidades distintas, sendo realizadas até que se encontrasse o solo ou substrato natural, de modo que permitisse a delimitação da espessura da camada de rejeito.

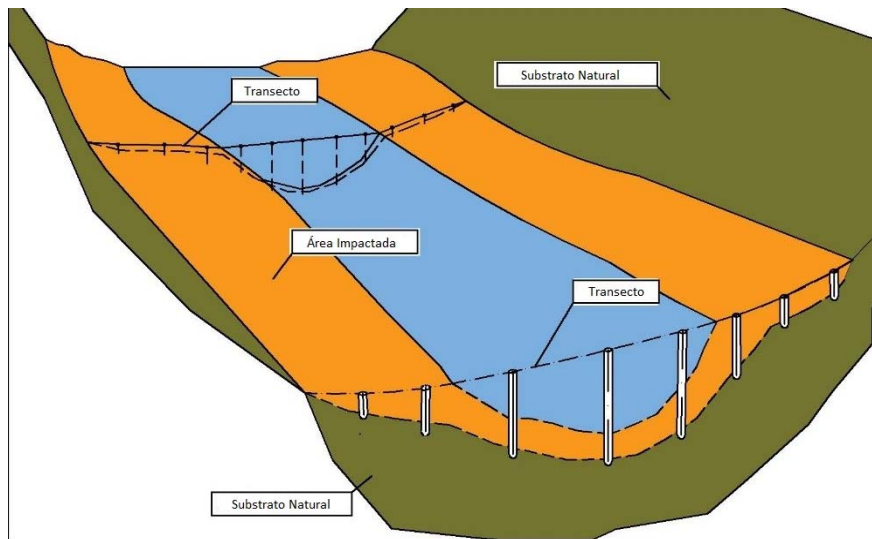
O rejeito possui uma característica própria, sendo formado por uma mistura de areia fina, silte e pouca argila, com uma coloração marrom avermelhada característica e que contrasta com as cores dominantes no substrato natural.

O substrato natural extracalha variou bastante em sua composição, dependendo do local da sondagem, tendo sido identificados: silte de coloração cinza, areia fina a média de coloração cinza escuro ou marrom clara, areia fina de coloração amarelada ou avermelhada, argila arenosa de coloração cinza esverdeada, areia pouco argilosa de coloração marrom clara e rocha são impenetrável, sendo que alguns pontos possui a presença de matéria orgânica.

Uma vez encontrado o substrato natural, a profundidade de contato entre as duas camadas foi medida com trena ou por correlação da profundidade alcançada pelo amostrador tendo como base o nível do terreno, sendo este registrado nas fichas de sondagem. Nestes trechos em particular, devido à existência de depósitos de rejeito pretéritos ao rompimento da barragem de Fundão nas proximidades da barragem de Santarém, não foi possível ultrapassar esta camada até a camada do substrato natural com o equipamento de sondagem utilizado na execução das sondagens. Contudo, buscou-se durante as atividades de sondagem identificar o nível de interface entre o rejeito antigo, depositado antes e o rejeito depositado depois do evento, através da caracterização visual do material e/ou resistência de perfuração, já que os depósitos mais antigos tendem a apresentar maior compactação devido ao adensamento resultante do peso das camadas superiores e que foram removidas pela passagem inicial do fluxo originado pelo rompimento da barragem de Fundão.

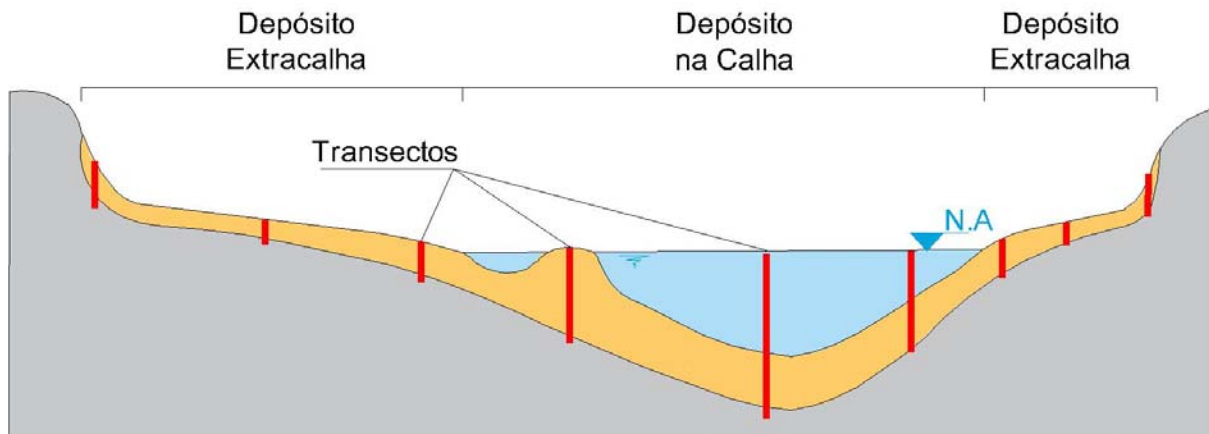
A Figura 46 e a Figura 47 ilustram a distribuição das sondagens como transectos transversais ao rio para coleta de dados e amostras, bem como os tipos de depósitos de rejeito encontrados em campo.

Figura 46 – Ilustração dos Pontos de Amostragem por Meio dos Transectos



Fonte: JACOBS CH2M, 2017

Figura 47 – Seção Transversal dos Pontos de Sondagem nos Transectos



Fonte: JACOBS CH2M, 2017

A Tabela 21 indica a relação de transectos e as respectivas sondagens nos Trechos 1 ao 4 e na barragem de Fundão (identificada em campo como T1T#). Como definição se considerou lado esquerdo ou direito do rio a referência da direção do fluxo do corpo de água, para localização das sondagens (margem esquerda, planície direita etc).

Tabela 21 – Relação de Transectos e as Respectivas Sondagens nos Trechos 1 ao 4 e Barragem de Fundão

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAJENS	LOCALIZAÇÃO DA SONDAJEM	COORDENADAS UTM			PROFUNDIDADE DA SONDAJEM	DATA DA SONDAJEM
			Fuso	Leste	Norte		
T1T1	T1T1-01	Encosta Esquerda	Sondagem não realizada: não encontrado depósito de rejeito neste local				

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAGENS	LOCALIZAÇÃO DA SONDAAGEM	COORDENADAS UTM			PROFUNDIDADE DA SONDAAGEM	DATA DA SONDAAGEM
			Fuso	Leste	Norte		
	T1T1-02	Planície	23 K	661.083	7.763.637	6,50	18/12/17
	T1T1-03	Calha	23 K	661.053	7.763.637	2,20	18/12/17
	T1T1-04	Calha	23 K	661.051	7.763.632	1,20	18/12/17
	T1T1-05A	Planície	23 K	661.053	7.763.007	4,50	18/12/17
	T1T1-05B	Planície	23 K	661.042	7.763.615	6,00	18/12/17
	T1T1-06	Calha	23 K	661.038	7.763.615	1,48	18/12/17
	T1T1-07	Planície Direita	23 K	660.997	7.763.581	7,89	18/12/17
	T1T1-08	Encosta Direita	Sondagem não realizada: não encontrado depósito de rejeito neste local				
T1T2	T1T2-01	Barragem	23 K	660.694	7.764.738	0,45	20/12/17
	T1T2-02	Barragem	23 K	660.694	7.764.746	0,36	20/12/17
	T1T2-03	Barragem	23 K	660.695	7.764.779	0,78	20/12/17
	T1T2-04	Barragem	23 K	660.707	7.764.804	0,50	20/12/17
	T1T2-05	Barragem	23 K	660.715	7.764.807	0,58	20/12/17
T1T3	T1T3-01	Barragem	23 K	660.454	7.764.551	0,30	20/12/17
	T1T3-02	Barragem	23 K	660.447	7.764.541	0,21	20/12/17
	T1T3-03	Barragem	23 K	660.426	7.764.535	0,42	20/12/17
T1T4	T1T4-01	Barragem	23 K	659.938	7.764.632	0,33	20/12/17
	T1T4-02	Barragem	23 K	659.949	7.764.645	0,42	20/12/17
	T1T4-03	Barragem	23 K	659.922	7.764.607	0,51	20/12/17
T2T1	T2T1-01	Encosta Esquerda	Sondagem não realizada: não encontrado depósito de rejeito neste local				
	T2T1-02	Planície Esquerda	23 K	661.575	7.763.318	6,00	19/12/17
	T2T1-03	Calha	23 K	661.546	7.763.252	3,00	19/12/17
	T2T1-04	Calha	23 K	661.544	7.763.236	1,00	19/12/17
	T2T1-05	Calha	23 K	661.540	7.763.222	2,00	19/12/17
	T2T1-06	Planície Direita	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T2T1-07	Planície Direita	23 K	661.542	7.763.194	7,47	19/12/17
	T2T1-08	Encosta Direita	23 K	661.539	7.763.164	0,25	19/12/17
T2T2	T2T2-01	Encosta Esquerda	23 K	661.965	7.763.039	1,00	20/12/17
	T2T2-02	Planície Esquerda	23 K	661.924	7.763.029	8,40	19/12/17
	T2T2-03	Calha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T2T2-04	Calha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T2T2-05	Calha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T2T2-06	Planície Direita	23 K	661.819	7.762.967	8,10	19/12/17
	T2T2-07	Planície Direita	23 K	661.768	7.762.940	10,00	19/12/17
	T2T2-08	Encosta Direita	23 K	661.767	7.762.919	0,25	19/12/17
T3T1	T3T1-01	Encosta Esquerda	23 K	663.467	7.761.759	0,74	20/12/17
	T3T1-02	Planície Esquerda	23 K	663.485	7.761.740	2,61	20/12/17
	T3T1-03	Calha	23 K	663.484	7.761.738	1,70	20/12/17
	T3T1-04	Calha	23 K	663.493	7.761.737	1,70	20/12/17
	T3T1-05	Calha	Sondagem não realizada: ponto muito próximo ao T3T1-06				
	T3T1-06	Planície Direita	23 K	663.508	7.761.728	3,10	20/12/17
	T3T1-07	Planície Direita	23 K	663.527	7.761.760	4,60	20/12/17

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAGENS	LOCALIZAÇÃO DA SONDAAGEM	COORDENADAS UTM			PROFUNDIDADE DA SONDAAGEM	DATA DA SONDAAGEM
			Fuso	Leste	Norte		
	T3T1-08	Planície Direita	23 K	663.570	7.761.692	2,46	20/12/17
	T3T1-09	Planície Direita	23 K	663.592	7.761.663	2,88	20/12/17
T4T1	T4T1-01	Encosta Esquerda	23 K	663.775	7.761.789	0,44	21/12/17
	T4T1-02	Planície Esquerda	23 K	663.780	7.761.769	3,80	21/12/17
	T4T1-03	Planície Esquerda	23 K	663.787	7.761.759	5,91	21/12/17
	T4T1-04	Planície Esquerda	23 K	663.798	7.761.735	5,32	21/12/17
	T4T1-05	Planície Esquerda	23 K	663.804	7.761.714	5,37	21/12/17
	T4T1-06	Calha	23 K	663.794	7.761.716	1,51	21/12/17
	T4T1-07	Calha	23 K	663.797	7.761.708	0,78	21/12/17
	T4T1-08	Encosta Direita	23 K	663.807	7.761.695	0,30	21/12/17
T4T2	T4T2-01	Extracalha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T4T2-02	Extracalha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T4T2-03	Calha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T4T2-04	Calha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T4T2-05	Calha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T4T2-06	Calha	Sondagem não realizada: condição insegura para a realização da amostragem				
	T4T2-07	Encosta Direita	23 K	663.876	7.760.323	0,40	21/12/17
	T4T2-08	Encosta Direita	23 K	663.871	7.760.317	0,41	21/12/17
	T4T2-09	Encosta Direita	23 K	663.903	7.760.338	0,41	21/12/17

Com exceção do T1T2, foram coletadas amostras em todos os transectos para análises laboratoriais avaliando cada uma das camadas. Para o depósito intracalha foram avaliadas a granulometria e as concentrações de metais. Para o depósito extracalha, foram realizadas as mesmas avaliações com a adição das análises que ofereceram dados sobre a fertilidade do solo (macro nutrientes, pH, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, porosidade e densidade). As amostras de fertilidade foram coletadas nos primeiros 20 cm, contados da superfície, após remoção de qualquer vegetação, material orgânico e/ou serapilheira acumulada na superfície. As amostras para metais foram coletadas a aproximadamente 30 cm de profundidade contados da superfície.

Desta maneira, para cada transecto, na seção intracalha, foram coletadas 3 amostras simples para granulometria e 3 amostras compostas para concentrações de metais, sendo uma amostra para cada parâmetro para cada camada (rejeito lavado, rejeito inconsolidado e substrato natural) e na seção extracalha, 2 amostras simples para granulometria e 2 amostras

compostas para concentrações de metais para a seção extracalha (rejeito e substrato natural) e 1 amostra composta para análise de fertilidade (apenas camada superficial da planície, onde realmente pode haver culturas). A metodologia de amostragem está detalhada na Seção 5.2.3.2.1.

A Tabela 22, ilustra a quantidade e camadas que foram coletadas as amostras em cada um dos transectos selecionados.

Tabela 22 – Quantidade e Camadas de Coleta das Amostras para cada Transecto Selecionado nas Encosta, Planície e Calha – Trechos 1 ao 4

ANÁLISE EM LABORATÓRIO	INTRACALHA				EXTRACALHA			
	Número Total de Amostras	Número de Amostra por Camada	Camada a ser Coletada a Amostra	Tipo de Amostra	Número Total de Amostras	Número de Amostra por Camada	Camada a ser Coletada a Amostra	Tipo de Amostra
Granulometria	3	1	Rejeito Lavado	Simple	2	1	Rejeito	Simple
		1	Rejeito Inconsolidado	Simple		1	Substrato Natural	Simple
		1	Substrato Natural	Simple				
Metais	3	1	Rejeito Lavado	Composta	2	1	Rejeito	Composta
		1	Rejeito Inconsolidado	Composta		1	Substrato Natural	Composta
		1	Substrato Natural	Composta				
Fertilidade do Solo*	-	-	-	-	1	1	Rejeito da Planície de Inundação Mais Larga	Composta

*Análise para Macronutrientes, pH, Matéria Orgânica, Capacidade de Troca de Cátions, Indeformada (densidade, granulometria, porosidade, umidade)

5.2.3.2.1 Sondagem Manual / Amostragem

As atividades de sondagem manual foram baseadas na metodologia estabelecida na norma técnica ABNT – NBR 15492:2007 Sondagem de Reconhecimento para Fins de Qualidade Ambiental – Procedimento.

Para as sondagens realizadas extracalha adotou-se o uso de cavadeira e trado manual tipo Caneco acoplado em hastes, sendo introduzido na superfície de interesse e rotacionado manualmente até que se alcançasse a estratigrafia ou profundidade desejada. O equipamento é então içado manualmente do local de sondagem e amostras deformadas dos substratos (solo ou rejeito) são recuperadas com colheres devidamente higienizadas e descontaminadas (bem como o equipamento de perfuração) ou diretamente com as mãos pelos técnicos, munidos de luvas nitrílicas, evitando contaminações. Em locais onde a perfuração rotacionada não apresentou eficiência, adotou-se a cravação manual por percussão de amostradores metálicos bipartidos ou amostradores metálicos de peça única com liner para recuperação de amostras (testemunho), ou como alternativa para romper camadas estratigráficas com maior grau de compactação e dureza ou cujas paredes cedem ao perder a coesão das porções de substrato removidas.

Para as sondagens intracalha, o uso de cavadeira e trado tipo Caneco não se apresentou eficiente e, portanto, utilizou-se o método de cravação manual de amostradores bipartidos (ou de peça única) ou com *liners* (tubos transparentes em PVC, com diâmetro externo de 44 mm [*macro core*] e comprimento de 1158 mm, com tampas removíveis nas extremidades em cores vermelha e preta, com o intuito de diferenciar topo e base do testemunho para análise das camadas estratigráficas). Vale ressaltar que as diferentes camadas geológicas oferecem resistências e coesões distintas, e em campo, os técnicos de campo da JACOBS CH2M e equipes de sondagem, variaram o equipamento amostragem de acordo com cada cenário encontrado.

As sondagens intracalha e extracalha prosseguiram até que se identificasse o substrato natural sobre o qual se assentam os depósitos de rejeitos e até que quantidades deste material fossem suficientes para coleta das amostras. A recuperação de amostras do substrato natural não foi realizada em sondagens onde se atingiu afloramentos rochosos, alterações de rocha e outras camadas geológicas intransponíveis.

Uma vez identificadas a passagem entre as distintas camadas estratigráficas esperadas para os contextos, foram coletadas 3 amostras simples na porção intracalha para granulometria, sendo uma amostra de cada camada (rejeito lavado, rejeito inconsolidado e substrato natural) e 2 amostras simples na porção extracalha para granulometria para cada camada da porção (rejeito e substrato natural).

Nos pontos também foram coletadas amostras para análise química de metais, sendo 3 amostras compostas para a porção intracalha (rejeito lavado, rejeito inconsolidado e substrato natural) e, 2 amostras compostas para a porção extracalha, sendo uma amostra para cada camada encontrada (rejeito e substrato natural).

Para seção extracalha, também foram coletadas amostras para avaliação da fertilidade do solo (macronutrientes, pH, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, e indeformada), amostra esta composta por alíquotas do rejeito coletadas nos furos de sondagem realizadas nas planícies de inundação a aproximadamente 20 cm de profundidade, com exceção da amostra indeformada, que foi coletada somente uma por transecto em um ponto de sondagem na planície de inundação.

Para a amostra composta, alíquotas do rejeito foram coletadas em cada um dos pontos de sondagem de mesma porção (intracalha e extracalha nunca se misturam). As alíquotas foram misturadas e homogeneizadas em uma bandeja de plástico descontaminada e os restos de raízes e rochas maiores de 10 cm de diâmetro foram removidas.

Após a homogeneização, o material foi distribuído igualmente na bandeja e foi feito o quarteamento para posterior coleta das amostras nos frascos fornecidos pelo laboratório e acondicionamento das mesmas em caixas térmicas com gelo, de modo a manter a temperatura em torno dos 4°C. O quarteamento, segundo a ABNT NBR 10007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos, consiste no:

“processo de divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado”.

As amostras foram enviadas ao laboratório acompanhadas das respectivas cadeias de custódia, dentro do prazo de preservação das mesmas, respeitando o *Holding Time* de cada Substância Química de Interesse (SQI).

As amostras de solo foram enviadas para análise no laboratório Eurofins *Analytical Technology* (Anatech). Os laudos analíticos das amostras encontram-se no **Anexo VI**.

Segundo a norma supramencionada nesta seção e a experiência em campo, a técnica de sondagem adotada apresentou as seguintes vantagens diante das demais conhecidas no mercado:

- Não houve necessidade de utilização de fluidos de perfuração;
- Foi possível recuperar amostras para coleta e análises físico-químicas;
- O equipamento compacto e relativamente leve, permitiu mobilidade para transitar entre os pontos de interesse, pontos este localizados em áreas remotas e de difícil acesso.

A cada sondagem realizada, os técnicos de campo utilizaram o documento Ficha de Sondagem (**Anexo V**), elaborado pela JACOBS CH2M para registrar as informações de coleta, como data, equipe responsável, equipamentos, coordenadas, dados litológicos e construtivos, amostras coletadas, entre outras.

Em cada uma das sondagens foi realizada a perfilagem e descrição do material encontrado, identificando o rejeito lavado, rejeito inconsolidado e o solo/sedimento natural da área. Cada ponto de sondagem teve registrada as coordenadas geográficas com a utilização de um GPS e, sempre que possível, fotos dos locais de sondagem, amostragem e dos trabalhos de campo para posterior identificação das áreas e apresentação do relatório fotográfico. A espessura e a descrição litológica de cada camada foram registradas e classificadas com base nas camadas encontradas em trabalhos anteriores.

5.2.3.2.2 *Coleta de Amostras Compostas*

Conforme mencionado anteriormente, adotou-se a amostragem composta para análises de concentrações de metais pela premissa fundamental de que os depósitos de rejeitos foram formados por um processo de decantação a partir de uma massa fluida composta por água,

rejeitos oriundos da barragem de Fundão e outros materiais que foram sendo incorporados ao longo do trajeto dessa massa. Nesse movimento, a própria dinâmica do fluxo da massa fluida rio abaixo, submetida a movimentos turbulentos, especialmente nas passagens estreitas e na forma de gargantas dos vales que separam as planícies aluvionares onde se depositaram, funcionou como um processo de homogeneização bastante efetivo do material.

A deposição dos sólidos dessa massa fluida se deu por decantação, quando os movimentos turbulentos reduzem ou cessam e, assim também as forças que mantêm essas partículas em suspensão. Tal situação ocorreu predominantemente nas planícies aluvionares as quais, por constituírem espaços amplos, permitiram que tal massa ocupasse áreas muito maiores que os trechos em vales estreitos e, assim, a velocidade de deslocamento diminuísse a ponto de permitir a decantação dos rejeitos.

Deste modo, não se espera uma diferenciação lateral (ou horizontal) nas características dos materiais sedimentados, podendo haver, teoricamente, alguma segregação vertical nesses depósitos. Isto porque, num processo de decantação, as partículas mais grosseiras em suspensão decantam primeiramente, constituindo a base do perfil dos depósitos, e as partículas mais finas decantam ao final, quando as velocidades de fluxo se reduzem ao mínimo. Tal segregação não se verificou em campo, situação que pode ser atribuída à estreita faixa granulométrica que caracteriza os rejeitos da barragem de Fundão, com amplo predomínio de areia fina.

Também deve se destacar que os depósitos de rejeito formados na calha fluvial, no momento de sua formação, obedeciam às mesmas condições da decantação nas planícies aluvionares. Apenas após o retorno do fluxo das águas para o canal fluvial, ou seja, após o refluxo da “onda de cheia” das planícies, os materiais depositados na calha passaram a ser remobilizados e a serem retrabalhados e redepositados de acordo com condicionamentos da geometria do canal e de outros fatores intrínsecos à dinâmica fluvial.

Uma análise comparativa de amostras individuais e de amostras compostas será realizada em um setor de planície aluvionar do Trecho 8 contendo depósitos de rejeitos extracalha e não afetados pelos trabalhos de controle emergencial da erosão, de forma a verificar a hipótese acima descrita. Seus resultados serão apresentados assim que as coletas e análises laboratoriais estejam concluídas.

5.2.3.2.3 *Identificação de Sondagens e Amostras*

No presente estudo foi adotada nomenclatura própria para identificação das sondagens e amostras realizadas, conforme segue.

Identificação das Sondagens

“T” seguido pelo nº do Trecho + “T” seguido pelo nº do Transecto + nº da Sondagem

Desta forma, uma sondagem denominada **T2T01-05** corresponde à sondagem realizada Trecho 2, Transecto 1, ponto nº 05.

Identificação das Amostras

Nº do Trecho + nº do Transecto - Intra ou Extracalha - Camada Coletada

Onde:

IC: Intracalha

EC: Extracalha

RI: Rejeito Inconsolidado

RL: Rejeito Lavado (para intracalha)

RE: Rejeito (para extracalha)

SN: Substrato Natural para Extracalha ou Intracalha

Desta forma, uma amostra denominada **0302-IC-RL** corresponde a uma amostra coletada no Trecho 3, Transecto 2, no contexto de intracalha, camada de rejeito lavado.

5.2.3.2.4 *Descontaminação de equipamentos*

Com o intuito de minimizar a possibilidade de contaminação cruzada, todos os equipamentos e ferramentas utilizados em campo, que estiveram em contato com as amostras recuperadas e que não eram considerados descartáveis, foram obrigatoriamente descontaminados entre a realização de cada ponto de sondagem / amostragem. O solo aderido, principalmente ao trado e suas hastas, foi removido com espátulas e esponjas e lavado com água e detergente alcalino, isento de fosfato.

5.2.3.2.5 Gerenciamento dos Resíduos Gerados em Campo

Os resíduos sólidos gerados durante as atividades de campo consistem basicamente em equipamentos de proteção individual, (EPI), mangueiras, plástico e papelão. Os resíduos sólidos foram dispostos em sacos de lixo e depositados em locais determinados pelo cliente. Todo o solo e sedimento proveniente das sondagens foi utilizado para o tamponamento dos furos no próprio local.

5.2.3.3 Análise Laboratorial

Após a coleta e a manipulação das amostras, estas foram acondicionadas em frascos fornecidos pelos laboratórios e colocadas em caixas térmicas com gelo, de modo a manter a temperatura em torno dos 4°C.

As amostras foram entregues ao Laboratório Eurofins Analytical Technology, na cidade de Belo Horizonte, MG, e posteriormente enviadas para a sede do laboratório localizado na cidade de São Paulo, SP para análise. Todas as amostras respeitaram os prazos de *Holding Time* e foram sempre acompanhadas da documentação – Cadeia de Custódia.

Para a análise das amostras, o laboratório utilizou as seguintes metodologias:

Granulometria:

Parâmetros Acreditados			
Parâmetro	Unidade	Grupo de Análise	Metodologia de Referência
Teor de Sólidos	%	Teor de Sólidos	USEPA 3550C:2007
Argila	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Silte	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia muito fina	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia fina	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia média	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia grossa	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia muito grossa	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia Total	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Cascalho	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011

Metais:

Parâmetros Acreditados			
Parâmetro	Unidade	Grupo de Análise	Metodologia de Referência
Teor de Sólidos	%	Teor de Sólidos	USEPA 3550C:2007
Alumínio Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Antimônio Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Arsênio Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Bário Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Boro Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Cádmio Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Chumbo Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Cobalto Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Cobre Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Cromo Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Ferro Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Manganês Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Mercúrio Total	mg/kg	Mercúrio Total	USEPA 7470A, USEPA 7473, USEPA 1631E, USEPA 7471B
Molibdênio Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Níquel Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Prata Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Selênio Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Vanádio Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Zinco Total	mg/kg	Metais Totais	USEPA 6010C:2007

Fertilidade do Solo:

Parâmetros Acreditados			
Parâmetro	Unidade	Grupo de Análise	Metodologia de Referência
Teor de Sólidos	%	Teor de Sólidos	USEPA 3550C:2007
Nitrogênio Total	mg/kg	Nitrogênio Total	SM 4500-N C. Persulfate Method:2003
pH(CaCl2)	---	pH em Cloreto de Cálcio	EMBRAPA - 2ª ed - 2011
Densidade Aparente	g/cm ³	Densidade Aparente	NBR 14065:2013 / EMBRAPA - 2ª ed - 2011 / EMBRAPA - 2ª ed - 2011
Argila	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Silte	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed -

			2011
Areia muito fina	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia fina	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia média	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia grossa	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia muito grossa	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Areia Total	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Cascalho	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Porosidade Total	%	Porosidade	EMBRAPA - 2ª ed - 2011
Macroporosidade (Porosidade Efetiva)	%	Porosidade	EMBRAPA - 2ª ed - 2011
Umidade	%	Umidade	EMBRAPA - 2ª ed - 2011
Matéria Orgânica Total	%	Matéria Orgânica Total e Fração Orgânica de Carbono	EMBRAPA - 2ª ed - 2011/IAC - 1a. Ed- 2001
Carbono Orgânico Total	%	Teor de Carbono Orgânico Total (TOC)	EMBRAPA - 2ª ed - 2011/IAC - 1a. Ed- 2001
pH	---	pH	USEPA 9040C:2004

Parâmetro	Unidade	Parâmetros Acreditados	
		Grupo de Análise	Metodologia de Referência
Soma de Bases	mmolc/dm3	Metais Totais	IAC 2001
Fósforo Remanescente (CaCl2+60 mg P/L)	mg/L	Fósforo Remanescente (CaCl2+60 mg P/L)	USEPA 6010C:2007
Fósforo	mg/dm3	Metais Totais	IAC 2001
Potássio	mg/dm3	Metais Totais	IAC 2001
Cálcio	mg/kg	Metais Totais	IAC 2001
Magnésio	mg/kg	Metais Totais	IAC 2001
Enxofre	mg/dm3	Metais Totais	IAC 2001
Alumínio	mg/dm3	Metais Totais	IAC 2001
Saturação de Bases	%	Saturação de Bases	IAC 2001
Saturação Al	%	Saturação Al	IAC 2001
H+Al	mmolc/dm3	Metais Totais	IAC 2001
CTC	mmolc/dm3	Metais Totais	IAC 2001
Fosforo Resina	mg/dm3	Fosforo Resina	IAC 2001
Fração (2,0 - 4,8mm)	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Fração (4,8 - 19,1mm)	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011
Fração (> 19,1mm)	%	Granulometria	Boletim IAC 106/ Embrapa - 2a. Ed - 2011

5.2.3.4 Unidades de Análise

A fim de facilitar o diagnóstico e avaliação de impactos nos cursos d'água, os Trechos 1 ao 4 foram subdivididos em duas unidades de análise. Estas unidades foram determinadas de acordo com a geomorfologia e as estruturas implantadas no local, de forma que foram identificadas as áreas de planícies ou estruturas artificiais, como a barragem Nova Santarém e o Dique S3, capazes de reter os rejeitos, seguidas por vales em garganta, onde a retenção dos rejeitos e formação de depósitos é desfavorável.

As declividades para cada unidade de análise foram calculadas com base na equação a seguir e os resultados das declividades são apresentados na Tabela 23.

$$\text{Declividade } [\%] = \frac{\Delta \text{ Elevação [m]}}{\Delta \text{ Extensão [m]}} * 1000$$

Tabela 23 - Declividades médias das unidades de análise

UNIDADE DE ANÁLISE	Δ EXTENSÃO [M]	Δ ELEVAÇÃO [M]	DECLIVIDADE MÉDIA [%]
T1T4-UA1	2840	8	2,82
T1T4-UA2	1740	3	1,72

No Trecho 1, a jusante de onde se localizava a barragem de Fundão e a jusante de onde hoje está sendo construído o dique Eixo 1, se inicia a garganta 1, a qual é caracterizada por uma seção estreita entre afloramentos rochosos (Figura 48) e declividade média elevada de 59,76%. A unidade de análise T1T4-UA1 se inicia ainda no Trecho 1, após a garganta mencionada, no meandro que contorna um afloramento rochoso, próximo ao ponto onde se forma o remanso da barragem de Santarém, conforme identificado por imagens de satélite. A T1T4-UA1 se estende até as Barragens de Santarém (antiga) e Nova Santarém, no final do Trecho 2.

Figura 48 – Geomorfologia da Garganta 1, identificada no Trecho 1



Fonte: Foto obtida no dia 25 de agosto de 2016;
Coordenadas UTM: 660.840,56 L, 7.763.700,27 S

Após a barragem de Santarém, no Trecho 3, configura-se novamente um vale em garganta, com declividade média elevada (41,67‰) e seção estreita entre afloramentos rochosos (Garganta 2 – Figura 49). Devido a estas características, as gargantas dificultam a deposição de rejeito, de forma que as Gargantas 1 e 2 não foram consideradas nas unidades de análise. As fotos da Figura 48 e da Figura 49 também mostram que as áreas extracalha das gargantas já foram lavadas durante os períodos chuvosos que se sucederam após o evento, expondo completamente o maciço rochoso.

Figura 49 – Geomorfologia da Garganta 2, identificada no Trecho 3



Notas: Foto obtida no dia 25 de agosto de 2016

Coordenadas UTM: 663.476,11 L, 7.761.856,59 S

A segunda unidade de análise (T1T4-UA2) se inicia no meandro final do Trecho 3, que contorna outro afloramento rochoso, onde foram identificados depósitos intracalha e extracalha de rejeito, em imagens de satélite, após o acidente. A T1T4-UA2 estende-se até o Dique S3, compreendendo também o tributário Córrego Mirandinha, sendo parcialmente inundado pelo reservatório do Dique S3.

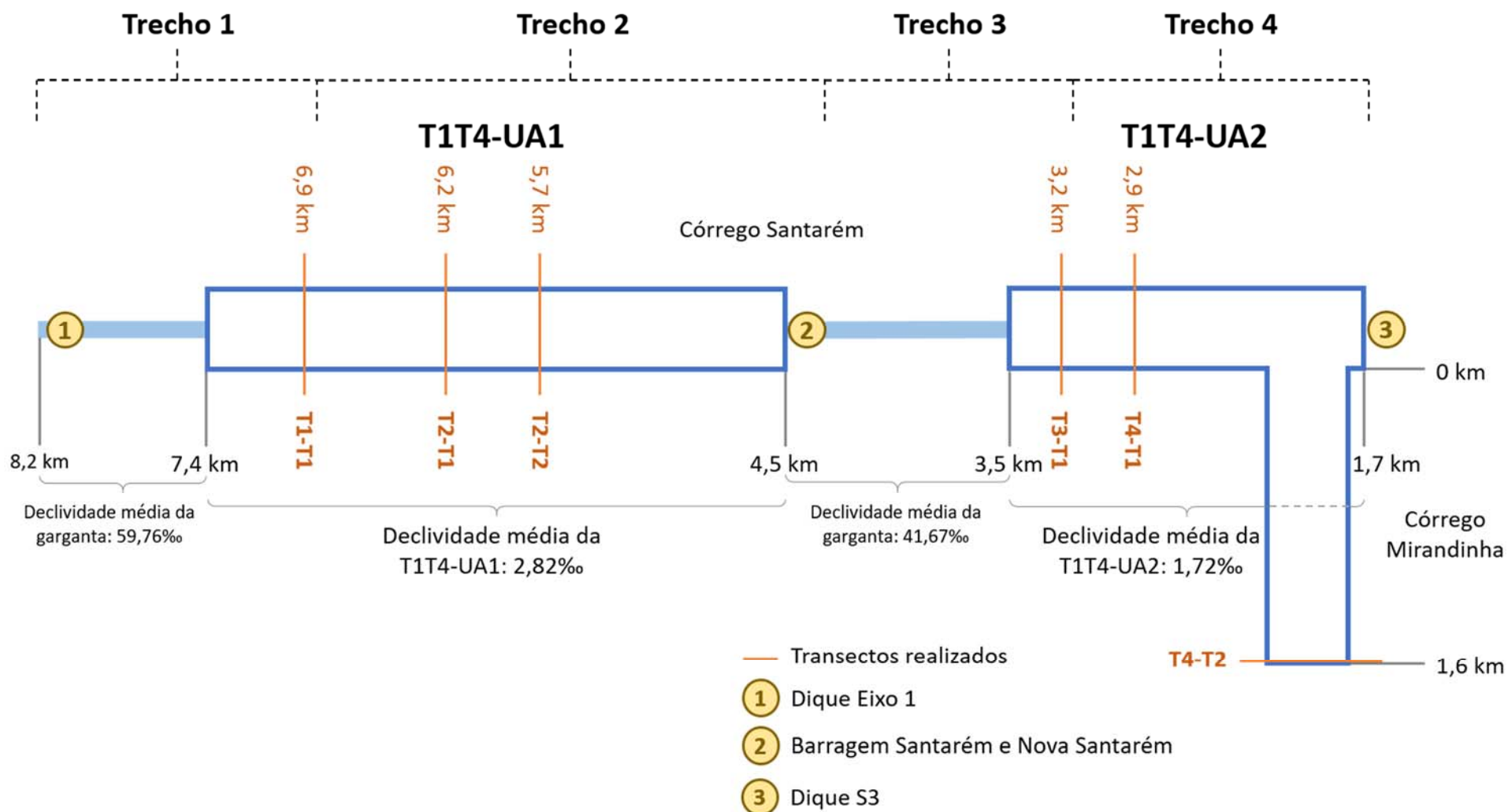
Figura 50 – Início da unidade de análise T3-T4-UA



Fonte: Foto obtida no dia 25 de agosto de 2016;
Coordenadas UTM: 663.767,81 L, 7.761.740,22 S

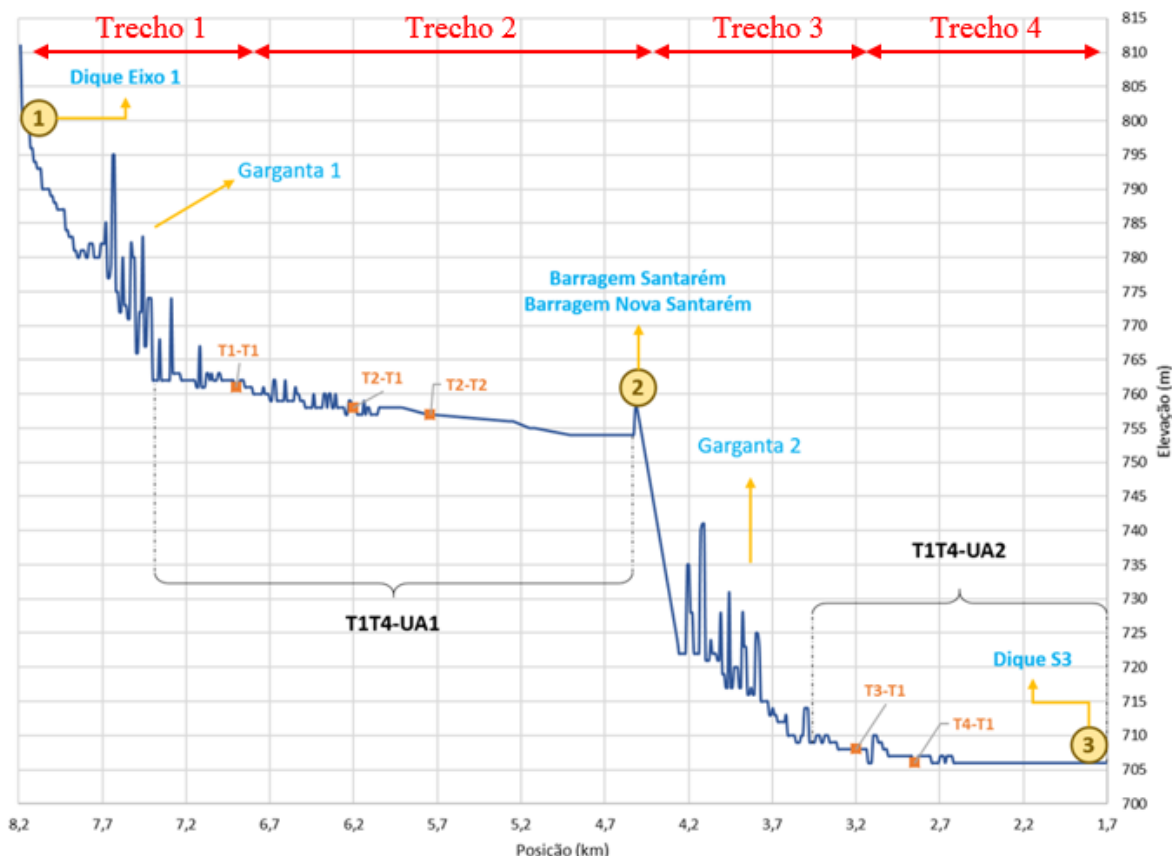
O diagrama da Figura 51 ilustra cada unidade de análise no curso do Córrego Santarém (considerando km 0 na confluência do Córrego Santarém com o Rio Gualaxo do Norte), suas declividades médias e também a posição das gargantas ao longo dos trechos. Da mesma forma, estão indicadas as localizações do transectos definidos para coleta de dados no Trechos 1 ao 4, indicando sua posição em km (a definição da localização dos pontos de amostragem ou transectos encontra-se descrita na Seção 5.2.3.1). Cabe destacar que o tributário, Córrego Mirandinha, afluente do reservatório do dique S3, foi considerado na unidade de análise T1T4-UA2.

Figura 51 – Unidades de análise e localização dos transectos nos Trechos 1 ao 4



Para melhor ilustrar como foram definidas as unidades de análise acima, a Figura 52 mostra o gráfico da elevação do perfil longitudinal do Córrego Santarém nos Trechos 1 ao 4. Na Figura 52 também constam as principais estruturas de contenção nos trechos, as quais foram importantes na definição da UAs, juntamente com a geomorfologia fluvial e declividade longitudinal do curso d'água.

Figura 52 – Perfil longitudinal dos Trechos 1 ao 4 e localização dos transectos e unidades de análise definidas



5.2.3.5 Utilização dos Dados de Campo na Caracterização do Depósito

Os dados coletados em campo são incorporados no processo de tomada de decisão, conforme listado abaixo.

Tabela 24 – Utilização dos Dados de Campo no Processo de Tomada de Decisão

DADOS COLETADOS EM CAMPO	INFORMAÇÃO GERADA	FINALIDADE
Espessura do rejeito na calha, margens, planícies de inundação e encostas	Distribuição do rejeito intracalha e extracalha em diversos pontos do rio	Avaliar a distribuição do rejeito espacialmente nos diferentes pontos dos transectos e ao longo do rio, estimar o volume do rejeito depositado nos diferentes trechos e identificar os pontos com os maiores depósitos

DADOS COLETADOS EM CAMPO	INFORMAÇÃO GERADA	FINALIDADE
Medição da espessura do <i>lag layer</i> no leito do rio	Registro da espessura do <i>lag layer</i> em diferentes pontos do transecto e em diversos pontos do rio	Avaliar a remobilização do sedimento no leito do rio com base em eventos pontuais e críticos e como o <i>lag layer</i> é distribuído ao longo do rio
Granulometria das diferentes camadas na calha do rio (<i>lag layer</i> , rejeito inconsolidado e substrato natural)	Comparação dos diferentes tamanhos de grãos nas camadas distintas formadoras da calha do rio	Identificar os pontos com maior porção de material fino (argila e silte) que podem estar contribuindo para o aumento da turbidez do rio
Granulometria das diferentes camadas na planície de inundação (rejeito e substrato natural)	Comparação dos diferentes tamanhos de grãos nas distintas camadas encontradas nas planícies aluvionares	Avaliar se existe uma homogeneidade com relação a textura do rejeito entre as diferentes planícies e se há uma relação entre os diferentes trechos (montante vs jusante)
Análise química de metais nas diferentes camadas de substrato e solo	Concentrações de metais no perfil vertical em diferentes pontos do rio	Avaliar a distribuição espacial das concentrações de metais nas diferentes camadas encontradas no sedimento e como isto se comporta em diferentes pontos do rio
Análise química e física para avaliar a fertilidade do solo das áreas impactadas	Concentrações de macro nutrientes e outros parâmetros para verificar a fertilidade do solo / rejeito	Verificar se o rejeito que se encontra depositado nas áreas impactadas contém os macros nutrientes e condições físicas para sustentar diferentes estágios de regeneração da vegetação

5.2.4 Resultados dos Aspectos Físicos e Químicos

Para a caracterização ambiental dos depósitos de rejeito foram realizadas atividades de campo com o objetivo de avaliar a presença e as características do rejeito, nos seus aspectos físicos e químicos, verificar a dinâmica de deposição e medir a espessura desses materiais, quando presentes, visando ao entendimento dos mecanismos de disposição, e fornecendo dados para a tomada de decisão para o manejo do rejeito. Para a avaliação destes aspectos foram estabelecidas as seguintes atividades:

1. Seleção das áreas de amostragem em cada um dos trechos a serem amostrados.
2. Avaliação da espessura do rejeito depositado nos transectos selecionados com amostragem intracalha e extracalha;
3. Coleta de dados (campo e análise em laboratório) para a caracterização do rejeito e sua distribuição espacial;
4. Estimativa da quantidade (volume) de rejeito depositado em cada trecho do rio.

5.2.4.1 Espessura de Rejeito nos Transectos

Com base nas descrições das sondagens realizadas, foram determinadas as espessuras do material encontrado nos diferentes depósitos (extracalha e intracalha) nos Trechos 1 ao 4 do córrego Santarém. Os dados desta avaliação foram compilados e são apresentados na Tabela 25, Tabela 26 e Tabela 27.

Tabela 25 - Resultados de Espessura de Rejeito nos Transectos (m)

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAJENS	LOCALIZAÇÃO DA SONDAJEM	ESPESSURA DO REJEITO LAVADO INTRACALHA	ESPESSURA DO REJEITO INCONSOLIDADO INTRACALHA	ESPESSURA DO REJEITO EXTRACALHA	ESPESSURA TOTAL DO REJEITO
T1T1	T1T1-01	Encosta Esquerda	-	-	0,00	0,00
	T1T1-02	Planície Esquerda	-	-	6,43	6,43
	T1T1-03	Calha	0,40	1,80	-	2,20
	T1T1-04	Calha	0,40	0,80	-	1,20
	T1T1-05A	Planície Direita	-	-	4,20	4,20
	T1T1-05B	Planície Direita	-	-	5,80	5,80
	T1T1-06	Calha	0,00	1,48	-	1,48
	T1T1-07	Planície Direita	-	-	7,60	7,60
T1T1-08	Encosta Direita	-	-	0,00	0,00	
T2T1	T2T1-01	Encosta Esquerda	-	-	0,00	0,00
	T2T1-02	Planície Esquerda	-	-	6,20	6,20
	T2T1-03	Calha	0,00	1,90	-	1,90
	T2T1-04	Calha	0,00	0,65	-	0,65
	T2T1-05	Calha	0,13	1,77	-	1,90
	T2T1-06	Calha	-	-	-	-
	T2T1-07	Planície Direita	-	-	7,47	7,47
	T2T1-08	Encosta Direita	-	-	0,07	0,07
T2T2	T2T2-01	Encosta Esquerda	-	-	0,00	0,00
	T2T2-02	Planície Esquerda	-	-	5,85	5,85
	T2T2-03	Calha	-	-	-	-
	T2T2-04	Calha	-	-	-	-
	T2T2-05	Calha	-	-	-	-
	T2T2-06	Planície Direita	-	-	7,40	7,40
	T2T2-07	Planície Direita	-	-	9,60	9,60
	T2T2-08	Encosta Direita	-	-	0,10	0,10
T3T1	T3T1-01	Encosta Esquerda	-	-	0,73	0,73
	T3T1-02	Planície Esquerda	-	-	2,60	2,60
	T3T1-03	Calha	0,00	1,70	-	1,70
	T3T1-04	Calha	0,00	1,70	-	1,70
	T3T1-05	Calha	-	-	-	-
	T3T1-06	Planície Direita	-	-	3,10	3,10
	T3T1-07	Planície Direita	-	-	4,60	4,60
	T3T1-08	Planície Direita	-	-	2,25	2,25
	T3T1-09	Planície Direita	-	-	2,58	2,58
T4T1	T4T1-01	Encosta Esquerda	-	-	0,36	0,36
	T4T1-02	Calha	2,90	0,38	-	3,28
	T4T1-03	Calha	0,32	5,56	-	5,88
	T4T1-04	Calha	0,28	5,02	-	5,30
	T4T1-05	Calha	0,00	5,36	-	5,36
	T4T1-06	Calha	0,00	1,51	-	1,51
	T4T1-07	Calha	0,00	0,78	-	0,78
	T4T1-08	Encosta Direita	-	-	0,22	0,22

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAgens	LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM	ESPESSURA DO REJEITO LAVADO INTRACALHA	ESPESSURA DO REJEITO INCONSOLIDADO INTRACALHA	ESPESSURA DO REJEITO EXTRACALHA	ESPESSURA TOTAL DO REJEITO
T4T2	T4T2-01	Encosta	-	-	-	-
	T4T2-02	Encosta	-	-	-	-
	T4T2-03	Calha	-	-	-	-
	T4T2-04	Calha	-	-	-	-
	T4T2-05	Calha	-	-	-	-
	T4T2-06	Extracalha	-	-	-	-
	T4T2-07	Encosta Direita	-	-	0,23	0,23
	T4T2-08	Encosta Direita	-	-	0,19	0,19
	T4T2-09	Encosta Direita	-	-	0,16	0,16

Tabela 26 – Resultados de Espessuras Médias de Rejeito (m)

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAGENS	ESPESSURA MÉDIA DO REJEITO LAVADO INTRACALHA	ESPESSURA MÉDIA DO REJEITO INCONSOLIDADO INTRACALHA	ESPESSURA TOTAL DAS MÉDIAS DO REJEITO INTRACALHA	ESPESSURA MÉDIA DO REJEITO EXTRACALHA
T1T1	T1T1-01	0,27	1,36	1,63	4,01
	T1T1-02				
	T1T1-03				
	T1T1-04				
	T1T1-05A				
	T1T1-05B				
	T1T1-06				
	T1T1-07				
T2T1	T1T1-08	0,04	1,44	1,48	3,44
	T2T1-01				
	T2T1-02				
	T2T1-03				
	T2T1-04				
	T2T1-05				
	T2T1-06				
	T2T1-07				
T2T2	T2T1-08	-	-	-	4,59
	T2T2-01				
	T2T2-02				
	T2T2-03				
	T2T2-04				
	T2T2-05				
	T2T2-06				
	T2T2-07				
T3T1	T2T2-08	0,00	1,70	1,70	2,64
	T3T1-01				
	T3T1-02				
	T3T1-03				
	T3T1-04				
	T3T1-05				
	T3T1-06				
	T3T1-07				
	T3T1-08				
T3T1-09					
T4T1	T4T1-01	0,58	3,10	3,69	0,29
	T4T1-02				
	T4T1-03				
	T4T1-04				
	T4T1-05				
	T4T1-06				

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAgens	ESPESSURA MÉDIA DO REJEITO LAVADO INTRACALHA	ESPESSURA MÉDIA DO REJEITO INCONSOLIDADO INTRACALHA	ESPESSURA TOTAL DAS MÉDIAS DO REJEITO INTRACALHA	ESPESSURA MÉDIA DO REJEITO EXTRACALHA
	T4T1-07				
	T4T1-08				
	T4T2-01				
	T4T2-02				
	T4T2-03				
	T4T2-04				
T4T2	T4T2-05	-	-	-	0,19
	T4T2-06				
	T4T2-07				
	T4T2-08				
	T4T2-09				

Tabela 27 – Resultados de Espessura de Rejeito por Contexto (m)

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAgens	ESPESSURA MÉDIA POR CONTEXTO				
		Encosta		Planície		Calha
		Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	
	T1T1-01					
	T1T1-02					
	T1T1-03					
	T1T1-04					
T1T1	T1T1-05A	0,00	0,00	5,87	6,43	1,63
	T1T1-05B					
	T1T1-06					
	T1T1-07					
	T1T1-08					
	T2T1-01					
	T2T1-02					
	T2T1-03					
T2T1	T2T1-04	0,07	0,00	7,47	6,20	1,48
	T2T1-05					
	T2T1-06					
	T2T1-07					
	T2T1-08					
	T2T2-01					
	T2T2-02					
	T2T2-03					
T2T2	T2T2-04	0,10	0,00	8,5	5,85	-
	T2T2-05					
	T2T2-06					
	T2T2-07					
	T2T2-08					

IDENTIFICAÇÃO DOS TRANSECTOS	IDENTIFICAÇÃO DAS SONDAgens	ESPESSURA MÉDIA POR CONTEXTO				
		Encosta		Planície		Calha
		Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	
T3T1	T3T1-01					
	T3T1-02					
	T3T1-03					
	T3T1-04					
	T3T1-05	-	0,73	3,13	2,60	1,70
	T3T1-06					
	T3T1-07					
	T3T1-08					
	T3T1-09					
T4T1	T4T1-01					
	T4T1-02					
	T4T1-03					
	T4T1-04	0,22	0,36	-	-	3,69
	T4T1-05					
	T4T1-06					
	T4T1-07					
	T4T1-08					
T4T2	T4T2-01					
	T4T2-02					
	T4T2-03					
	T4T2-04					
	T4T2-05	0,19	-	-	-	-
	T4T2-06					
	T4T2-07					
	T4T2-08					
	T4T2-09					

As características dos materiais encontrados durante as atividades de sondagem para os Trechos 1 ao 4 foram:

Intracalha

- **Rejeito Lavado (RL)** (*lag layer*): Camada de material de matriz arenosa, que varia de fina a média, de coloração que varia de cinza claro a cinza escuro, friável;
- **Rejeito Inconsolidado (RI)**: Material de matriz arenosa, que varia de fina a média, com porções variáveis de argila e silte, de coloração marrom avermelhado, pouco plástico, inconsolidado e saturado;

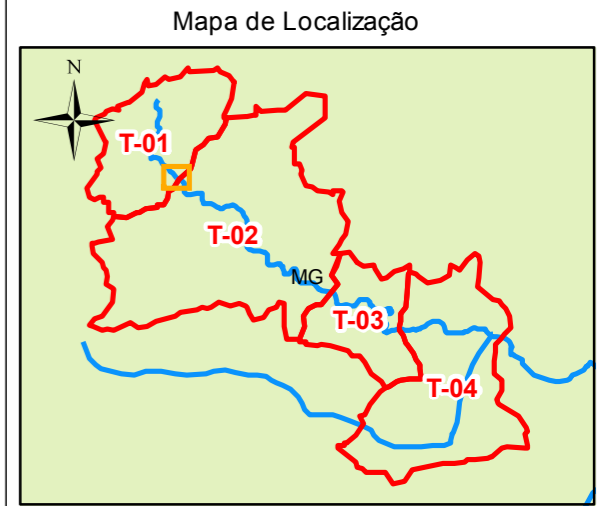
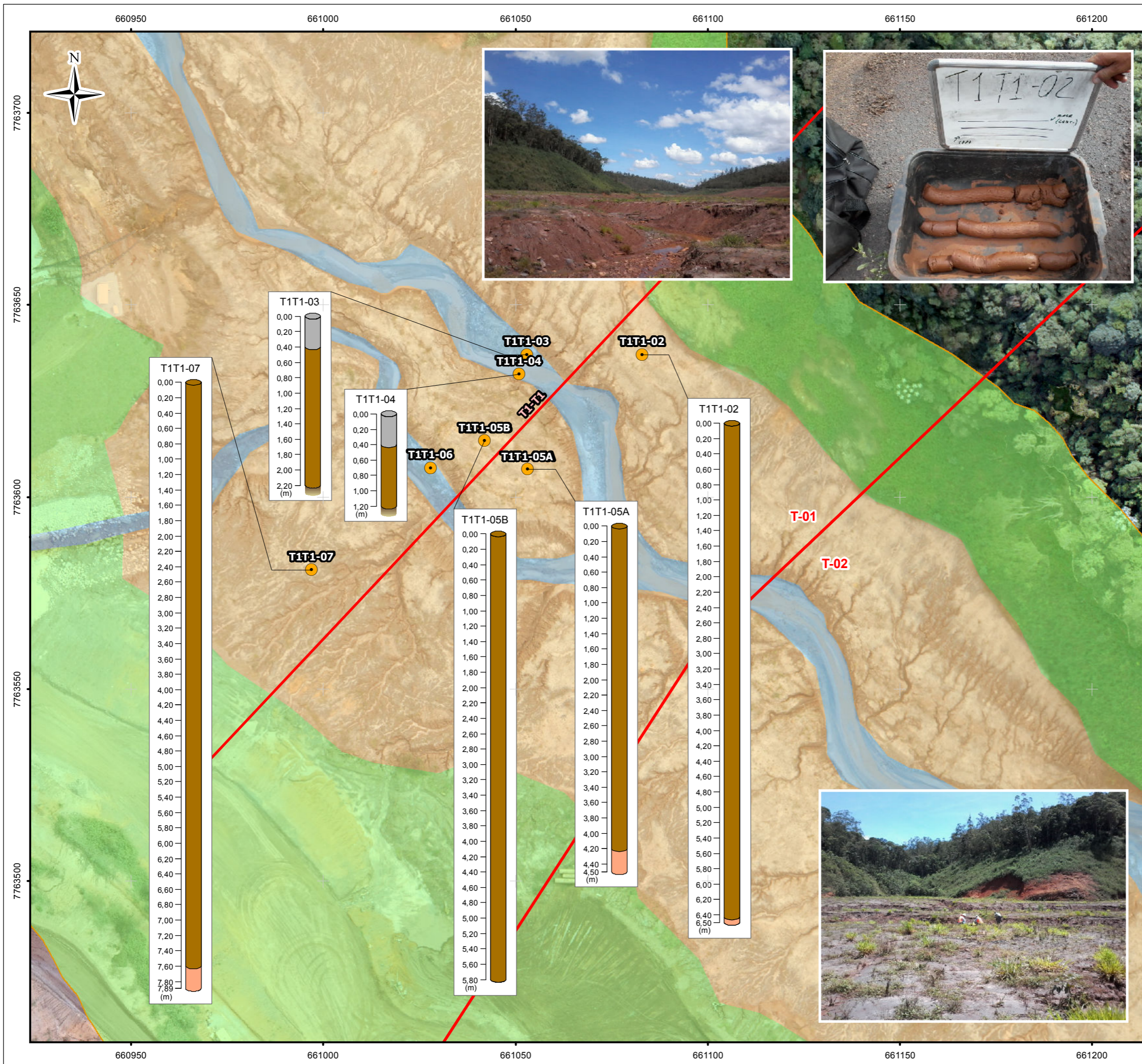
- **Substrato Natural (SN) (leito original do rio):** Material diverso, formado por areia média a grossa com grãos e seixos de quartzo, grãos de minério de ferro, de coloração que varia de cinza escura a cinza claro; areia fina de coloração verde oliva; argila siltosa marrom escuro, plástica; alteração de rocha e rocha sã.

Extracalha

- **Rejeito (RE):** Material de matriz arenosa, que varia de fina a média, com porções variáveis de argila e silte, de coloração marrom avermelhado, pouco plástico, úmido, mas não saturado;
- **Substrato Natural (SN):** Material diverso, formado por argila arenosa marrom escura ou cinza; areia grossa a fina cinza; silte arenoso amarelado; argila marrom clara, argila cinza, etc. Em alguns pontos foram observados matéria orgânica – raízes, galhos e folhas em decomposição.

Observa-se na Tabela 25, que os transectos T2T2 e T4T2 não possuem dados de espessura para algumas sondagens inicialmente planejadas. Conforme mencionado na Seção 5.2.3.1, em campo, ambos foram encontrados com condições inseguras de acesso à seção intracalha e não foram realizados.

A Figura 53, Figura 54, Figura 55, Figura 56, Figura 57 e a Figura 58 apresentam a localização e, graficamente, as espessuras encontradas nas sondagens a transectos.



LEGENDA:

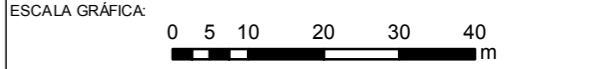
- Trechos 1 ao 4
- Ponto de Sondagem
- Transecto
- Área Impactada - Trecho 1 ao 4

Área Impactada (Contextos)

- Calha
- Encosta
- Planície

Litologia

- Rejeito Lavado
- Rejeito
- Não Alçaçou o Fim da Camada
- Substrato Natural



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

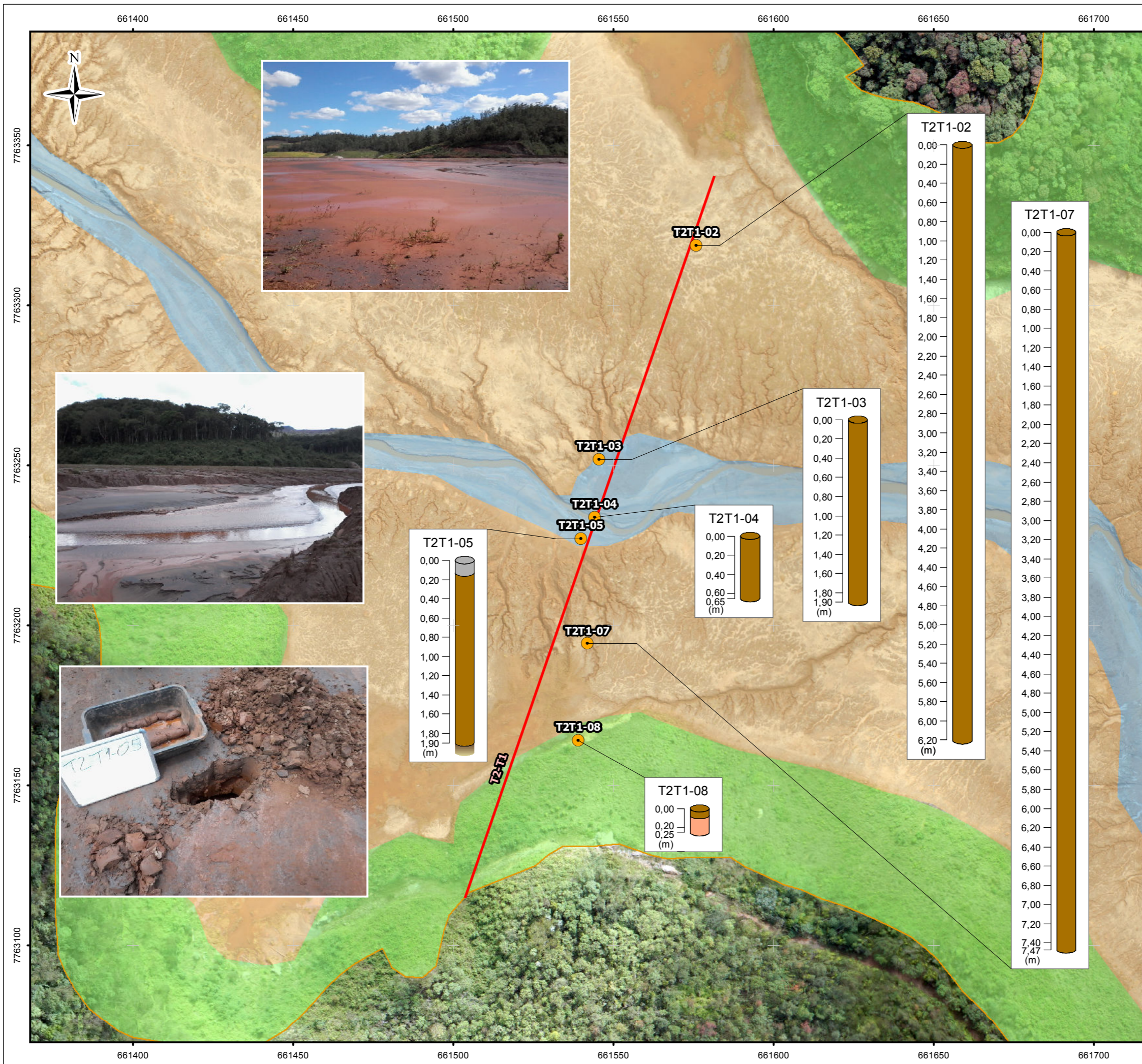
REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Imageamento por Drone, 2017.



TÍTULO:
Figura 53
Localização e espessura dos Pontos de Sondagem do T1-T1

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:1.000	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RU	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: RA0
--------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	--------------



Mapa de Localização

LEGENDA:

- Trechos 1 ao 4
- Ponto de Sondagem
- Transecto
- Área Impactada - Trecho 1 ao 4

Área Impactada (Contextos)

- Calha
- Encosta
- Planície

Litologia

- Rejeito Lavado
- Rejeito
- Não Alçaçou o Fim da Camada
- Substrato Natural

ESCALA GRÁFICA: 0 5 10 20 30 40 m

NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Imageamento por Drone, 2017.

JACOBS' ch2m.

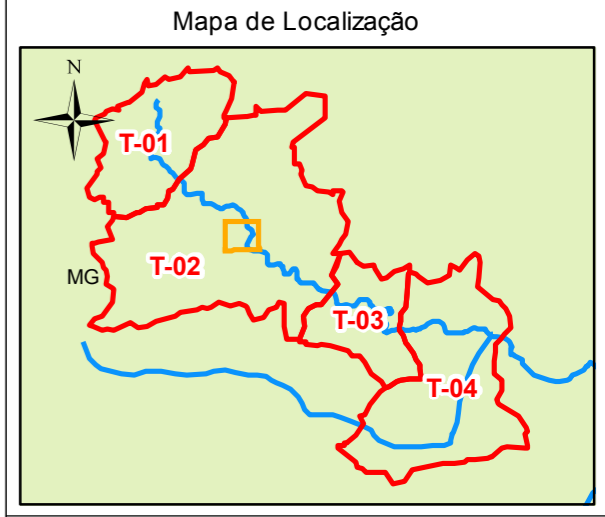
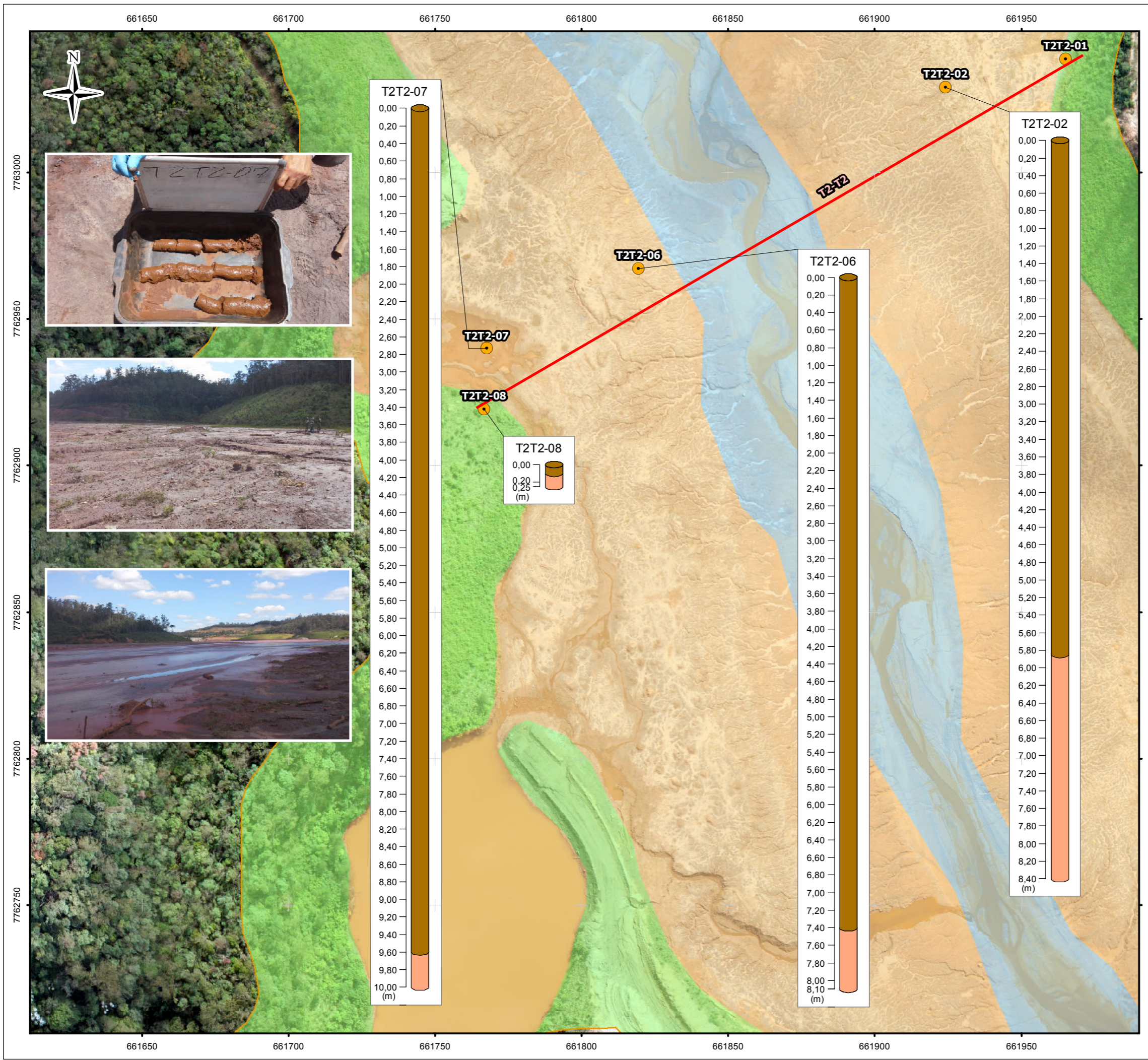
TÍTULO:
Figura 54
Localização e espessura dos Pontos de Sondagem do T2-T1

PROJETO:
Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:1.200	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RU	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: RA0
--------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	--------------

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 54 - Localização dos Pontos de Sondagem do Transecto 1 (T2-T1)



LEGENDA:

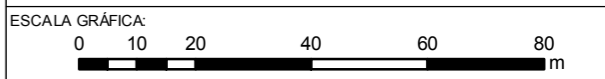
- Trechos 1 ao 4
- Ponto de Sondagem
- Transecto
- Área Impactada - Trecho 1 ao 4

Área Impactada (Contextos)

- Calha
- Encosta
- Planície

Litologia

- Rejeito
- Substrato Natural



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Imageamento por Drone, 2017.

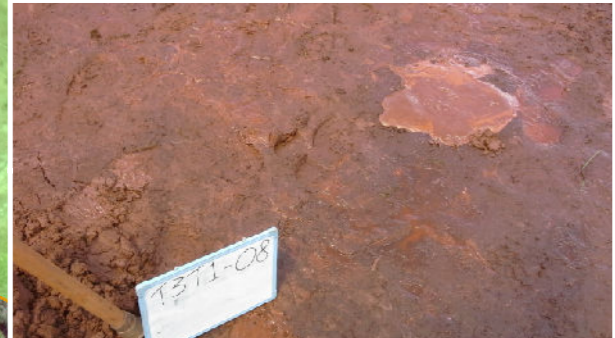
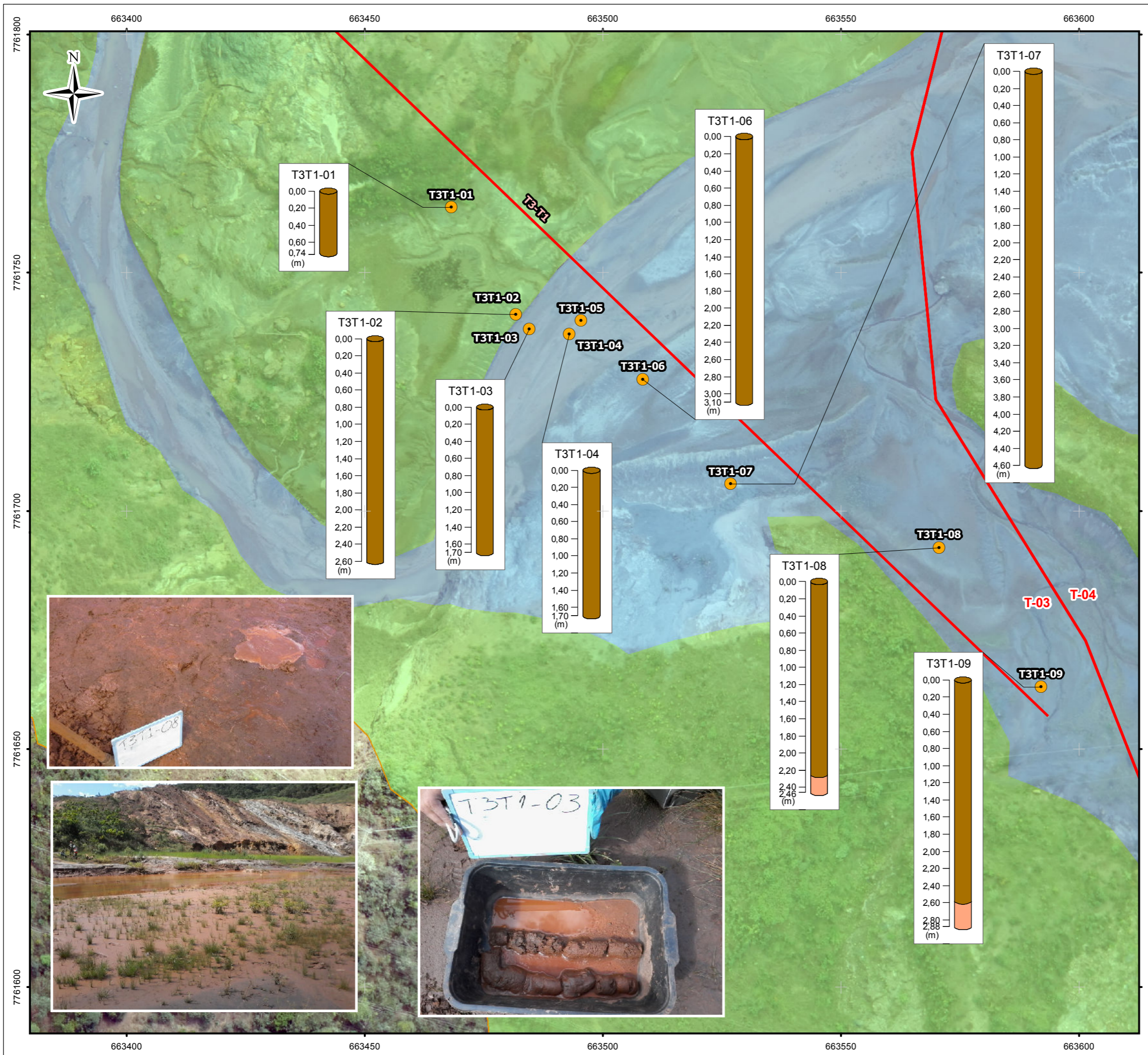


TÍTULO:
Figura 55
Localização e espessura dos Pontos de Sondagem do T2-T2

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:1.300	09/02/2018	RU	EL	MB	RA0

Figura 55 - Localização dos Pontos de Sondagem do Transecto 2 (T2-T2)



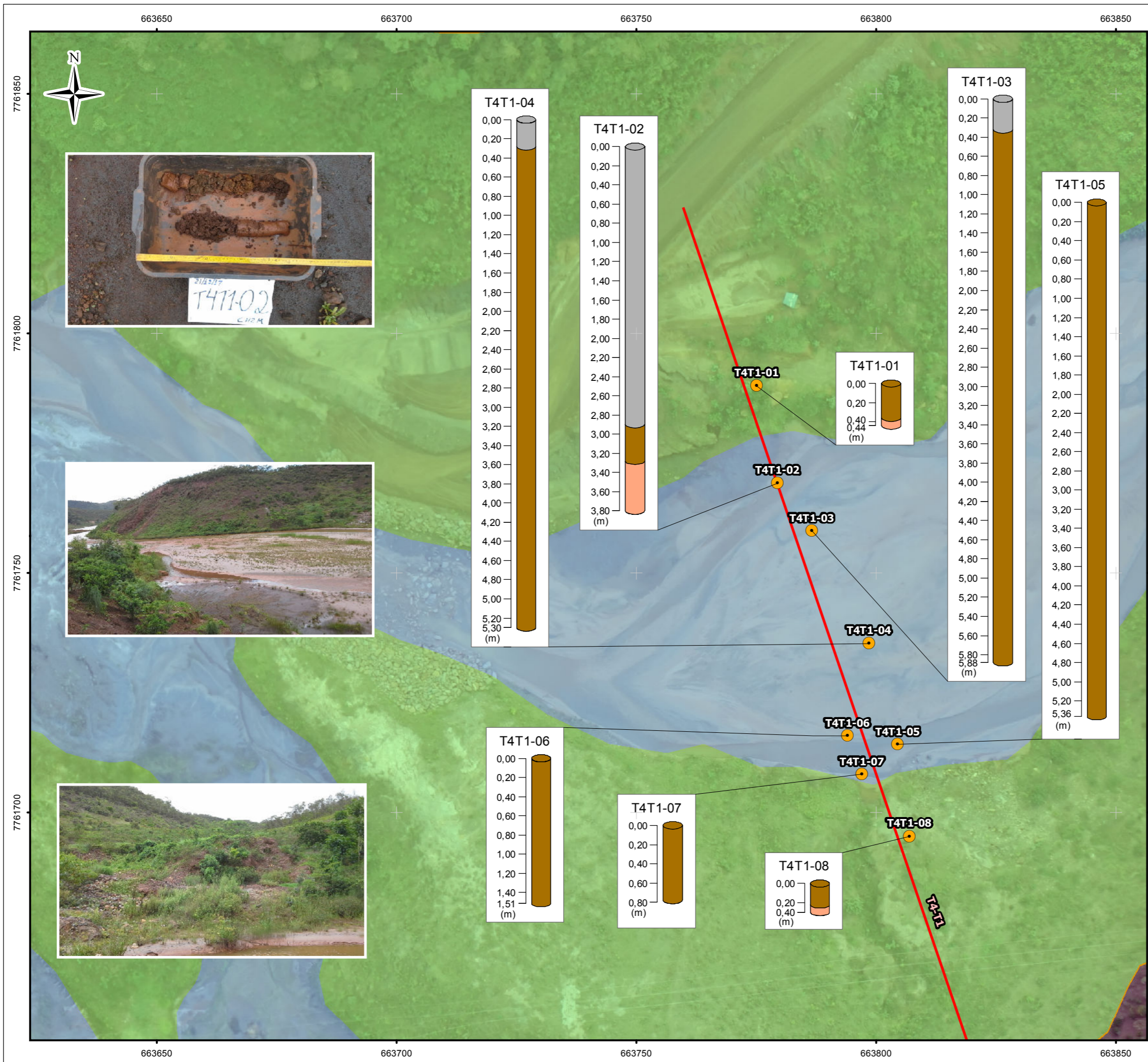
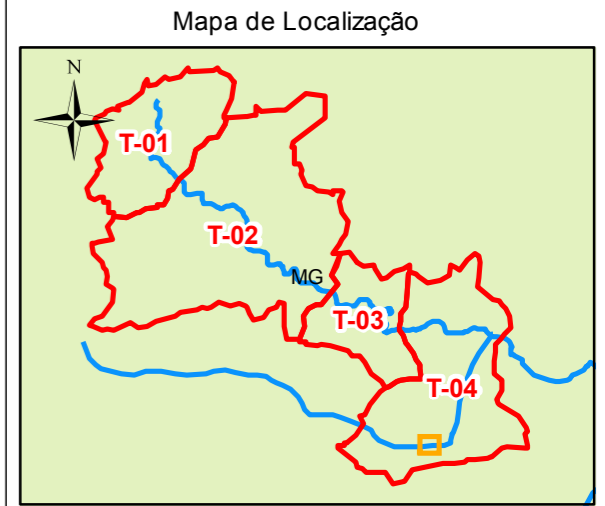
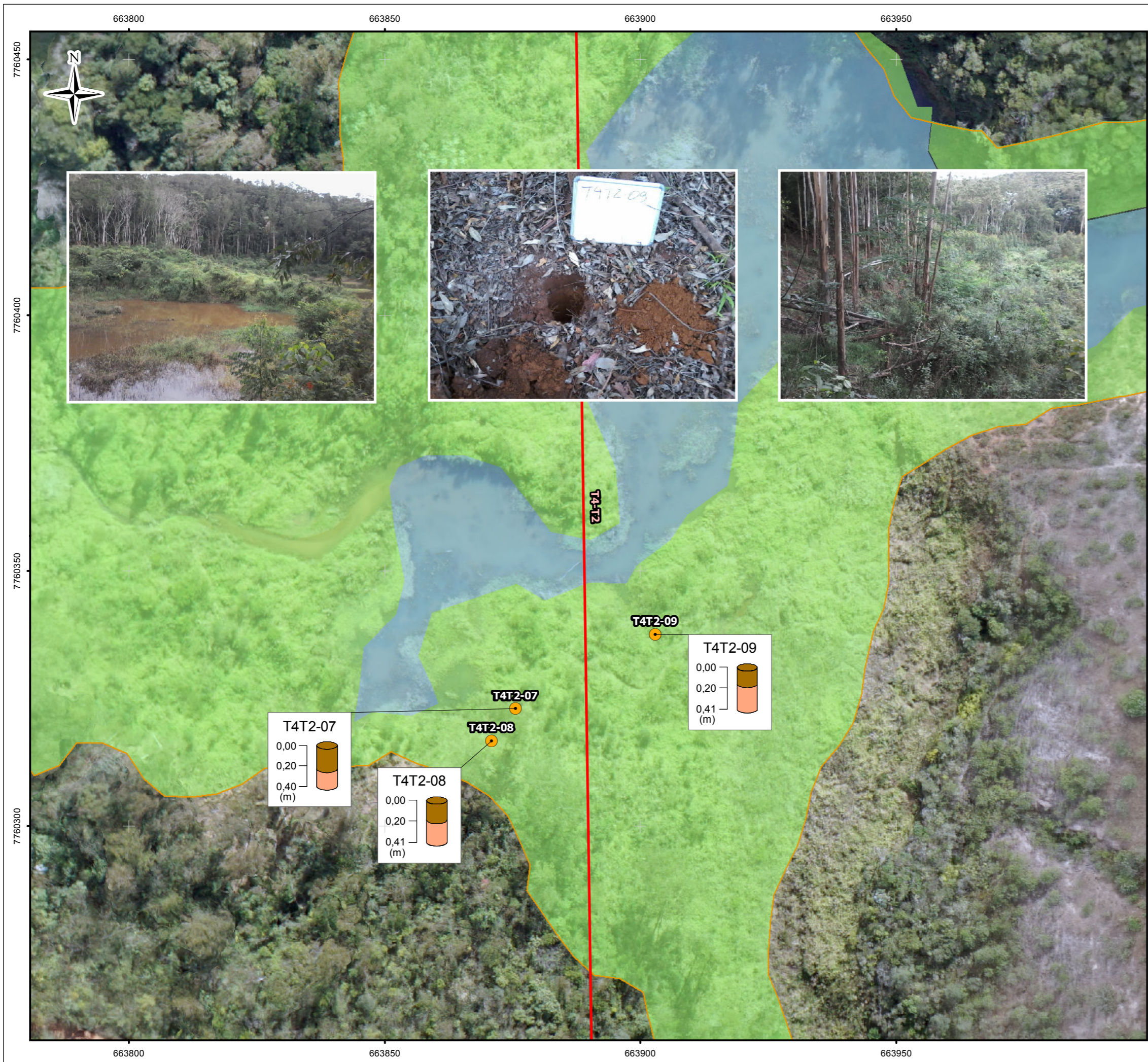
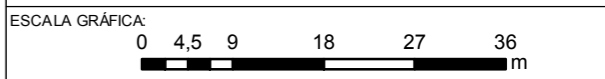


Figura 57 - Localização dos Pontos de Sondagem do Transecto 1 (T4-T1)



- LEGENDA:**
- Trechos 1 ao 4
 - Ponto de Sondagem
 - Transecto
 - Área Impactada - Trecho 1 ao 4
- Área Impactada (Contextos)**
- Calha
 - Encosta
- Litologia**
- Rejeito
 - Substrato Natural



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Imageamento por Drone, 2017.



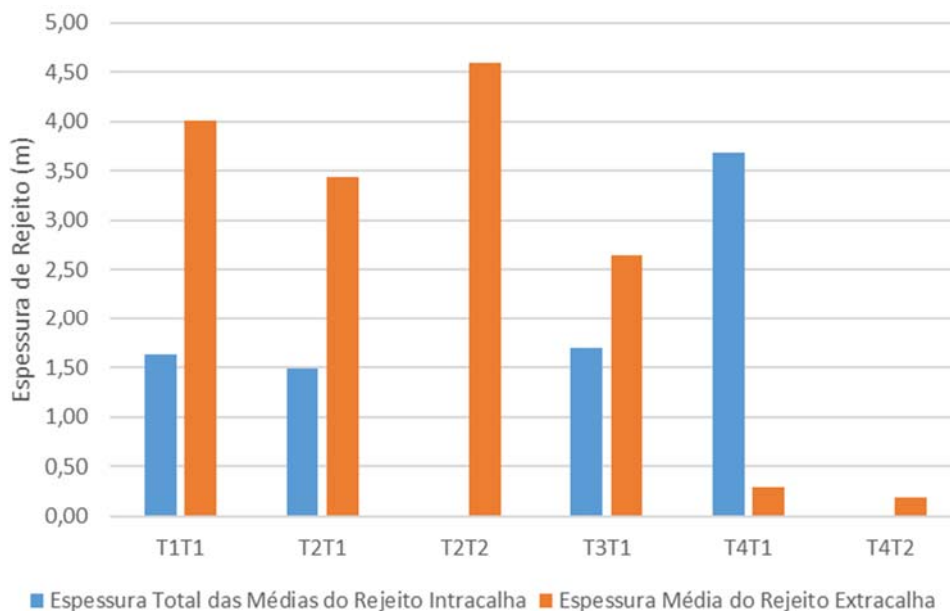
TÍTULO:
Figura 58
Localização e espessura dos Pontos de Sondagem do T4-T2

PROJETO:
Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:750	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RU	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: RA0
------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	--------------

A Figura 59 apresenta um comparativo dos depósitos de rejeito nas seções intra e extracalha.

Figura 59 - Comparativo de Espessuras de Rejeito nas Seções Intra e Extracalha



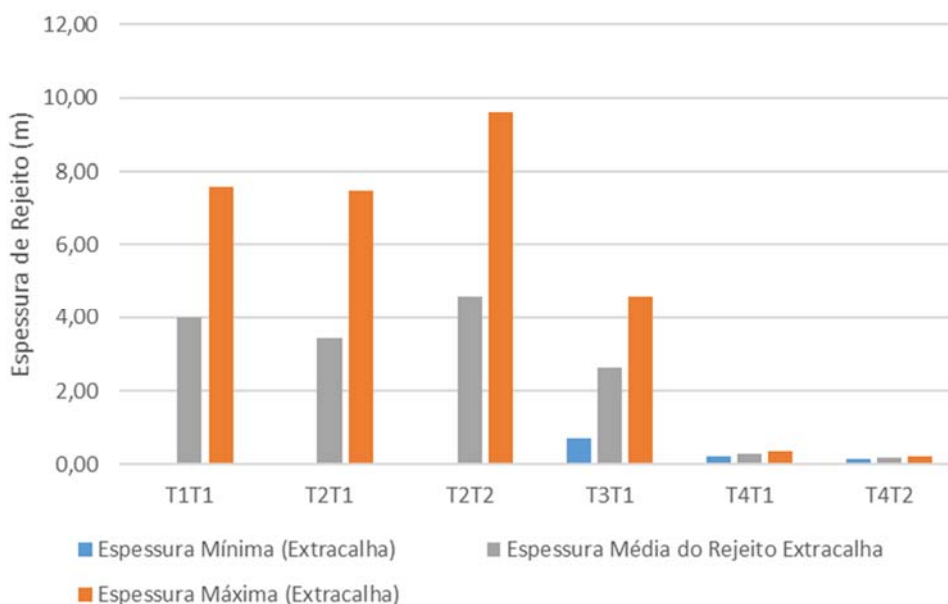
Os depósitos extracalha nos Trechos 1 ao 4 foram superiores aos depósitos intracalha (com exceção do transecto T4T1). As discussões sobre as medições de espessura e resultados são apresentadas a seguir. Cumpre lembrar que para esta avaliação não serão considerados os resultados da barragem de Fundão.

Depósito Extracalha

Os resultados das medições das espessuras dos rejeitos extracalha dentro dos Trechos 1 ao 4 indicaram uma média de 2,99 m de espessura, com uma variação de 0,0 (encostas esquerda T1T1, T2T1 e T2T2) a 9,60 m (planície direita T2T2). Destacam-se os transectos T1T1, T2T1 e T2T2 com espessuras médias de 4,01 m, 3,44 m e 4,59 m respectivamente, acima da média.

Os resultados das medições das espessuras de rejeito na seção extracalha são apresentados na Figura 60, sendo essas as médias dos resultados encontrados nas sondagens realizadas em cada um dos transectos na porção extracalha, bem como as respectivas máximas e mínimas espessuras.

Figura 60 – Espessuras dos Depósitos de Rejeito Encontrados na Porção Extracalha



Os maiores picos de espessura média de rejeito (acima dos 3 metros) identificados no gráfico refere-se às sondagens realizadas nos transectos T1T1, T2T1 e T2T2. Tais transectos, se localizam a montante da barragem de Santarém, a qual atuou no represamento do fluxo de água e rejeito do evento, reduzindo a velocidade de deslocamento nestas regiões, e provocando o aumento do tempo da inundação e, conseqüentemente, do período de decantação do material em suspensão. Este cenário se faz mais acentuado para o transecto T2T2, localizado na porção mais próxima da barragem dentre os três transectos analisados. Constatou-se ainda que, nesta região possivelmente já havia rejeito depositado anteriormente ao evento do rompimento, uma vez que durante as sondagens identificou-se notável diferença de compactação e resistência de determinado material, que posteriormente ao ser coletado, também foi identificado como rejeito. Acredita-se que o rejeito depositado anteriormente já se encontrava adensado, diferenciando-se do rejeito proveniente do evento do rompimento da barragem de Fundão em novembro de 2015. Os dados de espessura de rejeito utilizados neste relatório para fins de cálculo de volume e espessuras dos depósitos por contexto, referem-se às camadas de rejeito proveniente do rompimento da Barragem de Fundão.

A Figura 61 apresenta evidências da presença de rejeito antes do rompimento da barragem de Fundão em novembro de 2015.

Figura 61 – Evidência da Existência de Rejeito Anteriormente ao Evento do Rompimento entre as Imagens de 10 de agosto de 2014 e 20 de julho de 2015 do Remanso da Barragem de Santarém.



Fonte: Adaptado de Google Earth (JACOBS CH2M, 2018)

Coordenadas UTM: 662644,85 L; 7761031,47 S

Pode-se observar, tanto na imagem superior, datada de 10 de agosto de 2014, como na imagem de 20 de julho de 2015, que as áreas dos Trechos 1 e 2 já continham material de coloração semelhante ao rejeito alvo de estudo.

As espessuras de rejeito depositado na seção extracalha foram ainda avaliadas entre os diversos contextos (com exceção das margens, conforme explicado na seção 5.2.1), sendo estas ilustradas pela Figura 62 e Figura 63.

Figura 62 – Espessuras Médias dos Depósitos de Rejeito Encontrados nas Encostas da Seção Extracalha

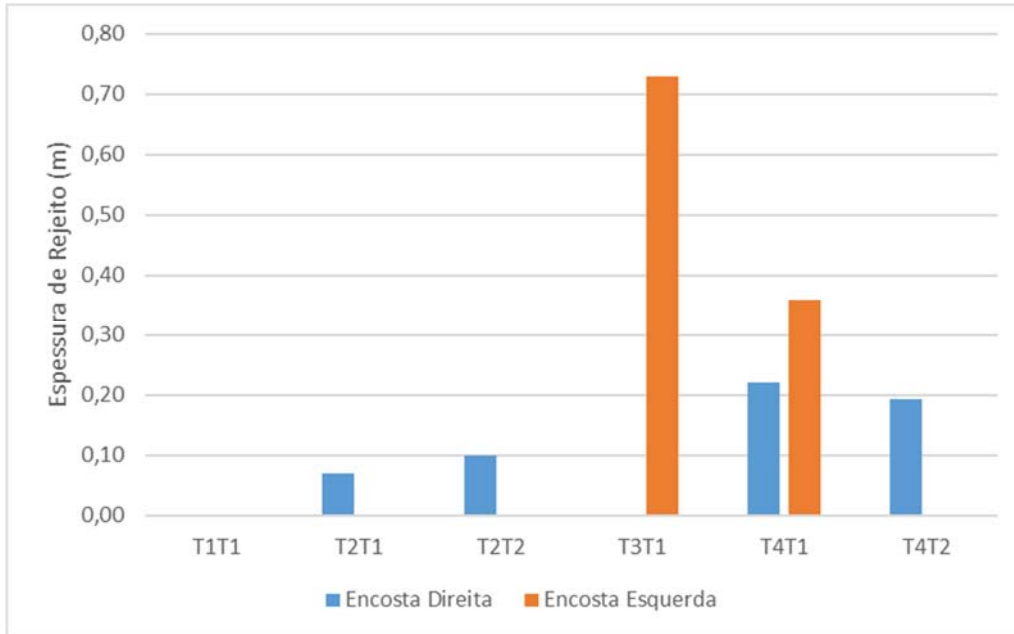
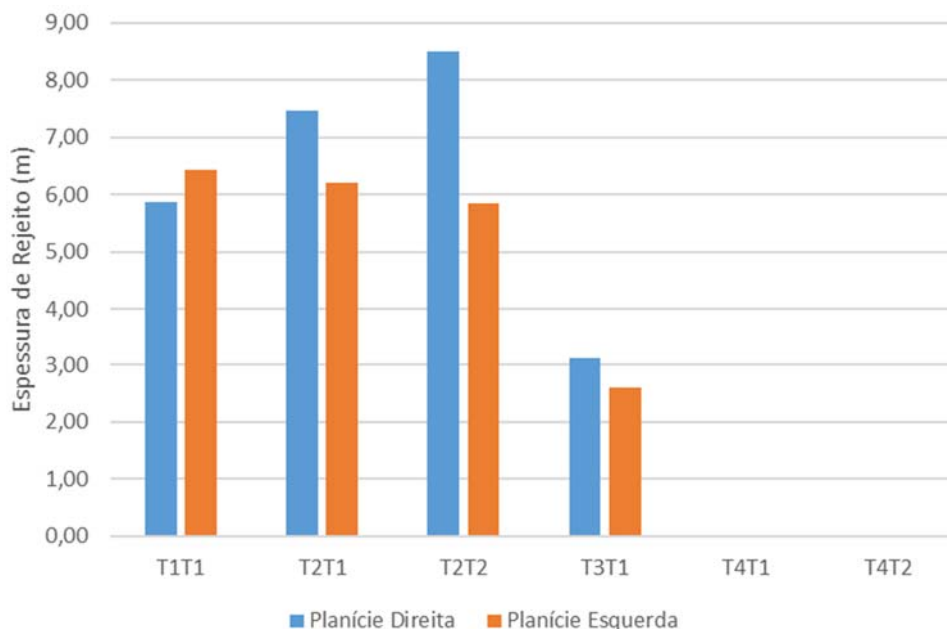
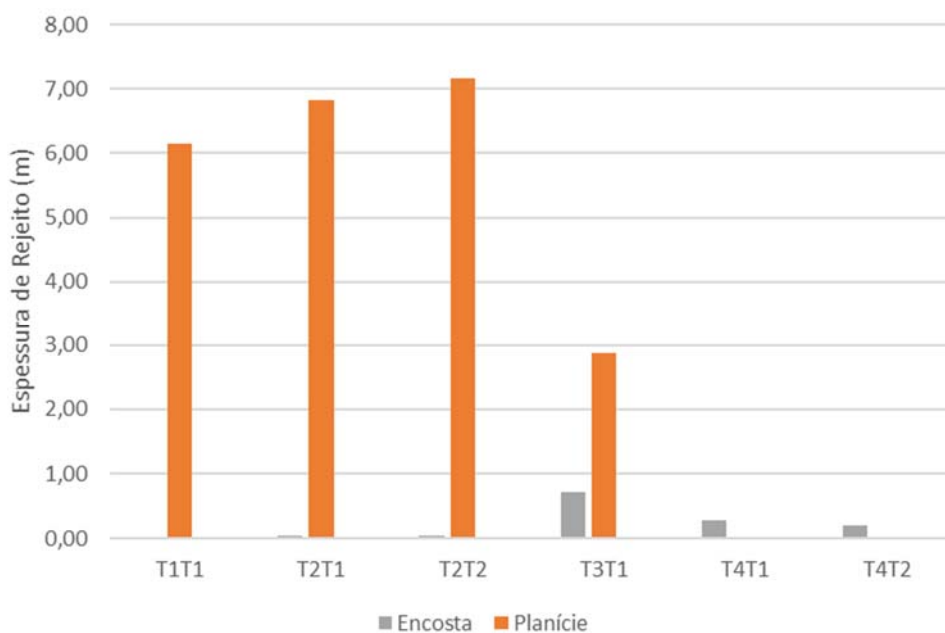


Figura 63 – Espessuras Médias dos Depósitos de Rejeito Encontrados nas Planícies da Seção Extracalha



Para facilitar a análise comparativa por contextos (planície e encosta), a Figura 64 apresenta as médias de acúmulo de rejeito em cada um deles, em cada transecto.

Figura 64 – Comparativo das espessuras médias dos depósitos de rejeito em cada contexto da seção extracalha



Em valores absolutos, percebe-se a deposição de rejeito ocorre em sua maior parte em planícies, justificada pela menor declividade destes contextos e pelo maior tempo de inundação e conseqüentemente, decantação do rejeito, uma vez que as encostas se localizam em pontos mais altos e declivosos e tiveram menor tempo de submersão na passagem da onda de cheia.

Ademais, estima-se que em períodos chuvosos, as encostas sofram com mais severidade com erosão em relação aos demais contextos. Devido à maior declividade deste contexto, as enxurradas geram vias preferenciais e atingem maior velocidade de fluxo, erodindo as encostas. O rejeito inicialmente depositado nas encostas pode se deslocar e se depositar no contexto seguinte (planície), transferindo massa e espessura a ele.

Cabe ressaltar que o transecto T4T2 sofreu impacto principalmente durante o evento, pois encontra-se fora do curso do córrego Santarém. Diferente do restante dos transectos dos Trechos 1 ao 4, que podem ter recebido aportes de rejeito, ainda que em menor grau, pelo carregamento de rejeito remanescente na barragem de Fundão durante o período de chuvas de 2015/2016/2017.

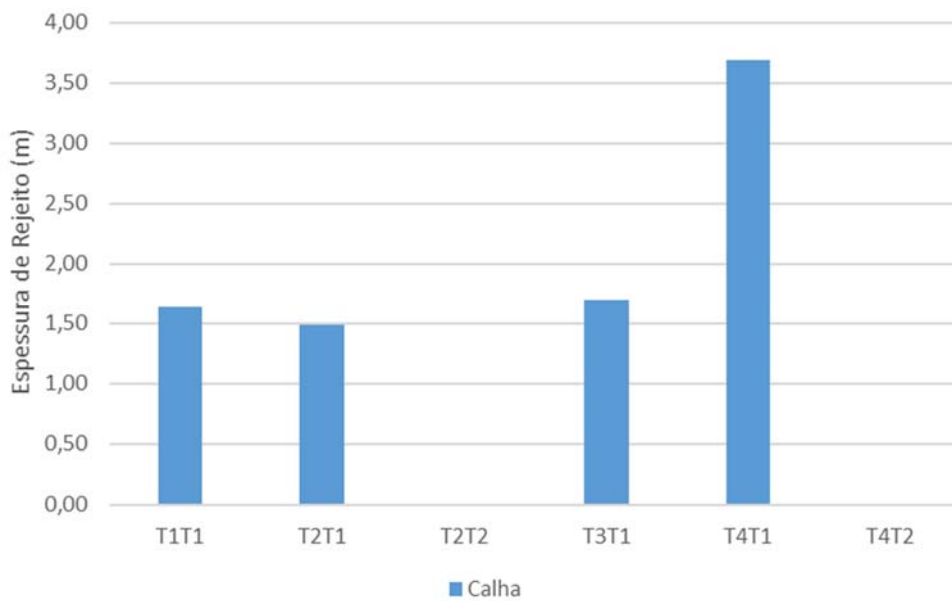
Depósito Intracalha

O rejeito lavado (*lag layer*) identificado nas sondagens realizadas na seção intracalha apresentou uma média de 0,32 m de espessura com um valor mínimo de 0,0 m (pontos do

T1T1, T2T1, T3T1 e T4T1) e um máximo de 2,90 m de espessura (T4T1). A média do rejeito lavado em cada transecto variou de 0,00 m (T3T1) a 0,58 m (T4T1).

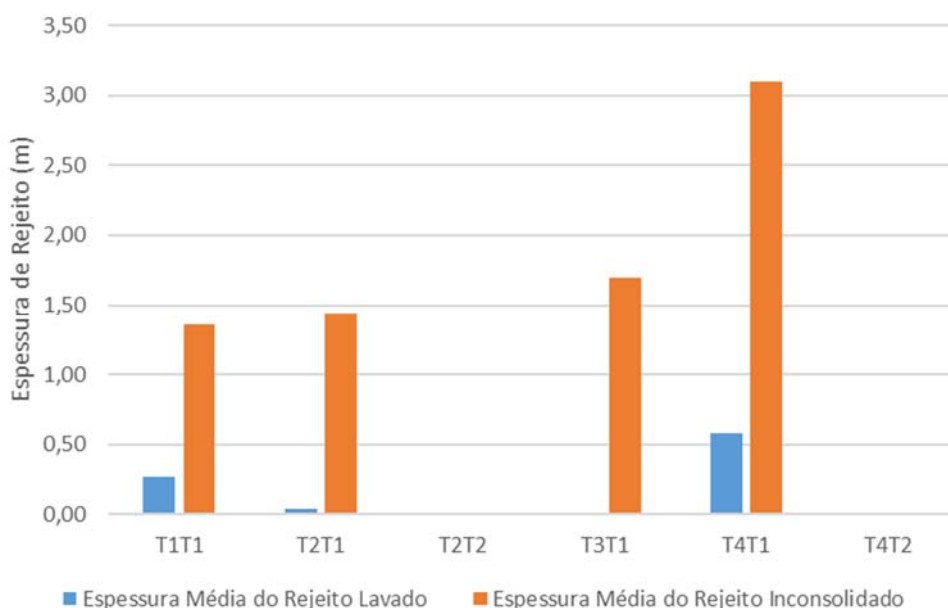
O rejeito inconsolidado apresentou uma maior amplitude na variação da espessura, de 0,38 m (T4T1) a 5,56 m (T4T1), com média de 2,17 m. Já as médias das espessuras por transecto variaram de 1,36 m no T1T1 a 3,10 m no T4T1. Os dados das somas das médias dos rejeitos, lavado e inconsolidado, encontrados em cada um dos transectos são apresentados na Figura 65.

Figura 65 – Soma das Médias dos Depósitos de Rejeito Lavado e Inconsolidado Encontrados na Porção Intracalha



A Figura 66 destaca as camadas que compõem a Figura 65.

Figura 66 – Espessuras Médias dos Depósitos de Rejeito Encontrados na Porção Intracalha



É importante ressaltar que os transectos T2T2 e T4T2 não foram sondados na seção intracalha por questões de segurança dos colaboradores. A presença de rejeito foi identificada visualmente em sua forma inconsolidada e após testes de estabilidade com varetas, a equipe optou por não adentrar a seção pelo risco de atolamento e afogamento. O T4T2 encontra-se ainda em um vale encaixado, com encostas íngremes de difícil e inseguro acesso.

O maior pico de espessura de rejeito intracalha identificado na Figura 66 refere-se à ao transecto T4T1. O acúmulo local pode ser atribuído à presença do dique S3, que recebe o fluxo do Córrego de Santarém e pode ter atuado como redutor da velocidade das águas, as quais possivelmente carregaram rejeito posteriormente ao evento (novos aportes) e ocasionando o depósito intracalha neste local, contrariando a deposição extracalha (entende-se que o depósito extracalha tenha ocorrido com relevância apenas durante o evento do rompimento da barragem de Fundão).

Já os transectos dos Trechos 1 e 2 (T1T1 e T2T1) apresentaram espessuras menores na seção Intracalha comparativamente com a seção Extracalha, uma vez que o fluxo de água do córrego de Santarém pode ter carregado grande parte da espessura de rejeito inicialmente depositado. Em campo, identificou-se marcas de erosão e fissuras no leito do Córrego, que evidenciam o transporte de rejeito supramencionado, conforme apresentado na Figura 67.

Figura 67 - Evidência de Erosão na Calha do Córrego Santarém



Coordenadas UTM: 660835,73 L; 7763757,18 S

5.2.4.2 Análises Granulométricas

Os resultados laboratoriais de granulometria são apresentados no **Anexo VI**. Um resumo dos resultados de granulometria para os Trechos 1 ao 4 é apresentado na Tabela 28 e os resultados de granulometria para as amostras coletadas dentro da barragem de Fundão são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Resumo dos Resultados de Granulometria – Amostras dos Trechos 1 ao 4

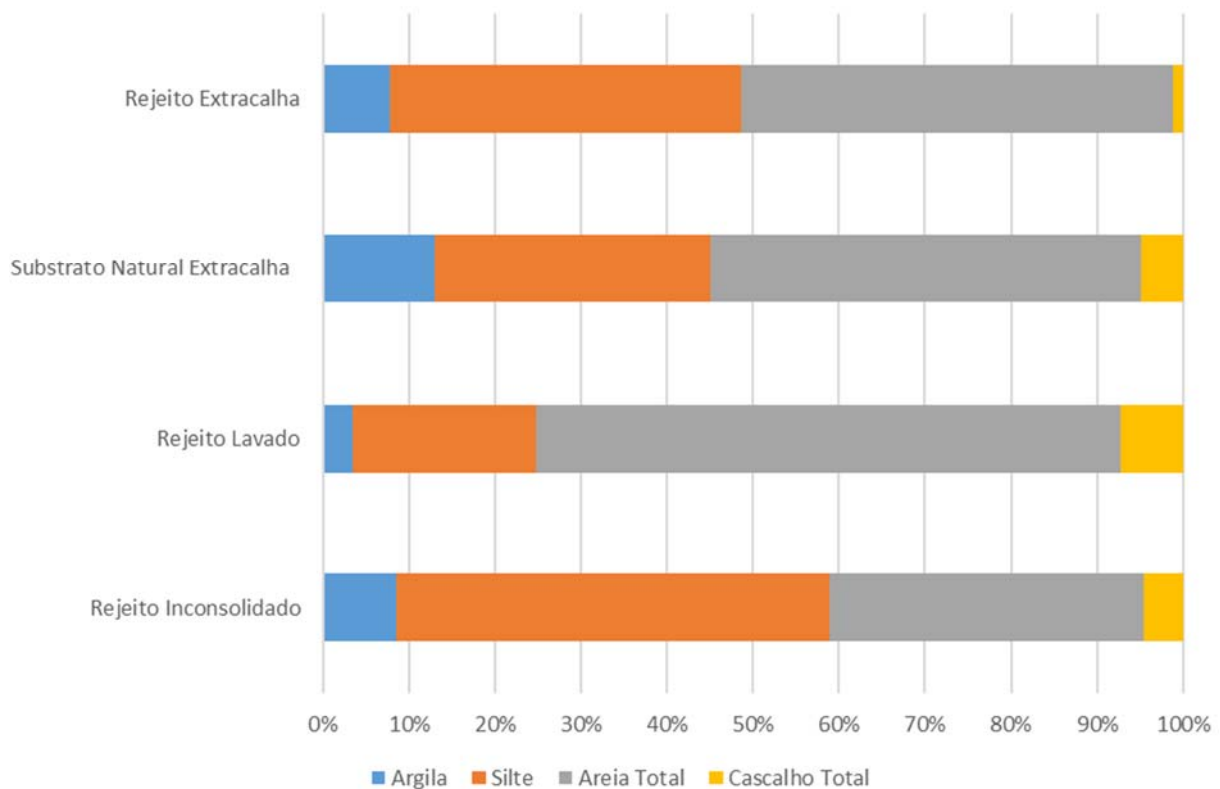
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO	CAMADA	SEÇÃO DO RIO	PERCENTAGEM DE SÓLIDOS (%)	GRANULOMETRIA (%)										
				ARGILA	SILTE	AREIA MUITO FINA	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	AREIA GROSSA	AREIA MUITO GROSSA	AREIA TOTAL	CASCALHO		
												FRAÇÃO (2,0 - 4,8mm)	FRAÇÃO (4,8 - 19,1mm)	FRAÇÃO (> 19,1mm)
0101-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	88,1	10,6	48	15,2	13,8	4,24	2,39	5,63	41,3	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0101-EC-SN	Substrato Natural	Extracalha	86,6	4,42	28,9	27,4	25,8	4,7	4,47	4,21	66,61	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0101-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	87,7	12,7	50,3	15,8	14,6	4,48	2,03	< 0,1100	36,96	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0101-IC-RL	Rejeito Lavado	Intracalha	82,6	3,1	35,1	23,2	22,9	4,47	4,2	4,12	58,92	2,87	< 0,1100	< 0,1100
0101-IC-RI	Rejeito Inconsolidado	Intracalha	85,9	12,2	62,9	8,72	7,9	5,41	2,82	< 0,1100	24,85	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0201-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	88,9	10,7	52,2	28,2	6,69	1,4	0,7746	< 0,1100	37,08	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0201-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	88,5	9,67	51,3	25,9	10,6	1,6	0,8799	< 0,1100	39,04	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0201-IC-RL	Rejeito Lavado	Intracalha	83,4	2,77	22,5	63	11,1	0,1676	0,4887	< 0,1100	74,72	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0201-IC-RI	Rejeito Inconsolidado	Intracalha	87,4	8,31	57,2	26	6,57	1,21	0,7023	< 0,1100	34,47	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0202-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	87,3	10,6	47,7	25,2	12,6	1,7	0,2843	0,1163	39,92	< 0,1100	1,66	< 0,1100
0202-EC-SN	Substrato Natural	Extracalha	78,8	12,3	47,9	18,8	9,24	1,82	2,97	6,96	39,81	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0202-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	87,1	6,99	49,1	23,7	11,2	0,9166	0,1844	0,1487	36,2	0,6035	6,92	< 0,1100
0301-IC-RI	Rejeito Inconsolidado	Intracalha	85,9	5,16	51,1	6	12,7	21,8	1,67	1,1	43,28	0,376	< 0,1100	< 0,1100
0301-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	87,8	4,23	28,3	44,2	20,4	2,24	0,4607	0,188	67,49	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0301-EC-SN	Substrato Natural	Extracalha	81,0	17,5	25,9	22,4	19,8	7,92	2,59	2,95	55,59	0,9976	< 0,1100	< 0,1100
0301-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	82,3	2,87	28,2	44,8	20,9	2,49	0,556	0,1924	68,89	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0401-EC-RL	Rejeito Lavado	Extracalha	78,1	3,24	12,7	27	28,3	3,95	1,39	2,11	62,72	8,83	12,5	< 0,1100
0401-EC-RI	Rejeito Inconsolidado	Extracalha	82,4	9,72	49,5	9,08	5,48	1,17	1,55	2,36	19,64	< 0,1100	4,67	16,5
0401-IC-RI	Rejeito Inconsolidado	Intracalha	84,3	7,46	32	25,8	20,8	7,38	2,59	3,93	60,52	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0401-EC-SN	Substrato Natural	Extracalha	78,6	7,77	24,8	22,1	15,5	3,64	1,65	2,51	45,35	5,39	16,6	< 0,1100
0401-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	84,7	2,9	15,3	36,7	35	4,72	2,14	3,25	81,86	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0402-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	89,8	7,45	39,9	31,5	15	3,57	0,9087	1,65	52,64	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0402-EC-SN	Substrato Natural	Extracalha	80,9	23,5	32,9	22,3	14,8	3,72	1,15	1,59	43,56	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0402-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	89,0	7,98	39,7	30,3	15,6	3,73	0,9484	1,73	52,32	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100

Tabela 28 – Resumo dos Resultados de Granulometria – Amostras de Dentro da Barragem de Fundão

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO	CAMADA	SEÇÃO DO RIO	PERCENTAGEM DE SÓLIDOS (%)	GRANULOMETRIA (%)								CASCALHO		
				ARGILA	SILTE	AREIA MUITO FINA	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	AREIA GROSSA	AREIA MUITO GROSSA	AREIA TOTAL	FRAÇÃO (2,0 - 4,8mm)	FRAÇÃO (4,8 - 19,1mm)	FRAÇÃO (> 19,1mm)
0103-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	95,7	1,36	18,8	52	24,5	2,87	0,5539	< 0,1100	79,87	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
0104-EC-RE	Rejeito Extracalha	Extracalha	81,4	10,4	82,9	4	1,92	0,5199	0,1797	< 0,1100	6,62	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100

Com base nos resultados de granulometria foram calculadas as médias das porcentagens de argila, silte, areia total e cascalho total para cada um dos tipos de material encontrados (extracalha: rejeito e solo natural, intracalha: rejeito lavado, rejeito inconsolidado e sedimento natural) para elaboração do gráfico a seguir. Ressalta-se que para o cálculo das médias de granulometria, não foram utilizados os resultados das amostras coletadas dentro da barragem de Fundão (0103 e 0104).

Figura 68 – Médias das Porcentagens de Argila, Silte, Areia Total e Cascalho Total



Não foram coletadas amostras de substrato natural intracalha devido a limitações do método de sondagem (grandes espessuras dos depósitos, se tornando inviável a penetração desta camada dentro da seção molhada) e o material ser formado por rocha sã.

Para o material encontrado extracalha, a Figura 68 indica maiores porcentagens de argila e cascalho total no substrato natural, e em contrapartida, maior porcentagem de silte no rejeito extracalha. Já o percentual de areia total nos dois pacotes, se apresentou equiparado, com aproximadamente 50%.

Os resultados de granulometria para as camadas intracalha apresentaram uma diferença nos tamanhos de grãos mais acentuada, onde no rejeito lavado foi detectada uma alta porcentagem de areia (média de 68%) e baixa proporção de material mais fino como argila e silte (média de 3% de argila e 21% de silte). Vale ressaltar que de todas as camadas avaliadas, a maior porcentagem de areia total (68%) e cascalho total (7%) foram encontradas o rejeito lavado. O rejeito inconsolidado detectou uma maior proporção de material fino (argila e silte), média de 59% e uma menor proporção de areia, média de 36% entre todas as camadas avaliadas.

Foi observado que a maior proporção de cascalho (7%) foi encontrada na camada de rejeito lavado, o que indica que este material mais grosseiro está sendo transportado de áreas a montante em eventos de cheia do rio e depositado nas seções do Trecho 9. A presença de cascalho no material indicado como rejeito inconsolidado (4,6%), ainda que em menor percentual, indica uma mistura de materiais (rejeitos e substratos naturais) pois esta fração granulométrica não está presente no rejeito originário do evento.

Os resultados de granulometria confirmam o modelo conceitual inicial que sugere que a camada de rejeito lavado que se formou após o acidente, atual *lag layer* da calha do rio, atua de forma geral como uma camada tampão do rejeito inconsolidado. Este rejeito lavado é formado por material de granulometria maior (areia e cascalho) e tem pouca contribuição para o aumento de turbidez do rio, uma vez que o material mais fino já foi carreado pelo processo de ressuspensão e transporte pela dinâmica do rio. Debaxo desta camada se encontra o rejeito inconsolidado, material com granulometria similar ao rejeito que se encontra nos depósitos extracalha, corroborando a hipótese de que os mesmos foram depositados concomitantemente aos depósitos extracalha, isto é, essencialmente por decantação a partir da onda de cheia resultante da mobilização dos materiais originários do evento de ruptura da barragem de Fundão. Este material, se exposto ao contato com a coluna d'água, fornece sedimentos finos que entrarão em suspensão, elevando a turbidez das águas do rio.

Os resultados para o material extracalha coletado dentro da barragem de Fundão, indicam uma diferença na granulometria, onde o material coletado no T1T03, de coloração mais clara, é constituído predominantemente de areia (80%) e o material encontrado no T1T4, de coloração marrom avermelhado, indica a predominância argila (10%) e silte (83%), comprovando os indícios visuais que ambos os materiais são distintos fisicamente no que se refere a textura.

5.2.4.3 Modelo Conceitual – Formação do Novo “Lag layer”

Conforme discutido ao longo deste relatório, as amostras do material coletado na calha do rio indicaram a existência de três camadas distintas: rejeito lavado, rejeito inconsolidado e substrato natural, camadas avaliadas no presente estudo.

Dados dos córregos locais não afetados, estudos apresentados (Golder, 2016) e amostras coletas pela CH2M no Trecho 6 (CH2M, 2017), indicam que a camada de sedimento natural era formada basicamente de areia, cascalhos e seixos, formando o pavimento do leito do rio (*lag layer*). No rompimento da barragem de Fundão, parte do sedimento natural existente na calha do rio foi erodido devido à força erosiva do fluxo do rejeito. Não se sabe ao certo a profundidade e quantidade de sedimento natural erodido. Com a redução da vazão após este primeiro momento, o material carregado do leito do rio, assim como o rejeito (material detrítico) sofreu um processo de deposição na calha, assim como nas margens, planícies aluviais e encostas inundadas pelo evento.

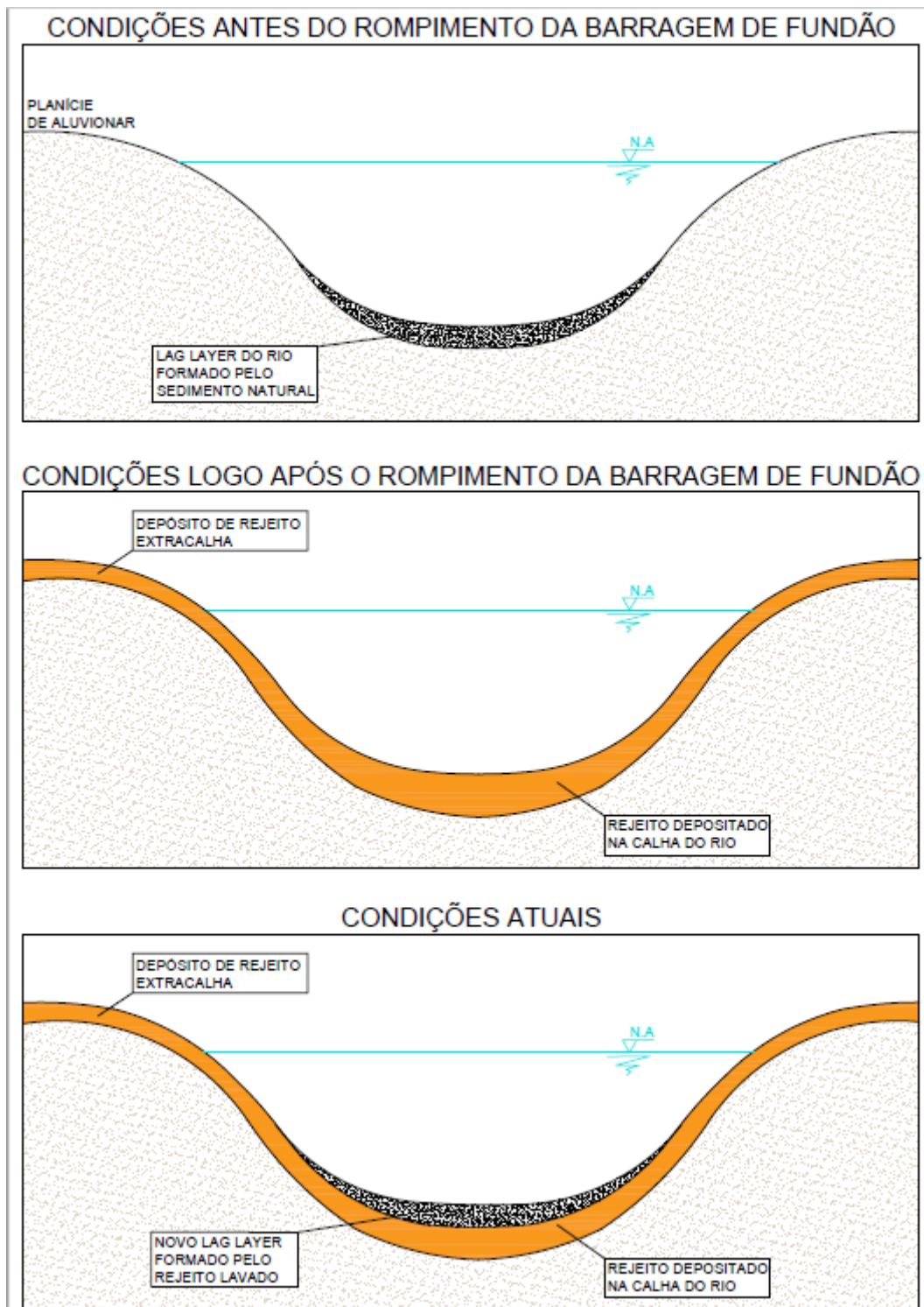
Esta nova composição do leito do rio, formado por um percentual significativo de partículas finas (quase 50% de silte e argila), o material detrítico depositado passou a ser responsável pelo aumento da turbidez nos rios, mesmo após a normalização das vazões dos rios e tributários, atuando como fonte de material em suspensão. Vale ressaltar que além do novo *lag layer*, todo o material detrítico depositado nas margens e expostos nos taludes marginais também podem contribuir como fonte de sólidos em suspensão em novos episódios chuvas e cheias.

Com o passar do tempo, o fluxo das águas do rio foi transportando e removendo a porção de material fino (porção argilosa e siltosa) do material depositado na calha, devido ao fluxo turbulento das águas mesmo em condições de baixa vazão. Desta forma o material transportado responsável pela carga de lavagem foi pouco a pouco sendo removido do leito do rio, resultando na formação do atual *lag layer* constituído por partículas de granulometria mais grossa, como areia e cascalho, identificado nas sondagens como rejeito lavado. Este novo *lag layer* atua como uma camada selante, evitando que o material fino da camada de rejeito inconsolidado, encontrada abaixo, seja exposto e entre em contato com as águas do rio. Esta proteção, no entanto, depende da sua espessura e textura. Camadas pouco espessas e/ou de granulometrias mais finas podem ser facilmente removidas nos episódios de cheias sazonais,

quando as velocidades aumentam significativamente e, assim, também a capacidade de transporte de suas águas.

A Figura 69 ilustra o conceito do *lag layer* antes do evento, logo após o evento de rompimento da barragem de Fundão e a formação do novo *lag layer* nas condições atuais.

Figura 69 - Ilustração do Modelo Conceitual de Formação do *Lag layer* na Calha do Rio



Na literatura científica, se encontram projetos de remediação com a aplicação de métodos de capeamento de sedimento que sugerem a instalação de thinner caps (capeamentos finos), como uma camada para impedir o contato da água e biota aquática com sedimentos contaminados. Segundo o documento, Demonstração e Validação da Recuperação Natural Monitorada Avançada de Sites DoD (Demonstration and Validation of Enhanced Monitored

Natural Recovery at DoD Sites, ESTCP, 2009), a aplicação de camadas de 10 a 30 cm de espessura é utilizada internacionalmente com esta finalidade.

Para o estudo em questão, o *lag layer* formado na calha do rio teria a mesma função do thinner caps mencionado acima, servindo como um capeamento do rejeito inconsolidado, potencial fonte de sólidos em suspensão. Para as seções avaliadas do rio, para determinar o rejeito depositado na calha com potencial de ressuspensão ou com instabilidade, foi considerado um valor mais conservador, com a presença de uma *lag layer* de 40 cm, como uma espessura que serviria para a formação deste selo de cobertura, impedindo a exposição e a erosão do rejeito inconsolidado abaixo.

Este processo de formação do *lag layer* é um processo dinâmico que varia dependendo da conformação do rio, vazão e velocidade da água, que conseqüentemente impactam no processo de deposição ou erosão do leito da calha. Devido a estas variáveis, estudos mais detalhados estão sendo realizados no Trecho 8 para avaliar a estabilidade desta camada e em quais condições ele continuaria a servir de camada selante para o rejeito inconsolidado.

5.2.4.4 Análises de Concentrações de Metais

Depósitos Extracalha

Em todos os transectos dos Trechos 1 ao 4 foram coletadas amostras para análise de metais nas distintas camadas estratigráficas encontradas. Os transectos T1T3 e T1T4 realizados na barragem de Fundão, conforme mencionado na Seção 5.2.3.1, foram realizados estritamente para a coleta de material para análises químicas e caracterização físico química do material original encontrado na barragem de Fundão.

Os laudos laboratoriais das análises de metais para as amostras de solo e sedimentos coletadas neste estudo, assim como suas respectivas cadeias de custódias, são apresentados nos **Anexos VI e VII**, respectivamente.

Um resumo dos resultados obtidos na seção extracalha é apresentado na Tabela 29, juntamente com os valores de referência de qualidade do solo, com base na Resolução CONAMA nº 420/2009 (Valores de Prevenção e Investigação agrícola), que estabelece critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanta à presença de substâncias químicas e metais, e também com os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) da Deliberação

Normativa COPAM nº 166/2011, que estabelece as concentrações que definem a ocorrência natural de substâncias químicas do solo no estado de Minas Gerais. Observa-se ainda na Tabela 29, em destaque (coloração marrom clara), as concentrações obtidas em análises do material coletado na barragem de Fundão, nos transectos T1T3 e T1T4, que são tratados como valores bases para as características do rejeito neste estudo (*baseline*).

Tabela 29 – Concentrações de Metais na Seção Extracalha dos Trechos 1 ao 4 e Barragem de Fundão

PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE ²	VALOR DE PREVENÇÃO ¹	VALOR DE INVESTIGAÇÃO AGRÍCOLA ¹	VALOR DE INVESTIGAÇÃO INDUSTRIAL ¹	T1T1		T1T3	T1T4	T2T1	T2T2		T3T1		T4T1		T4T2	
						0101-EC-RE	0101-EC-SN	0103-EC-RE	0104-EC-RE	0201-EC-RE	0202-EC-RE	0202-EC-SN	0301-EC-RE	0301-EC-SN	0401-EC-RE	0401-EC-SN	0402-EC-RE	0402-EC-SN
Alumínio Total	mg/kg	-	-	-	-	752,9	1060,0	211,3	1644,0	907,5	< 11,4	< 1270,6	667,1	8081,6	2670,5	4213,7	< 1118,6	10936,3
Antimônio Total	mg/kg	0,5	2	5	25	< 1,16	< 1,15	< 1,05	< 1,17	< 1,13	< 1,14	< 1,27	< 1,17	< 1,22	< 1,29	< 1,25	< 1,12	< 1,25
Arsênio Total	mg/kg	8	15	35	150	< 1,73	< 1,72	< 1,58	< 1,76	< 1,69	< 1,72	< 1,91	< 1,76	< 1,83	< 1,93	< 1,87	< 1,68	< 1,87
Bário Total	mg/kg	93	150	300	750	5,87	22,7	< 2,11	21,7	23,4	18,8	24,2	11,3	12,4	25,8	143,7	8,79	7,25
Boro Total	mg/kg	11,5	-	-	-	< 4,62	< 4,59	< 4,21	< 4,68	< 4,51	< 4,58	< 5,08	< 4,69	< 4,87	< 5,15	< 4,98	< 4,47	< 4,99
Cádmio Total	mg/kg	0,4	1,3	3	20	< 1,16	< 1,15	< 0,351*J	< 0,390*J	< 1,13	< 1,14	< 1,27	< 0,391*J	< 1,22	< 0,429*J	< 1,25	< 1,12	< 1,25
Chumbo Total	mg/kg	19,5	72	180	900	< 2,31	< 2,30	< 2,11	< 2,34	< 2,25	< 2,29	< 2,54	< 2,34	< 2,44	7,17	6,05	< 2,24	8,62
Cobalto Total	mg/kg	6	25	35	90	< 1,73	< 1,72	< 1,58	< 1,76	< 1,69	< 1,72	< 1,91	< 1,76	3,36	3,43	7,37	< 1,68	6,02
Cobre Total	mg/kg	49	60	200	600	4,46	< 2,30	< 2,11	8,7	< 2,25	4,01	< 2,54	8,02	28,8	9,58	9,34	< 2,24	18,1
Cromo Total	mg/kg	75	75	150	400	< 5,20	< 5,17	< 4,74	< 5,27	7,19	< 5,15	8,53	< 5,28	32,3	22,1	9,37	9,04	45,5
Ferro Total	mg/kg	-	-	-	-	7077,0	12400,2	21594,7	66582,0	42059,4	16161,3	59415,5	22895,7	35085,3	49559	26382,8	50861,3	34257,2
Manganês Total	mg/kg	-	-	-	-	131,0	492,8	81,4	588,4	488,3	354,7	602,2	227,0	80,0	841,1	6981,8	254,5	254,9
Mercúrio Total	mg/kg	0,05	0,5	12	70	< 0,116	< 0,115	< 0,011	0,151	< 0,113	< 0,114	< 0,127	0,03	< 0,122	0,116	< 0,125	< 0,112	< 0,125
Molibdênio Total	mg/kg	0,9	30	50	120	< 2,31	< 2,30	< 2,11	< 2,34	< 2,25	< 2,29	< 2,54	< 2,34	< 2,44	< 2,57	< 2,49	< 2,24	< 2,50
Níquel Total	mg/kg	21,5	30	70	130	< 2,31	< 2,30	< 2,11	< 2,34	< 2,25	< 2,29	< 2,54	< 2,34	12,3	< 2,57	89,2	< 2,24	< 2,50
Prata Total	mg/kg	0,45	2	25	100	< 1,73	< 1,72	< 1,58	< 1,76	< 1,69	< 1,72	< 1,91	< 1,76	< 1,83	< 1,93	< 1,87	< 1,68	< 1,87
Selênio Total	mg/kg	0,5	5	-	-	< 1,73	< 1,72	< 1,58	< 1,76	< 1,69	< 1,72	< 1,91	< 1,76	< 1,83	< 1,93	< 1,87	< 1,68	< 1,87
Vanádio Total	mg/kg	129	-	-	1000	< 4,62	< 4,59	< 4,21	< 4,68	< 4,51	< 4,58	< 5,08	< 4,69	38,6	13,0	7,0	< 4,47	55,5
Zinco Total	mg/kg	46,5	300	450	2000	< 5,78	< 5,74	< 5,26	14,3	< 5,64	< 5,72	11	9,1	23,0	11,9	35,7	9,84	18,7

¹ Resolução CONAMA 420. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo.

² Deliberação Normativa COPAM nº 166. Valores de Referência de Qualidade dos Solos para o Estado de Minas Gerais.

Sondagens Realizadas na Barragem de Fundão (apenas extracalha)

Como esperado, as maiores concentrações foram detectadas para Alumínio, Ferro e Manganês. Contudo, os padrões de referência, prevenção ou investigação adotados neste estudo não apresentam concentrações base para estes parâmetros.

Para o Alumínio, as concentrações variaram de 667,1 a 10.936,3 mg/kg, com uma média de 3.661,2 mg/kg. Nos transectos da barragem de Fundão, T1T3 e T1T4, as concentrações identificadas foram respectivamente 221,3 e 1.644 mg/kg, valores inferiores à média calculada.

Para Manganês, as concentrações variaram de 80 a 6.981,8 mg/kg, com uma média de 973,48 mg/kg. Na barragem de Fundão (T1T3 e T1T4), as concentrações encontradas foram 81,4 e 588,4 mg/kg, também abaixo da média calculada para os demais transectos.

Para o Ferro, as concentrações variaram 7.077 a 59.415,5 mg/kg, com uma média de 32.377,7 mg/kg. As concentrações detectadas nas sondagens realizadas na barragem de Fundão foram 21.594,7 e 66.582 mg/kg (T1T3 e T1T4 respectivamente), indicando que o material amostrado nesta localidade apresenta concentração de Ferro superior à média dos demais transectos.

É importante ressaltar que o VRQ da DN COPAM nº 166/2011 estabelece concentrações que caracterizam a ocorrência natural de elementos, compostos ou substâncias no solo do estado de Minas Gerais, não possui portanto, caráter preventivo ou de intervenção.

Não detectou-se concentrações de Arsênio em nenhuma das amostras coletadas. Já o Bário foi encontrado em todas as amostras coletadas, tanto em rejeito quanto no substrato natural, superando o valor apresentado como ocorrência natural pela VRQ DN COPAM nº166 em apenas uma amostra, sendo esta de substrato natural do transecto T4T1, com concentração de 143,7 mg / kg. Nos transectos T1T3 e T1T4, não houve detecção para o primeiro e concentração de 21,7 mg/kg para o segundo. Segundo Sousa (2016), a presença de bário na forma de barita (SO₄Ba – Sulfato de Bário) é comum como mineral acompanhante, localmente, do minério de ferro da região do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, abrangendo a área da bacia de contribuição do rio Gualaxo do Norte. Tal fato explicaria a presença de Bário tanto no substrato como no rejeito, sendo atribuído à presença deste elemento na composição dos minérios de ferro originários da Formações Ferríferas Bandadas (ou BIF, em inglês – *Banded Iron Formation*).

O ausência de Arsênio nas amostras analisadas da seção extracalha dos Trechos 1 ao 4, podem reforçar as hipóteses de ocorrência natural ou consequência de atividades históricas antrópicas em outros trechos de estudo da JACOBS CH2M, como a conhecida e centenária exploração de ouro na região. Estudos apontam que a extinta Companhia Mina de Passagem, de Mariana, descartou aproximadamente 4 milhões de toneladas de estéreis enriquecidos em arsênio e metais pesados diretamente no rio (2016, Golder apud Vial, In Shobbeanhaus, 1988). Segundo Gardenal (2002), até a década de 1980, o processo de mineiração despejava o rejeito do processo nos rios da região. Assim, o Arsênio foi gradativamente introduzido no meio ambiente, podendo persistir até os dias de hoje no curso do Rio Gualaxo do Norte.

Em detalhe na tabela de concentrações, pode-se observar ainda, duas ocorrência de concentrações de Cobalto (7,37 mg/kg e 6,02 mg/kg) que superam o VRQ estabelecido pela DN COPAM nº 166/2011 (6 mg/kg) em substrato natural, nos transectos T4T1 e T4T2, mas não superam os demais valores orientadores adotados (Resolução CONAMA nº 420/2009 – Valor de Prevenção e de Investigação Agrícola), de 25 mg/kg e 35 mg/kg. A ocorrência do Cobalto pode ser atrelada à ocorrência natural, uma vez que as concentrações encontradas em substrato natural são superiores ao do material trazido pelo rompimento da barragem de Fundão (concentração não quantificável para T1T3 e T1T4) e apenas superaram ligeiramente o VRQ.

Observa-se ainda que o composto Cromo também foi detectado em algumas amostras, tanto em rejeito quanto em substrato natural, porém as concentrações não superam os valores padrões adotados, assim como para os compostos Zinco, Vanádio e Chumbo (destes parâmetros apenas o Zinco foi detectado nas análises do material coletado na barragem de Fundão – T1T4).

Houve ainda detecção de Mercúrio em 3 pontos de amostragem (camadas de rejeito) distribuídos em 3 transectos (T1T4, T3T1 e T4T1). Contudo, tais concentrações não superaram os Valores de Prevenção e Investigação Agrícola da Resolução CONAMA nº 420/2009 (0,5 mg/kg e 12 mg/kg respectivamente). As concentrações encontradas no transecto T1T4 e T4T1 (0,151 mg/kg e 0,116 mg/kg respectivamente) superaram o valor apresentado como ocorrência natural pela VRQ DN COPAM nº166/2011 (0,05 mg/kg). O mercúrio em estado líquido é historicamente conhecido pelo seu uso no garimpo para formação de amálgamas com o ouro livre, facilitando a recuperação de frações muito finas que não são recuperáveis por métodos

gravimétricos tradicionais. Contudo, trata-se apenas de um agente do processo, e após a recuperação do ouro agregado, é descartado no ambiente. Sabe-se que a atividade vem ocorrendo por pelo menos 200 anos na região.

A detecção de Níquel no transecto T4T1 (89,2 mg/kg) superou o Valor de Investigação Agrícola da Resolução CONAMA 420/2009 (70 mg/kg), contudo, a concentração ocorreu em apenas um ponto, conforme observa-se na planilha de concentrações, sendo esta no substrato natural. O cenário não indica tendência de ocorrência do composto Níquel, apenas de caráter pontual, talvez ocasionada por ocorrência natural.

Depósitos Intracalha

Também para os resultados de concentrações de metais obtidos na seção intracalha, é apresentado na Tabela 30 um compilado dos dados, juntamente com os valores de referência de qualidade do solo, com base na Resolução CONAMA nº 454/2012, que estabelece diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.

Tabela 30 – Concentrações de Metais na Seção Intracalha dos Trechos 1 ao 4

PARÂMETROS	UNIDADE	NÍVEL 1 PARA ÁGUA DOCE ¹	NÍVEL 2 PARA ÁGUA DOCE ¹	T1T1		T2T1		T3T1		T4T1	
				0101-IC-RL	0101-IC-RI	0201-IC-RL	0201-IC-RI	0301-IC-RI	0401-IC-RL	0401-IC-RI	
Alumínio Total	mg/kg	-	-	1166,6	1010,1	811,1	1048	589,2	2935,3	2222,4	
Antimônio Total	mg/kg	-	-	< 1,34	< 1,17	< 1,26	< 1,16	< 1,15	< 1,17	< 1,25	
Arsênio Total	mg/kg	5,9	17	< 2,01	< 1,76	< 1,89	< 1,75	< 1,73	< 1,75	< 1,87	
Bário Total	mg/kg	-	-	7,65	23,1	4,91	20,5	7,39	45,3	25,2	
Boro Total	mg/kg	-	-	< 5,35	< 4,69	< 5,04	< 4,66	< 4,60	< 4,66	< 4,98	
Cádmio Total	mg/kg	0,6	3,5	< 1,34	< 1,17	< 1,26	< 1,16	< 0,384*J	< 0,389*J	< 0,415*J	
Chumbo Total	mg/kg	35	91,3	< 2,68	4,7	< 2,52	< 2,33	< 2,30	< 2,33	< 2,49	
Cobalto Total	mg/kg	-	-	< 2,01	< 1,76	< 1,89	< 1,75	< 1,73	3,89	4,4	
Cobre Total	mg/kg	35,7	197	6,96	11,7	6,05	< 2,33	7,0	4,87	11,1	
Cromo Total	mg/kg	37,3	90	11,5	8,24	9,05	7,97	< 5,18	22,5	16,8	
Ferro Total	mg/kg	-	-	4726,1	9369,7	27332	53051,1	24309,6	46862,3	40692,5	
Manganês Total	mg/kg	-	-	175,2	569,0	117,3	584,5	216,2	1813,6	756,3	
Mercurio Total	mg/kg	0,17	0,486	< 0,134	< 0,117	< 0,126	< 0,116	0,033	0,105	0,065	
Molibdênio Total	mg/kg	-	-	< 2,68	< 2,35	< 2,52	< 2,33	< 2,30	< 2,33	< 2,49	
Níquel Total	mg/kg	18	35,9	< 2,68	< 2,35	< 2,52	< 2,33	< 2,30	< 2,33	< 2,49	
Prata Total	mg/kg	-	-	< 2,01	< 1,76	< 1,89	< 1,75	< 1,73	< 1,75	< 1,87	
Selênio Total	mg/kg	-	-	< 2,01	< 1,76	< 1,89	< 1,75	< 1,73	< 1,75	< 1,87	
Vanádio Total	mg/kg	-	-	7,58	< 4,69	< 5,04	< 4,66	< 4,60	16,4	12,1	
Zinco Total	mg/kg	123	315	< 6,69	< 5,87	< 6,31	8,8	9,0	9,93	11,7	

¹ Resolução CONAMA N° 454. Níveis de classificação do material a ser dragado

Novamente como esperado, as maiores concentrações foram detectadas para Alumínio, Ferro e Manganês. Para o Alumínio, as concentrações variaram de 589,2 a 9.782,7 mg/kg, com uma média de 1.397,5 mg/kg. Para Manganês, as concentrações variaram de 117,3 a 1.813,6 mg/kg, com uma média de 604,6 mg/kg. Para o Ferro, as concentrações variaram 4.726,10 a 53.051,1 mg/kg, com uma média de 29.477,61 mg/kg. Os padrões de referência, prevenção ou investigação adotados neste estudo não contemplam estes parâmetros.

Não houve concentrações acima dos padrões de comparação adotados (Resolução CONAMA nº 454/2012 – Nível 1 e Nível 2). Contudo, foram detectados em concentrações abaixo dos padrões os parâmetros Chumbo e Vanádio em apenas um ponto de sondagem cada (camada de rejeito lavado e camada de rejeito inconsolidado respectivamente, ambos para o transecto T1T1). Já os compostos Bário, Cromo e Cobre foram detectados na grande maioria das amostras de rejeito (o Bário esteve presente em todas as amostras) e o Mercúrio e Zinco em 3 e 4 amostras respectivamente, também abaixo das concentrações da Resolução CONAMA nº 454/2012.

5.2.4.5 *Análise de Fertilidade*

As rochas existentes na superfície da Terra estão sujeitas ao intemperismo, que é o conjunto das modificações de natureza física (desagregação) e química (decomposição) que elas sofrem e que dependem de vários fatores ambientais, como clima, relevo, fauna, flora, tipo de rocha e tempo de exposição (BRANCO, 2014).

Os produtos friáveis e móveis formados pelo intemperismo e que não são imediatamente removidos pela água, vento ou gelo evoluem, sofrendo uma reorganização estrutural, e dão origem ao que se chama de solo, num processo conhecido por pedogênese.

Quando se refere à fertilidade do solo, refere-se à capacidade do solo em fornecer nutrientes para as plantas crescerem e produzirem colheitas esperadas para a espécie. A capacidade do solo de fornecer nutrientes não se refere somente à saída de nutrientes do solo, mas também à capacidade de retê-los e disponibilizá-los às plantas posteriormente, (ANTÔNIO, s/d).

As plantas precisam de nutrientes, os chamados essenciais, ou seja, aqueles que não podem faltar na planta, caso contrário seu ciclo de vida não completa, não podem ser substituídos e estão diretamente envolvidos no metabolismo da planta. Estes nutrientes estão subdivididos em macro e micronutrientes.

Os macronutrientes são os nutrientes presentes em maior concentração nas plantas. São eles: C (Carbono), H (Hidrogênio), O (Oxigênio), N (Nitrogênio), K (Potássio), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), P (Fósforo) e S (Enxofre). Já os micronutrientes estão presentes em menor concentração. São eles: B (Boro), Cl (Cloro), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês), Mo (Molibdênio), Ni (Níquel), Se (Selênio) e Zn (Zinco).

A amostragem do solo é a primeira e principal etapa de um programa de avaliação da fertilidade do solo, pois é com base na análise química da amostra do solo que se realiza a interpretação e que são definidas as doses de corretivos e de adubos.

A caracterização ambiental dos depósitos de rejeito contemplou análises da fertilidade do solo a partir de amostras coletadas nos Trechos 1 ao 4. Esta seção apresenta a seguir os resultados das análises físico-químicas das amostras, bem como considerações sobre os resultados das análises laboratoriais e aponta recomendações gerais.

5.2.4.5.1 Metodologia

A caracterização ambiental dos depósitos foi realizada por meio de trabalhos de campo, em que foram realizadas inspeções nos Trechos 1 ao 4, coleta de amostras no mês de dezembro de 2017 e envio para laboratórios para análise de parâmetros de fertilidade do solo

A amostragem foi realizada com a utilização de cavadeiras e trados, com a coleta dos primeiros 20 cm a partir da superfície em cada ponto de amostragem do transecto. Em seguida, todas as amostras superficiais dos pontos extracalha do transecto foram juntadas e quarteadas, de modo a se obter uma amostra composta representativa do referido transecto, conforme já descrito detalhadamente na Seção 5.2.3.

As análises laboratoriais, disponíveis no **Anexo VI**, foram realizadas pelo laboratório Analytical Technology Serviços Analíticos e Ambientais Ltda. e compreenderam análises de parâmetros físicos e químicos, conforme apresentados na sequência.

Os resultados dos laudos das análises laboratoriais foram tabulados, as unidades padronizadas de acordo com as unidades adotadas para os valores de referência para posterior comparação. As faixas dos valores de referência foram classificadas para cada um dos parâmetros, nas categorias: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Vale ressaltar que a análise da fertilidade é realizada

para avaliar a disponibilidade de nutrientes em solo para o desenvolvimento de determinada espécie vegetal, de modo que a partir destes resultados é que serão definidas as t correções do solo em função do uso desejado.

Os valores de referência para a análise de fertilidade do solo foram escolhidos buscando encontrar os parâmetros definidos para a região em estudo e expandindo para regiões do entorno, no caso, estado de Minas Gerais e os demais estados da região sudeste. Desta maneira, os valores de referência adotados foram extraídos da publicação “Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a Aproximação (CFSEMG, 1999)”, referência no estado de Minas Gerais e “Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro para o parâmetro pH(CaCl₂)”.

5.2.4.5.2 Resultados e Discussão

Os resultados laboratoriais para as análises de granulometria e demais parâmetros estão apresentados na Tabela 31 e Tabela 32. Em seguida, estão descritas as análises para cada transecto.

Tabela 31 – Resultados da Análise de Granulometria das Amostras Compostas por Transecto nos Trechos 1 ao 4

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO	0101-EC-RE	0201-EC-RE	0202-EC-RE	0301-EC-RE	0401-EC-RE	0402-EC-RE
SEÇÃO DO RIO	Extracalha	Extracalha	Extracalha	Extracalha	Extracalha	Extracalha
PERCENTAGEM DE SÓLIDOS (%)	88,1	88,9	87,3	87,8	84,7	89,8
ARGILA	10,6	10,7	10,6	4,23	2,9	7,45
SILTE	48	52,2	47,7	28,3	15,3	39,9
AREIA MUITO FINA	15,2	28,2	25,2	44,2	36,7	31,5
AREIA FINA	13,8	6,69	12,6	20,4	35	15
AREIA MÉDIA	4,24	1,4	1,7	2,24	4,72	3,57
AREIA GROSSA	2,39	0,7746	0,2843	0,4607	2,14	0,9087
AREIA MUITO GROSSA	5,63	< 0,1100	0,1163	0,188	3,25	1,65
AREIA TOTAL	41,3	37,08	39,92	67,49	81,86	52,64
CASCALHO	> 2mm	> 2mm	> 2mm	> 2mm	> 2mm	> 2mm
FRAÇÃO (2,0 - 4,8mm)	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
FRAÇÃO (4,8 - 19,1mm)	< 0,1100	< 0,1100	1,66	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100
FRAÇÃO (> 19,1mm)	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100	< 0,1100

Tabela 32 - Resultados da Análise Química das Amostras Compostas por Transecto nos Trechos 1 ao 4

PARÂMETROS	UNIDADE REF	P-REM ****	VALORES DE REFERÊNCIA					REFERÊNCIA	UNIDADE LAB	T1T1	T2T1	T2T2	T3T1	T4T1	T4T2
			MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MUITO ALTO			0101-EC-RE	0201-EC-RE	0202-EC-RE	0301-EC-RE	0401-EC-RE	0402-EC-RE
pH(CaCl2)	-		6,0 - 7,0	5,6 - 6,0	5,1 - 5,5	4,4 - 5,0	< 4,3	1***	-	6,62	6,62	6,71	6,13	6,51	5,87
Densidade Aparente								3	g/cm³	2,06	2,11	2,02	1,90	1,6	1,7
Porosidade Total								3	%	30,8	32,5	29,3	33,6	42,7	36,2
Macroporosidade (Porosidade Efetiva)								3	%	3,05	3,7	3,78	4,23	7,17	4,76
Umidade								3	%	10,07	10,05	9,67	11,51	17,84	9,04
Matéria Orgânica Total	dag/kg		< 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00	2	%	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,76
Carbono Orgânico Total	dag/kg		< 0,40	0,41 - 1,16	1,17 - 2,32	2,33 - 4,06	> 4,06	2	%	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Soma de Bases	cmolc/dm3		< 0,60	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00*	> 6,00*	2	mmolc/dm3	1,9	2,4	3,2	0,7	0,5	7,2
Saturação de Bases	V %		< 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0*	> 80,0*	2	%	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0
Saturação Al	m %		< 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0	> 75,0	2	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H+Al	cmolc/dm3		< 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00	> 9,00	2	mmolc/dm3	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	1,20
CTC	cmolc/dm3		< 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00*	> 15,00*	2	mmolc/dm3	2,7	3,2	4,0	1,5	1,3	1,9
Fósforo	mg/L	0 - 4	< 3,0	3,1 - 4,3	4,4 - 6,0	6,1 - 9,0	> 9,0	2	mg/dm3	24,0	23,0	26,0	9,0	3,0	5,0

PARÂMETROS	UNIDADE REF	P-REM ****	VALORES DE REFERÊNCIA				REFERÊNCIA	UNIDADE LAB	T1T1	T2T1	T2T2	T3T1	T4T1	T4T2	
			MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO			MUITO ALTO	0101-EC-RE	0201-EC-RE	0202-EC-RE	0301-EC-RE	0401-EC-RE	0402-EC-RE
		4 - 10	< 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 12,5	> 12,5	2							
		10 - 19	< 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 11,4	11,5 - 17,5	> 17,5	2							
		19 - 30	< 8,0	8,1 - 11,4	11,5 - 15,8	15,9 - 24,0	> 24,0	2							
		30 - 44	< 11,0	11,1 - 15,8	15,9 - 21,8	21,9 - 33,0	> 33,0	2							
		44 - 60	< 15,0	15,1 - 21,8	21,9 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0	2							
Potássio	mg/dm ³		< 15,0	16 - 40	41 - 70	71 - 120	> 120	2	mg/dm ³	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Cálcio	cmolc/dm ³	-	< 0,4	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00*	> 4,00*	2	mg/kg	0,095	0,120	0,155	0,035	0,020	0,030
Magnésio	cmolc/dm ³		< 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50*	> 1,50*	2	mg/kg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		0 - 4	< 1,7	1,8 - 2,5	2,6 - 3,6	3,7 - 5,4	> 5,4	2							
		4 - 10	< 2,4	2,5 - 3,6	3,7 - 5,0	5,1 - 7,5	> 7,5	2							
Enxofre	mg/L	10 - 19	< 3,3	3,4 - 5,0	5,1 - 6,9	7,0 - 10,3	> 10,3	2	mg/dm ³	0,0	9,0	16,0	7,0	8,0	5,0
		19 - 30	< 4,6	4,7 - 6,9	7,0 - 9,4	9,5 - 14,2	> 14,2	2							
		30 - 44	< 6,4	6,5 - 9,4	9,5 - 13,0	13,1 - 19,6	> 19,6	2							
		44 - 60	< 8,9	9,0 - 13,0	13,1 - 18,0	18,1 - 27,0	> 27,0	2							
Alumínio	cmolc/dm ³		< 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00	> 2,00	2	mg/dm ³	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fósforo Remanescente (CaCl ₂ +60 mg P/L)	mg/L			30,1 - 60	19,1 - 30	0 - 19		4	mg/L	26,40	23,80	22,80	61,10	60,90	40,10
Nitrogênio Total		-						3	mg/kg	55,10	50,6	34,0	20,5	20,2	100,7
pH	-		< 4,5	4,5 - 5,4	5,5 - 6,0	6,1 - 7,0	> 7,0	4	-	7,38	7,23	7,63	7,47	7,11	6,83
Fosforo Resina	mg/dm ³		< 10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0*	> 45,0*	2**	mg/dm ³	24,00	23,00	26,00	9,00	3,00	5,00

Legenda:

1- Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (De-Polli, 1988)

2 - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a Aproximação (CFSEMG, 1999)

* - a interpretação destas características deve ser bom a muito bom em lugar de alta a muito alta.

** - Com base no teor de argila de 0 - 15%

*** - Valores referentes a acidez

dag/kg = % (m/m);

g/cm³ = Kg/dm³/ 1 cmolc Ca = 200,4 mg Ca

3 - Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999)**** Classes de interpretação da disponibilidade para o fósforo e enxofre de acordo com o valor de fósforo remanescente (P-rem)

Faixas dos valores de referência:

Muito baixo
Baixo
Médio
Alto
Muito alto

Com base nos resultados obtidos para as análises físicas, todos os resultados para granulometria indicaram um maior percentual de areia o qual variou de 37,08% a 81,86%, o silte apresentou variações entre 15,3% e 52,2% e a argila apresentou menor percentual em todas as amostras, com variações entre de 2,9% e 10,7%, condizente com a área em estudo. Dá-se destaque para as amostras T1T1, T1T2, T2T2, as quais apresentaram um percentual elevado de argila, em torno de 10% e o silte 50%.

A densidade é influenciada pela textura, Solos arenosos apresentam densidade superior ao solo argiloso, enquanto que os solos siltosos apresentam comportamento intermediário. Nos solos com textura arenosa a densidade é considerada crítica entre 1,70 a 1,80 kg.dm⁻³ (LIBARDI, 2005). Os pontos amostrados, apresentaram variação entre 1,6 e 2,11 g/cm³, no entanto apenas as amostras dos trechos T4T1 e T4T2 ficaram próximos da faixa de criticidade e apresentaram também um maior percentual de areia em relação ao percentual de argila.

Com relação ao parâmetro macroporosidade, de acordo com Baver et al. (1972), um solo apresenta condições ideais de aeração para o desenvolvimento das plantas quando a macroporosidade é superior a 10%, esta condição não foi verificada em nenhuma das amostradas, sendo que o valor obtido para a amostra do T4T1 foi o que mais se aproximou do valor de referência, mas ainda inferior (7,17%). A mesma amostra apresentou a maior percentual de umidade (17,84%).

Com relação à análise dos parâmetros químicos para fertilidade do solo observou-se que todos os resultados para matéria orgânica e carbono orgânico se enquadraram como “muito baixos” quando comparados aos valores de referência adotados para Minas Gerais, assim como os nutrientes potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), indicando solos pobres nestes macronutrientes.

Os resultados para o fósforo (P) variaram entre “muito baixo (T4T1 e T4T2), “baixo” (T3T1), “alto” (T1T1) e “muito alto” (T2T2).

Os resultados para enxofre (S) variaram entre “muito baixo” (T1T1), “baixo” (T4T2), “médio” (T2T1, T3T1, T4T1), e “muito alto” (T2T2). A presença de S pode indicar a presença de matéria orgânica nas amostras, pois este parâmetro é disponibilizado ao meio por meio de sua decomposição. No entanto, a matéria orgânica se manteve na faixa “baixo” para todos os pontos, não sendo possível afirmar a fonte de enxofre.

Os resultados para o alumínio (Al) foram classificados como “muito baixo” para todas as amostras com valores de $0,01 \text{ cmolc/dm}^3$, o que indica que a presença do mesmo não confere toxidez para as plantas, uma vez que são recomendados valores abaixo $0,50 \text{ cmolc/dm}^3$.

Os resultados para Capacidade de Troca Catiônica (CTC) se enquadraram em “muito baixa” (T3T1 e T4T1) e “baixa” (T1T1, T2T1, T2T2, T4T2). Recomenda-se valores acima de $4,6 \text{ cmolc/dm}^3$ para manutenção da reserva de nutrientes no solo, sendo que apenas a amostra T2T2 apresentou valor próximo ao recomendado ($4,0 \text{ cmolc/dm}^3$), mas ainda assim foi enquadrado como baixo pelo valor de referência.

O pH determina a disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo que baixos valores têm a disponibilidade de macronutrientes para a planta diminuída, e quando muito alto (maior que 7) têm a disponibilidade de micronutrientes para a planta diminuída, sendo o ideal valores entre 5,5 e 6,5. Os resultados indicaram valores de pH elevados (básicos) acima de 7, exceto para o T4T2 que apresentou valor 6,83, indicando solos alcalinos com necessidade de correção de pH, caso venha a ser uma área indicada para plantio

Os solos com pH 7,0 (alcalinos) não contêm íons H e Al, o resultado das amostras apontou valores que se enquadraram como “muito baixo” e “baixo” (T4T2) para o H+Al. A saturação de base (V%) por sua vez, se enquadrou como “alto” para todas as amostras. As análises indicaram solos pobres, com baixa fertilidade pequenas alterações entre um transecto e outro.

Para melhorar a fertilidade do solo recomenda-se a utilização de métodos de adubação química e/ou orgânica de modo a auxiliar um melhor crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como a adubação verde ou plantio verde, o qual consiste no plantio de leguminosas para fixação de nitrogênio ou o plantio de culturas de cobertura, que adicionam matéria orgânica e nitrogênio ao solo, aumentam a atividade biológica e recuperam nutrientes lixiviados (lavados) para as camadas mais profundas. A adução química também pode ser considerada, no entanto a proporção e quantidade de adubo (N:P:K) está condicionada à exigência da cultura.

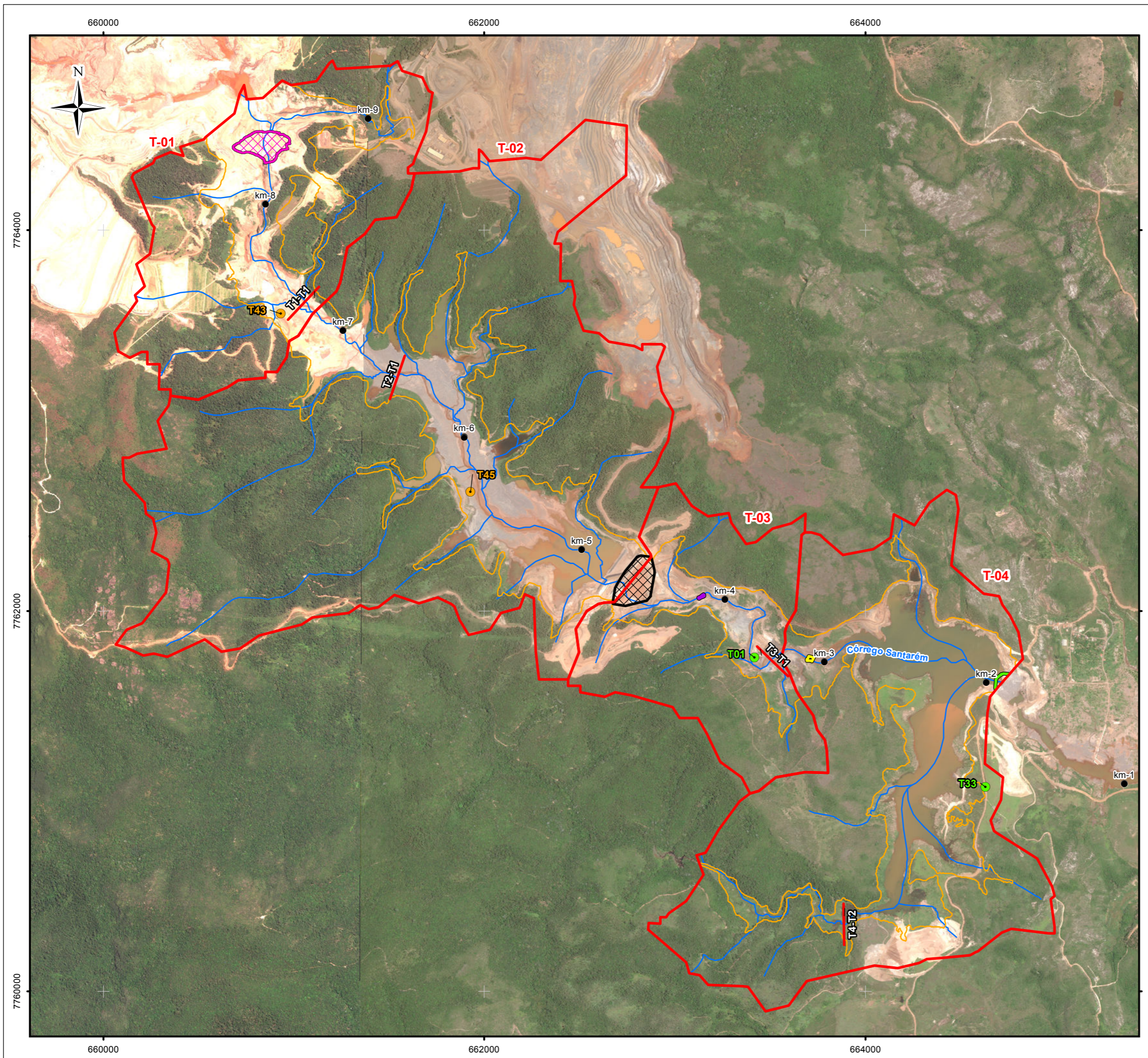
As próximas etapas de trabalhos devem estimular o crescimento e regeneração da vegetação nativa, incrementando o plantio de mudas de espécies arbóreas locais de modo a aumentar a diversidade e o número de indivíduos de vegetação nativa nas áreas impactadas.

5.2.4.6 Relação com Dados Pretéritos

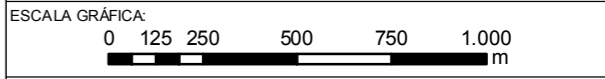
Os resultados das análises químicas de metais no solo e sedimento detectados neste PMR foram comparados com os resultados coletados pela empresa Golder Associates reportado no estudo “Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos” (Golder, 2017), para os pontos coletados próximos aos transectos realizados. Ressalta-se que as amostras do estudo geoquímico foram coletadas em meados do primeiro trimestre de 2016; em contrapartida as amostras coletadas deste PMR referem-se a novembro de 2017.

Para tanto, foram selecionadas as amostras de solo T01 e T33 e a amostras de sedimento T43 e T45, coletadas no trabalho da Golder, as quais foram comparadas com as amostras coletadas nos transectos do Trecho 1 (T1T1), Trecho 2 (T2T1) Trecho 3 (T3T1) e Trecho 4 (T4T2) do presente estudo. Todas as amostras de solo foram comparadas com os valores da D.N. COPAM nº 166/2011 e Resolução CONAMA nº 420/2009 (prevenção e agrícola); já os resultados de sedimentos foram comparados com a Resolução CONAMA nº 454/2012 (água doce, Níveis 1 e 2). A Figura 70 apresenta localização dos pontos de amostragem de solo e sedimentos.

As Tabela 33 e Tabela 34, a seguir, apresentam os resultados analíticos de solo (comparadas com os resultados de rejeito e substrato natural extracalha) e sedimentos (comparadas com rejeito lavado e rejeito inconsolidado intracalha), respectivamente.



- LEGENDA:
- Quilometragem (início na foz do Córrego Santarém)
 - Curso d'água
 - Área Impactada - Trechos 1 ao 4
 - Trechos 1 ao 4
 - ▨ Eixo 1
 - ▩ Barragem Nova Santarém
 - ▭ Dique S1
 - ▭ Dique S2
 - ▭ Dique S3
 - Transectos (CH2M) onde foram coletadas as amostras compostas
 - Geoquímico - amostra de sedimento
 - Geoquímico - amostra de solo



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Digital Globe, 2017.
Zoneamento Ambiental Produtivo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte - ZAP, EMATER, MG, 2017
GOLDER, 2016.



TÍTULO:
Figura 70
Localização das amostras de solo e sedimento do Estudo Geoquímico da Golder e deste PMR nos Trechos 1 ao 4

PROJETO:
Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.000	09/02/2018	RM	EL	MB	R0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura XXX - Localização das Amostras de Solo e Sedimento do Estudo Geoquímico da Golder e deste PMR - Trechos 1 a 4

Tabela 33 - Comparativo dos Resultados Analíticos Pretéritos x Atuais – Solo

PARÂMETROS	UNIDADE	D.N.COPAM 166/2011	VALOR DE PREVENÇÃO	VALOR DE INVESTIGAÇÃO AGRÍCOLA	VALOR DE INVESTIGAÇÃO INDUSTRIAL	CH2M		GOLDER	CH2M		GOLDER
						T3T1-EC-RE	T3T1-EC-SN	T01	T4T2-EC-RE	T4T2-EC-SN	T33
						Extracalha/Rejeito	Extracalha/Solo Natural	Solo	Extracalha/Rejeito	Extracalha/Solo Natural	Solo
Alumínio Total	mg/kg	-	-	-	-	667,1	8.081,6	2.271	< 1118,6	10.936,3	3.162
Antimônio Total	mg/kg	0,5	2	5	25	< 1,17	< 1,22	<1	< 1,12	< 1,25	<1
Arsênio Total	mg/kg	8	15	35	150	< 1,76	< 1,83	10,3	< 1,68	< 1,87	7,98
Bário Total	mg/kg	93	150	300	750	11,3	12,4	36,1	8,79	7,25	17,2
Boro Total	mg/kg	11,5	-	-	-	< 4,69	< 4,87	< 4,68	< 4,47	< 4,99	< 4,60
Cádmio Total	mg/kg	0,4	1,3	3	20	< 0,391	< 1,22	<1	< 1,12	< 1,25	<1
Chumbo Total	mg/kg	19,5	72	180	900	< 2,34	< 2,44	<8	< 2,24	8,62	<8
Cobalto Total	mg/kg	6	25	35	90	< 1,76	3,36	<8	< 1,68	6,02	<8
Cobre Total	mg/kg	49	60	200	600	8,02	28,8	6,92	< 2,24	18,1	6,88
Cromo Total	mg/kg	75	75	150	400	< 5,28	32,3	20,8	9,04	45,5	18,9
Ferro Total	mg/kg	-	-	-	-	22.895,7	35.085,3	114.538	50.861,3	34.257,2	93.193
Manganês Total	mg/kg	-	-	-	-	227,0	80,0	654	254,5	254,9	328
Mercurio Total	mg/kg	0,05	0,5	12	70	0,03	< 0,122	< 0,351	< 0,112	< 0,125	< 0,115
Molibdênio Total	mg/kg	0,9	30	50	120	< 2,34	< 2,44	<3	< 2,24	< 2,50	<3
Níquel Total	mg/kg	21,5	30	70	130	< 2,34	12,3	5,24	< 2,24	< 2,50	6,38
Prata Total	mg/kg	0,45	2	25	100	< 1,76	< 1,83	<1	< 1,68	< 1,87	<1
Selênio Total	mg/kg	0,5	5	-	-	< 1,76	< 1,83	<1	< 1,68	< 1,87	<1
Vanádio Total	mg/kg	129	-	-	1000	< 4,69	38,6	10,9	< 4,47	55,5	11
Zinco Total	mg/kg	46,5	300	450	2000	9,1	23,0	21,7	9,84	18,7	14,9

Legenda:

- Valor acima do limite estabelecido pela Deliberação Normativa COPAM nº 166. Valores de Referência de Qualidade dos Solos para o Estado de Minas Gerais
- Valor acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009 - Valor de Prevenção
- Valor acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009 - Valor de Investigação - Agrícola
- Valor acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009 - Valor de Investigação - Industrial
- <XX Valor abaixo do limite de quantificação laboratorial
- <XX Valor abaixo do limite de quantificação laboratorial mas acima de um ou mais valores limite estabelecido pelas referências legais
- XX Valor acima do limite de quantificação laboratorial mas não superou nenhum limite estabelecido pelas referências legais
- Não há valor estabelecido pela referência legal

Tabela 34 - Comparativo dos Resultados Analíticos Pretéritos x Atuais – Sedimentos

PARÂMETROS	UNIDADE	NÍVEL 1 PARA ÁGUA DOCE	NÍVEL 2 PARA ÁGUA DOCE	CH2M			GOLDER		
				T1T1-IC-RL		T43	T2T1-IC-RL		T45
				Tipo de Amostra		Sedimento	Tipo de Amostra		Sedimento
				Intracalha/ Rejeito Lavado	Intracalha/ Rejeito Inconsolidado		Intracalha/ Rejeito Lavado	Intracalha/ Rejeito Inconsolidado	
Alumínio Total	mg/kg	-	-	1.166,6	1.010,1	6.768	811,1	1.048	3.107
Antimônio Total	mg/kg	-	-	< 1,34	< 1,17	1,58	< 1,26	< 1,16	1,22
Arsênio Total	mg/kg	5,9	17	< 2,01	< 1,76	7,71	< 1,89	< 1,75	11,2
Bário Total	mg/kg	-	-	7,65	23,1	24,4	4,91	20,5	25,1
Boro Total	mg/kg	-	-	< 5,35	< 4,69	< 4,85	< 5,04	< 4,66	< 4,74
Cádmio Total	mg/kg	0,6	3,5	< 1,34	< 1,17	< 3	< 1,26	< 1,16	< 1
Chumbo Total	mg/kg	35	91,3	< 2,68	4,7	12,9	< 2,52	< 2,33	< 8
Cobalto Total	mg/kg	-	-	< 2,01	< 1,76	9	< 1,89	< 1,75	< 8
Cobre Total	mg/kg	35,7	197	6,96	11,7	8,18	6,05	< 2,33	5,5
Cromo Total	mg/kg	37,3	90	11,5	8,24	21	9,05	7,97	6
Ferro Total	mg/kg	-	-	4.726,1	9.369,7	197.565	27.332	53.051,1	173.222
Manganês Total	mg/kg	-	-	175,2	569,0	488	117,3	584,5	509
Mercurio Total	mg/kg	0,17	0,486	< 0,134	< 0,117	< 0,121	< 0,126	< 0,116	< 0,355
Molibdênio Total	mg/kg	-	-	< 2,68	< 2,35	< 3	< 2,52	< 2,33	< 3
Níquel Total	mg/kg	18	35,9	< 2,68	< 2,35	5,69	< 2,52	< 2,33	< 3
Prata Total	mg/kg	-	-	< 2,01	< 1,76	< 1	< 1,89	< 1,75	< 1
Selênio Total	mg/kg	-	-	< 2,01	< 1,76	< 1	< 1,89	< 1,75	< 1
Vanádio Total	mg/kg	-	-	7,58	< 4,69	22,9	< 5,04	< 4,66	10
Zinco Total	mg/kg	123	315	< 6,69	< 5,87	23,9	< 6,31	8,8	21

Legenda:

- Valor acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA N° 454 – Níveis de Classificação para Água Doce – Nível 1
- Valor acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA N° 454 – Níveis de Classificação para Água Doce – Nível 2
- <XX Valor abaixo do limite de quantificação laboratorial
- <XX Valor abaixo do limite de quantificação laboratorial mas acima de um ou mais valores limite estabelecido pelas referências legais
- XX Valor acima do limite de quantificação laboratorial mas não superou nenhum limite estabelecido pelas referências legais
- Não há valor estabelecido pela referência legal

Para os resultados de solo foram realizadas duas áreas de comparação: as amostras de substrato natural e rejeito do Trecho 3, Transecto 1 (T3T1) com a amostra T01; e as amostras do Trecho 4, Transecto 2 (T4T2) com a amostra T33. Em ambas áreas de comparação, os resultados analíticos de metais estavam na mesma ordem de grandeza, com exceção do alumínio, arsênio, chumbo, cobalto, ferro e mercúrio. O alumínio foi detectado em maior concentração nas duas amostras de solo natural (JACOBS CH2M); em contrapartida as amostras pretéritas de solo (GOLDER) indicaram valores maiores de ferro no solo do que nas amostras atuais. O mercúrio foi observado somente em uma amostra, no rejeito do T3T1, mas em concentração inferior aos valores de referência, sendo possível esta presença ser associada à atividade de garimpo ilegal na região.

Os resultados de sedimento também foram comparados em duas áreas: as amostras de rejeito lavado e rejeito inconsolidado em intracalha no Trecho 1, Transecto 1 (T1T1) com a amostra T43; e as amostras do Trecho 2, Transecto 1 com a amostra T45. Verifica-se que, assim como os resultados de solo, os metais alumínio, arsênio e ferro estavam em ordem de grandeza distinta quando comparados os resultados atuais (JACOBS CH2M) com os pretéritos (GOLDER) em ambas as áreas. Os três metais citados foram detectados em maiores concentrações nas amostras de sedimento pretéritas, sendo que o arsênio ultrapassou o valor permitido para Nível 2, Água Doce da Resolução CONAMA N° 454.

5.2.5 Estimativa de Volume de Depósito de Rejeito

5.2.5.1 Estimativa de volume em Função das Sondagens Realizadas

A estimativa de volume de depósito de rejeito foi calculada a partir de dois métodos baseados nas espessuras que foram medidas durante as atividades de campo. O Método 1 se utiliza de áreas determinadas para os contextos de calha, planície e encosta e das médias de espessura em cada contexto, considerando como limites de extrapolação as unidades de análise e os transectos realizados. O segundo método se utiliza de uma equação de tendência da espessura (medida em campo) em função da elevação (obtida de uma base planialtimétrica), juntamente com áreas que são calculadas entre intervalos de curvas de nível.

Os métodos a seguir descritos não foram utilizados para a estimativa dos rejeitos contidos nas áreas dos reservatórios da barragem Nova Santarém e do dique S3, de forma que as áreas utilizadas desconsideram as áreas alagadas por essas estruturas de contenção, em junho

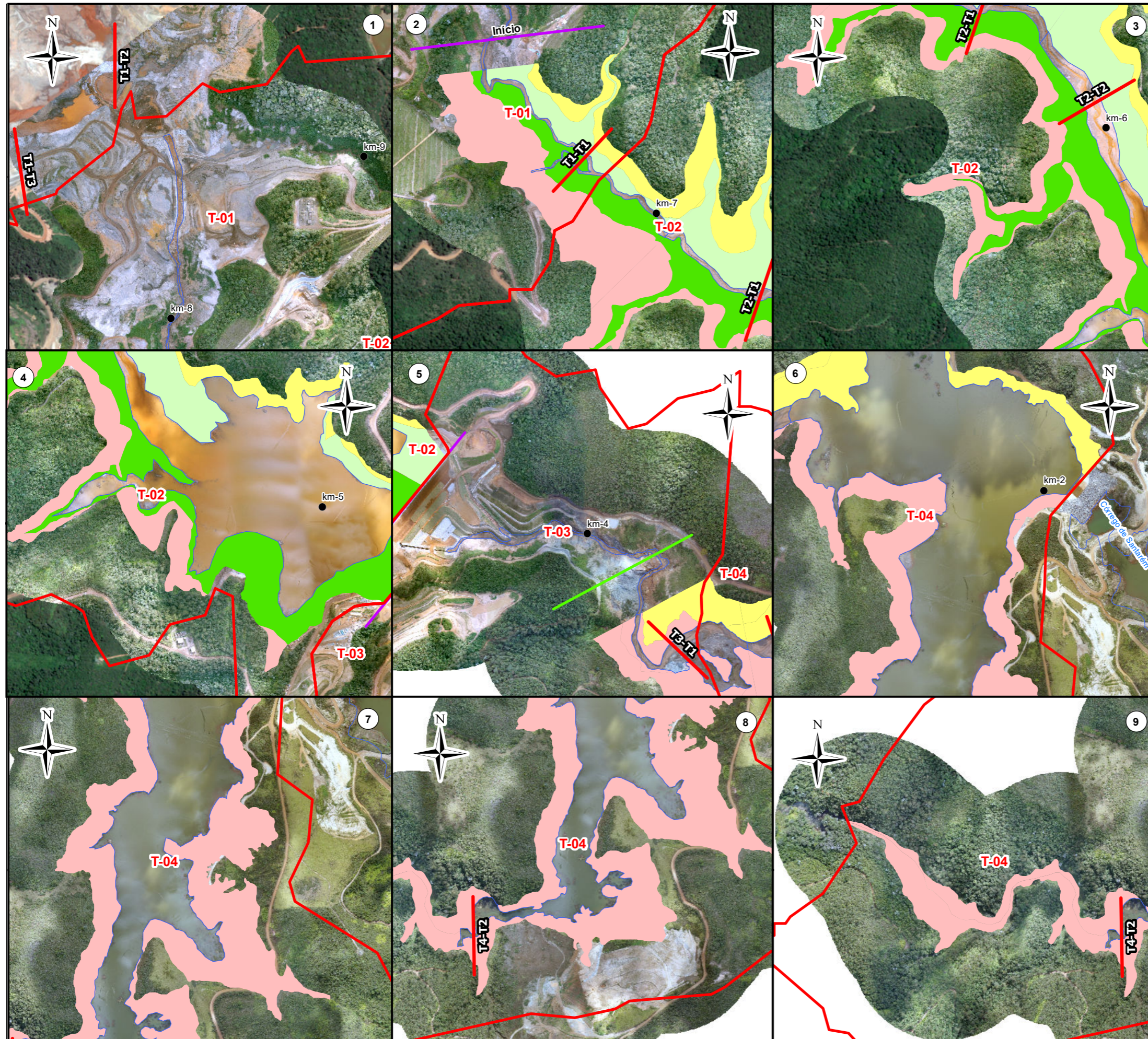
e julho de 2017 (data das fotos obtidas por sobrevoo de drone). Para essas áreas, as estimativas serão discutidas posteriormente.

Método 1 – Áreas e espessuras médias divididas em contextos

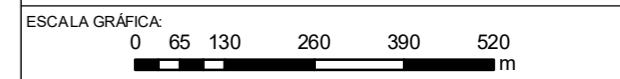
A fim de estimar o volume de rejeito nos Trechos 1 ao 4 foram utilizadas as áreas impactadas delimitadas e compartimentadas nos contextos de calha, planície e encosta, conforme pode ser visto na Figura 71. A área impactada foi delimitada com base nas fotos aéreas após o acidente, em que foram determinados os limites máximos dos depósitos de rejeito. Posteriormente, esta área foi segmentada nos diferentes contextos estudados.

Para delimitação dos contextos, foram utilizadas principalmente fotos obtidas por sobrevoo de drone de alta resolução (0,1 m de resolução), datadas de junho e julho de 2017, base planialtimétricas com curvas de nível com intervalos de 0,5 m fornecidas pela Samarco, cuja restituição topográfica data de outubro de 2017 e também as planilhas de campo com os dados das sondagens nos transectos.

A ruptura de declive negativa verificada na base planialtimétrica permitiu a delimitação da transição entre planície e encosta, confirmada ainda pela análise de imagens obtidas por drone e do Google Earth, e por fim, corroboradas pelos dados das fichas de campo. Para delimitação da calha também foram utilizadas imagens de drone e do Google Earth em diferentes períodos hidrológicos. Além disso, durante a realização das atividades de campo, ocorridas em dezembro de 2017 e que trazem uma observação mais próxima do cenário, foram observadas a posição atual dos corpos d'água, a posição alcançada pela “onda de cheia” resultante da ruptura da barragem de Fundão e as evidências de processos erosivos verificados atualmente.



- LEGENDA:
- Quilometragem (início na foz do Rio Doce)
 - Unidade de Análise 1
 - Unidade de Análise 2
 - Transectos
 - Planície Direita
 - Planície Esquerda
 - Encosta Direita
 - Encosta Esquerda
 - Calha do Rio
 - Trecho 1 a 4



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Digital Globe, 2017.



TÍTULO:
Figura xxx
Detalhamento da Área Afetada e Impactada do PMR

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:11.000	23/02/2018	RM	EL	MB	RA0

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura XXX - Detalhamento da Área Afetada e Impactada do PMR - Trecho 1 a 4

As áreas de influência de cada transecto, apresentadas na Tabela 35, foram calculadas utilizando-se a distância média entre cada um dos transectos e os limites das unidades de análise (UAs), sendo as UAs delimitadas em seus extremos pelas gargantas, as quais são trechos mais declivosos e/ou estreitos e menos propensos à deposição do rejeito. Essas áreas não incluem a área dos reservatórios da barragem Nova Santarém e do dique S3, cujo volume de rejeitos foi baseado em estudos anteriores (POTAMOS, 2017) calculado por outro método.

É importante mencionar que através das análises descritas para delimitação das áreas dos contextos, foi entendido, posteriormente às atividades de campo, que os pontos descritos nos Trechos 3 e 4 como “planície”, estão localizados em áreas influenciadas pelo remanso do dique S3 e formam parte do depósito intracalha. Essa conjuntura se evidencia pelas características de canal anastomosado, que apesar de apresentar áreas “secas” no momento das atividades de campo por conta da mobilidade dos canais, podem fazer parte do remanso do dique. Dessa forma, a planície de inundação é contextualizada como calha para o cálculo de volume e tomada de decisão, e o contexto extracalha dos Trechos 3 e 4 se resume às encostas em seguida dos canais intracalha.

Tabela 35 – Áreas de encosta, planície e calha impactadas segmentadas entre as áreas de influência dos transectos

UNIDADES DE ANÁLISE	TRANSECTOS	ÁREAS (m ²)				
		Esquerda		Calha*	Direita	
		Encosta	Planície		Planície	Encosta
T1T4-UA1	T1-T1	41.898	30.329	10.104	38.955	104.059
	T2-T1	62.730	80.395	10.331	46.970	53.686
	T2-T2	97.284	152.530	20.569	158.816	109.659
T1T4-UA2	T3-T1	34.181	-	28.371	-	65.883
	T4-T1	113.790	-	13.446	-	65.713
	T4-T2	120.963	-	-	-	228.306

* Área da calha, excluindo as áreas dos reservatórios da barragem Nova Santarém (atual) e do dique S3

Os rejeitos intra calha foram denominados como Rejeito Lavado (ou *lag-layer*) e Rejeito Inconsolidado e em planícies e encostas, como Rejeito. Para cada contexto foi calculada uma espessura média dos rejeitos, conforme Tabela 36, as quais foram obtidas através da média aritmética das espessuras obtidas nas sondagens de campo, separadas por contexto e por tipo de rejeito.

Cabe mencionar que a área intracalha referente ao transecto T4-T2 foi considerada como parte do reservatório do dique S3, devido à continuidade do espelho d’água do

reservatório até sua seção, conforme Tabela 36. Além disso, a porção extracalha dessa seção é formada somente por encostas, uma vez que o transecto foi locado em área de vale encaixado, onde a área intracalha é seguida diretamente da encosta.

Figura 72 – Detalhe da área do transecto T4-T2 na área do reservatório do Dique S3



Fonte: Fotos do Drone Echar 20c RTK, GSD: 10 cm. Julho/2017

Tabela 36 – Espessura média de rejeito na calha, planície de inundação e encosta

UNIDADES DE ANÁLISE	TRANSECTOS	ESPESSURA MÉDIA DE REJEITO (m)				
		Esquerda		Calha*	Direita	
		Encosta	Planície		Planície	Encosta
T1T4-UA1	T1-T1	0,00	6,43	1,63	5,87	0,00
	T2-T1	0,00	6,20	1,48	7,47	0,07
	T2-T2	0,00	5,85	-	8,50	0,10
T1T4-UA2	T3-T1	0,73	-	2,65	-	-
	T4-T1	0,36	-	3,69	-	0,22
	T4-T2	-	-	-	-	0,19

*Na calha, foi calculada a média de rejeitos lavado e inconsolidado, quando coexistentes.

Por fim, o volume em cada contexto foi estimado calculando-se o produto das espessuras médias de cada transecto pelas áreas de influência dos mesmos. Os resultados

podem ser vistos na Tabela 36 e Tabela 37. As áreas delimitadas de acordo com os critérios estabelecidos demonstram que nos Trechos 1 ao 4 há uma maior área de encosta afetada (Tabela 35) uma vez que a área impactada ao redor do dique S3 foi classificada como encosta. Apesar disso, o maior volume de rejeitos se encontra nas planícies, isso porque as espessuras verificadas nas encostas são reduzidas, enquanto nas planícies foram verificadas as maiores espessuras durante a campanha de sondagens, conforme demonstrado na Tabela 36. Conforme pode ser visto na Tabela 35, desconsiderando-se as áreas de reservatório da barragem Nova Santarém (Trecho 2) e do dique S3 (Trecho 4), o Trecho 2 apresenta os maiores volumes de rejeito, principalmente em suas planícies.

Tabela 37 – Volume estimado de rejeito na calha, planície de inundação e encosta

UNIDADES DE ANÁLISE	TRANSECTOS	VOLUME DE REJEITO (M ³)				
		Esquerda		Calha*	Direita	
		Encosta	Planície		Planície	Encosta
T1T4-UA1	T1-T1	0	195.000	16.500	228.700	0
	T2-T1	0	498.500	15.300	350.900	3.800
	T2-T2	0	892.300	-	1.349.900	11.000
T1T4-UA2	T3-T1	25.000	-	75.100	-	-
	T4-T1	41.000	-	49.500	-	14.500
	T4-T2	-	-	-	-	44.100

*Volume de rejeito da calha, excluindo as áreas dos reservatórios da barragem Nova Santarém e do dique S3. O volume de rejeito na calha é a soma dos volumes de rejeito lavado e inconsolidado.

Para o cálculo de volume, nos Trechos 3 e 4, as áreas descritas como planícies durante as atividades de campo foram consideradas como depósitos intracalha, uma vez que apresentam as características supramencionadas de canal anastomosado e que ademais, influenciadas pelo remanso do dique S3. Para os Trechos 1 e 2, o volume das planícies identificadas nos relatórios de campo, foi calculado individualmente, apresentando-as como contexto único, mas não foi considerado no processo de tomada de decisão como componente da seção extracalha, uma vez que a área referente a estes trechos será inundada pela barragem Nova Santarém. Dessa forma, na tomada de decisão, os Trechos 1 ao 4 compreendem áreas de calha seguidas diretamente de áreas de encostas, pois esse é o cenário que se conformará com os reservatórios da barragem e do dique inundados.

Tabela 38 – Resumo do volume estimado nos Trechos 1 ao 4

TRECHOS	VOLUME DE REJEITO (M ³)					Total
	Esquerda		Calha*	Direita		
	Encosta	Planície		Planície	Encosta	
Trecho 1	0	154.700	10.900	146.500	0	312.100

VOLUME DE REJEITO (M³)

TRECHOS	Esquerda		Calha*	Direita		Total
	Encosta	Planície		Planície	Encosta	
Trecho 2	0	1.431.000	20.900	1.782.900	14.700	3.249.600
Trecho 3	16.900	-	35.600	-	-	52.500
Trecho 4	49.000	0	89.100	0	58.600	196.700
TOTAL	65.900	1.585.800	156.400	1.929.500	73.300	3.810.900

*Volume de rejeito da calha, excluindo as áreas dos reservatórios da barragem Nova Santarém (atual) e do dique S3. O volume de rejeito na calha é a soma dos volumes de rejeito lavado e inconsolidado.

Método 2 – Áreas entre curvas de nível e espessura de acordo com equação de tendência

Primeiramente, as espessuras medidas em campo foram contrapostas com a base planialtimétrica em arquivo de AutoCad elaborado pela HGT (restituição topográfica datada de outubro de 2017) e fornecido pela SAMARCO, cujo intervalo entre curvas de nível é de 1 m. Foi determinada a cota de cada sondagem e com isso foram gerados os gráficos das Figura 73 e Figura 74, correlacionando cota do terreno e espessura de rejeitos. Através dos gráficos e das equações das linhas de tendência geradas, percebe-se que a espessura tem uma tendência negativa ao passo que a cota do terreno se eleva.

Figura 73 – Tendência da espessura em função da elevação na T1T4-UA1

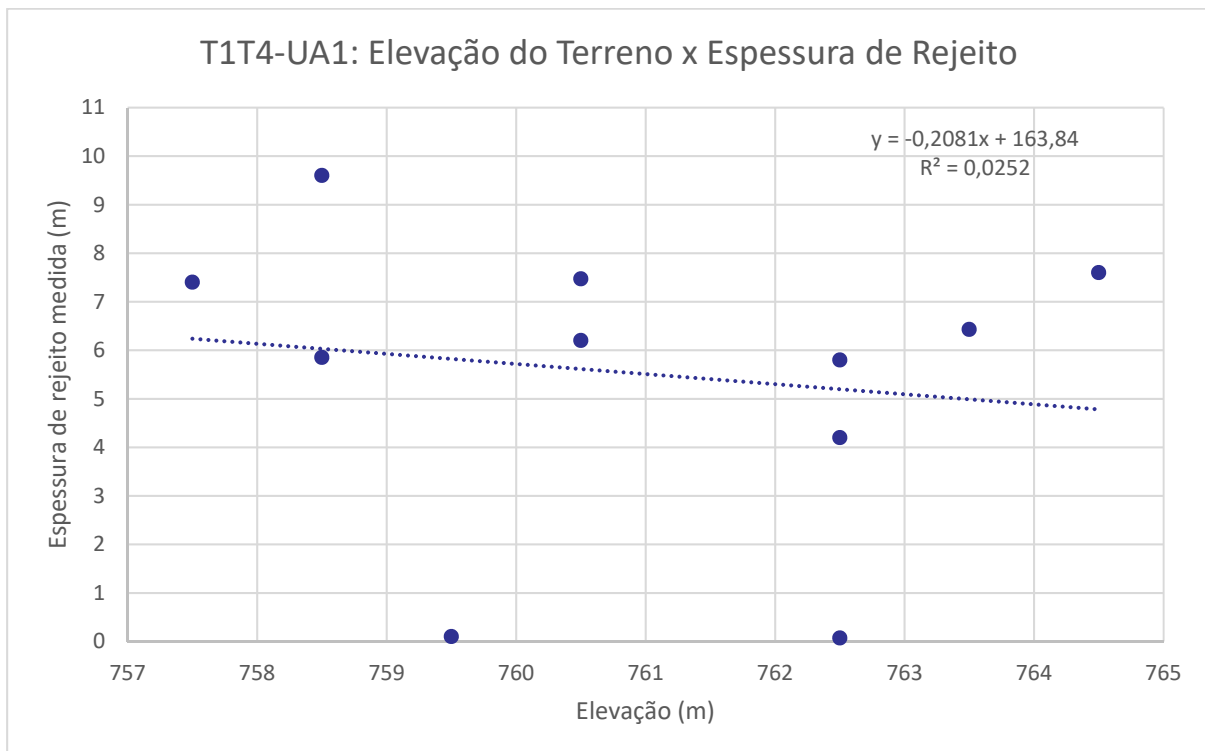
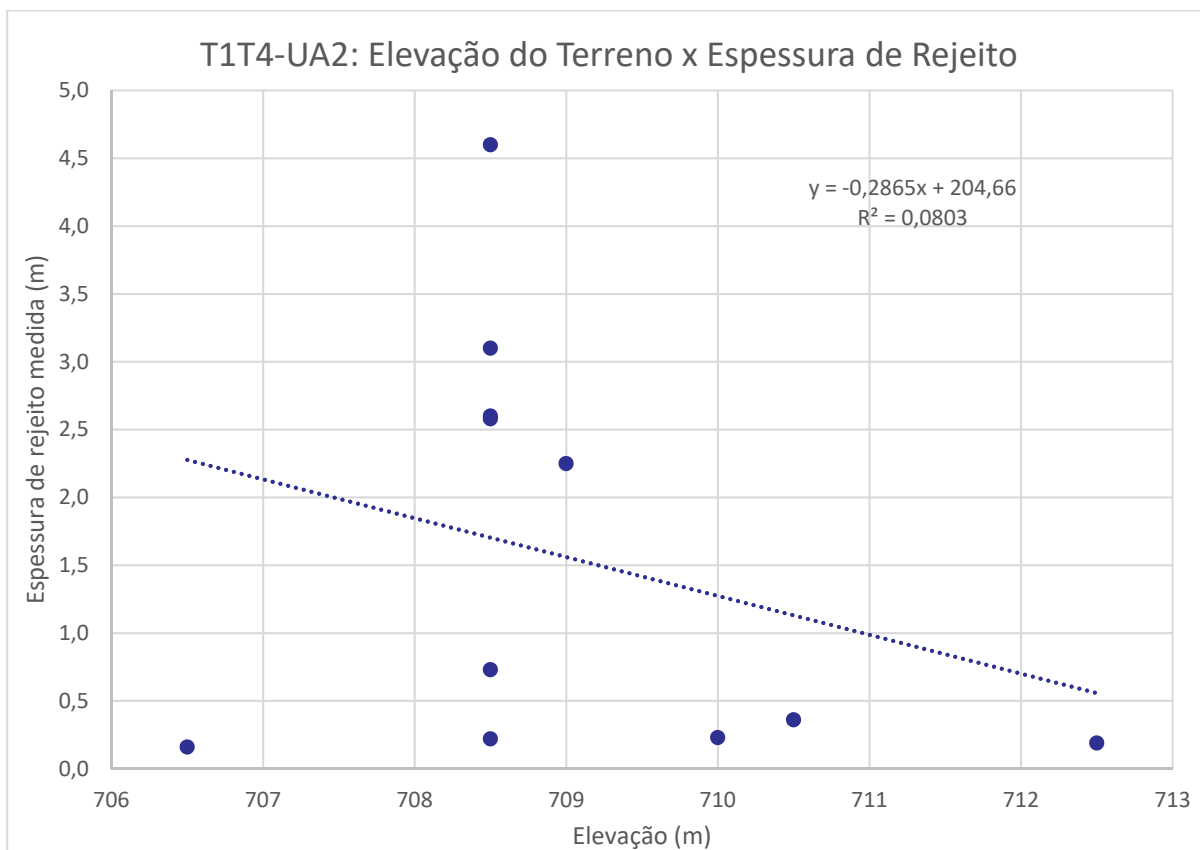


Figura 74 – Tendência da espessura em função da elevação na T1T4-UA2



O passo seguinte foi determinar as áreas entre as curvas de nível selecionadas que são próximas à área impactada e dentro dos limites das unidades de análise determinadas, utilizando para isso ferramentas do *software* ArcGIS para gerar polígonos entre as curvas de nível e, portanto, as áreas. As curvas de nível utilizadas comparadas com a área impactada podem ser vistas nas Figura 75 (T1T4-UA1) e Figura 76 (T1T4-UA2).

Figura 75 – Curvas de nível utilizadas no cálculo de área comparados com área impactada (T1T4-UA1)

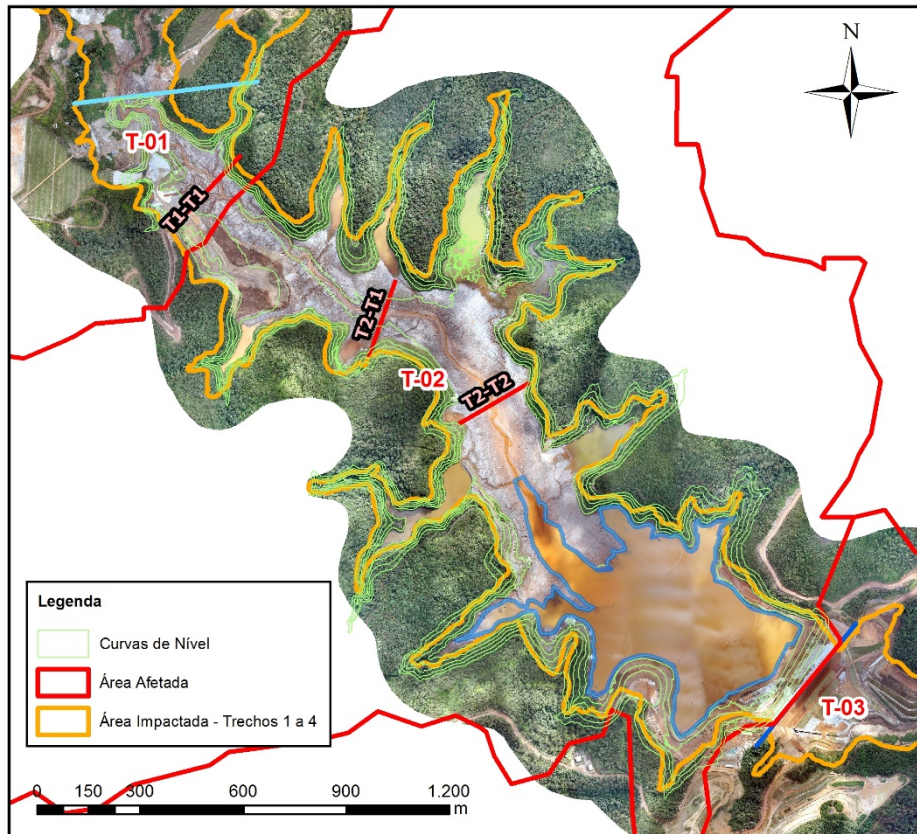
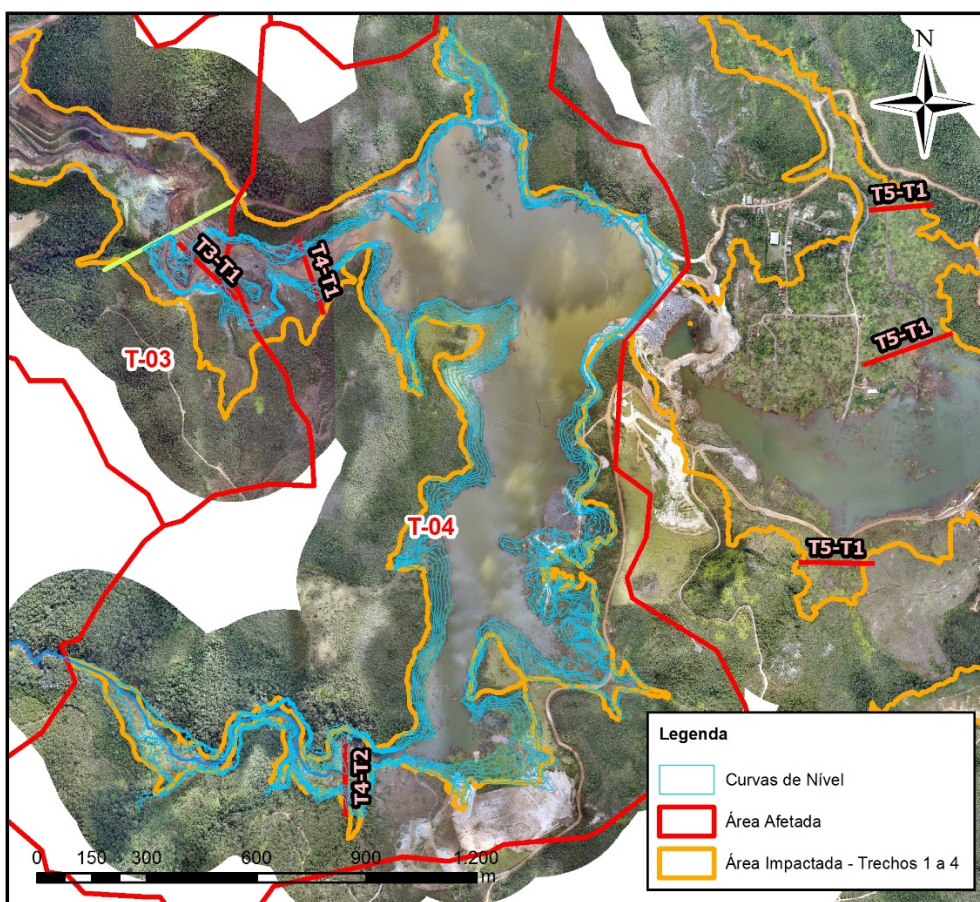


Figura 76 – Curvas de nível utilizadas no cálculo de área comparados com área impactada (T1T4-UA2)



A média das espessuras determinadas de acordo com a equação das linhas de tendência dentro de cada intervalo de elevação (intervalo de curvas de nível) foi multiplicada pela área correspondente, de maneira a gerar o volume em cada um desses intervalos, conforme segue na Tabela 39. Os resultados obtidos apontam, assim como pelo Método 1, que os maiores volumes de rejeito depositados fora dos reservatórios da barragem Nova Santarém e dique S3 estão nos Trechos 1 e 2 (T1T4-UA1), não só pela maior área, mas também devido às elevadas espessuras verificadas em campo.

Tabela 39 – Estimativa de volume pelo Método 2

ELEVAÇÃO* (m)	ESPESSURA** (m)	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)
T1T4-UA1 (ATÉ A BARRAGEM NOVA SANTARÉM)			
755	6,72	370	2.500
760 - 755	6,10	135570	827.000
760	5,68	210	1.200
765 - 760	5,06	276900	1.401.000
770 - 765	4,02	202.390	813.500

ELEVAÇÃO* (m)	ESPESSURA** (m)	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)
770	3,60	450	1.600
775 - 770	2,98	160.730	478.800
780 - 775	1,94	161.990	314.000
Total T1T4-UA2			3.839.500
T1T4-UA2 (ATÉ O DIQUE S3)			
709	1,53	123.350	188.900
711 - 709	1,10	94.260	103.800
711	0,96	620	600
713 - 711	0,53	88.780	46.900
713	0,39	490	200
715 - 713	0,05	96.710	4.800
715	0,00	690	0
717 - 715	0,00	90.560	0
717	0,00	750	0
Total T1T4-UA2			345.300
TOTAL			4.184.800

* Intervalos de elevação determinados pelo ArcGIS, cujos polígonos fornecem áreas. Elevações singulares se referem a “ilhas” de mesma elevação, de forma que já são polígonos fechados que trazem as áreas.

** Espessuras obtidas

O resultado obtido pelos Método 1 e 2 estão por volta de 4 milhões de m³ de rejeito depositados nos Trechos 1 ao 4, excluindo o que hoje está inundado pelos remansos, de forma que os métodos resultam na mesma ordem de grandeza e são consistentes entre si. É importante destacar que grande parte desse volume está nos Trechos 1 ao 2, em cotas que serão inundadas futuramente pelo remanso da barragem Nova Santarém.

5.2.5.2 Limitações da estimativa do cálculo de volume

A estimativa de volume de rejeito é baseada em dados coletados em campo e avaliações e cálculos realizados com base em fotos aéreas, dados de topografia a e/ou batimetria, mas vale ressaltar que existem limitações que podem influenciar nos cálculos utilizados neste estudo, tais como:

- Definição dos contextos: para a definição dos contextos foram utilizadas fotos aéreas e fotos dos drone, para estabelecer o limite entre intracalha a extracalha. Para as encostas foram utilizadas imagens de drone e do Google Earth para avaliação da mudança brusca de elevação verificada pelas curvas de nível permitiu a separação da planície e encosta. Nos pontos de execução dos transectos estes pontos foram avaliados *in loco*, mas no restante das áreas, esta avaliação foi realizada somente no escritório, o que pode representar um erro nos limites estabelecidos entre os limites das áreas calha, planície e encostas.

- Extrapolação dos dados de campo: Devido extensão da área impactada, foram definidos transectos a cada aproximadamente 1 km de rio impactado para a coleta de dados e amostras, e em cada um dos transectos foram coletados dados de espessura em vários contextos do rio. Apesar de se entender que a quantidade de dados seja suficiente para se fazer esta avaliação, sabe-se que estes dados de espessura de cada um dos contextos foram extrapolados para representar a espessura da área impactada, extrapolação dos dados dentro dos transectos e extrapolação dos dados entre um transecto e outro. Esta extrapolação dos dados de campo representam uma limitação no cálculo do volume, mas entende-se que seja parte inerente do estudo devido a magnitude da extensão da área impactada.

- Limitações dos dados campo: Para estimativa do volume de rejeito nos Trecho 1 a 2, com exceção dos pontos nas encostas, foram utilizadas de maneira geral a espessura do rejeito que foi depositado no evento, já que maioria das sondagens não atingiram o substrato natural, devido as grandes espessuras dos depósitos de rejeito na barragem de Santarém (rejeito depositado antes do evento e depois do evento).

É importante assinalar que além dos erros de resolução de obtenção de dados, dos desvios padrões na utilização de médias, também há definições que, apesar de baseadas em critérios definidos, são convencionadas, tais como a definição dos contextos que geram as áreas utilizadas para os cálculos de volume. O cálculo de volume de rejeito por extrapolção dos resultados obtidos, tanto entre as sondagens de um mesmo transecto, quanto entre cada um dos transectos pela sua área de influência, não possui referência técnica de metodologia de cálculo de desvio (ou erro), sendo o volume calculado uma estimativa.

5.2.5.3 Volume estimado nos Reservatórios (Santarém e S3)

No estudo realizado pela empresa POTMAS Engenharia e Hidrologia Ltda., intitulado “Diagnostico Atual do Transporte de Material Defluente do Vale da barragem do Fundão”, a empresa apresenta dados referentes ao volume no Vale de Fundão, barragem Nova Santarém, dique S2 e dique S3, do período antes da ruptura em 27/10/2015 até levantamentos realizados em 28/12/2016. Conforme mencionado no relatório, a estimativa do volume nestas áreas vinha sendo realizado pela Samarco, através de uma série de levantamentos topográficos e batimétricos contínuos desde o evento, levantamentos estes realizados e analisados pela empresa HGT Engenharia. Os resultados são apresentados na Tabela 40 abaixo.

Tabela 40 – Cômputo dos volumes movimentados entre o Vale do Fundão e o eixo do Dique S3

Data do Levantamento e/ou Cômputo do Volume	Volume (Mm³)				
	Vale do Fundão	Barragem Nova Santarém	Dique S2	Dique S3	Trecho Total
27/10/15 - ANTES RUPTURA	56,41	7,81	0,000	0,000	64,23
06/11/15 - DEPOIS RUPTURA	24,25	10,06	0,000	0,000	34,31
05/02/16	13,15	9,72	0,230	0,480	23,58
12/02/16	13,14	9,75	0,240	0,480	23,61
16/02/16	13,13	9,80	0,245	0,480	23,66
23/02/16	13,13	9,81	0,270	0,960	24,17
02/03/16	12,90	9,80	0,230	1,010	23,94
10/03/16	12,88	9,80	0,227	1,010	23,92
17/03/16	12,86	9,80	0,239	1,030	23,92
23/03/16	12,85	9,79	0,237	0,898	23,78
31/03/16	12,82	9,79	0,235	1,035	23,88
07/04/16	12,79	9,79	0,237	1,257	24,07
14/04/16	12,80	9,80	0,237	1,251	24,08
22/04/16	12,80	9,80	0,237	1,251	24,09
28/04/16	12,81	9,80	0,237	1,251	24,10
06/05/16	12,80	9,81	0,237	1,256	24,09
12/05/16	12,80	9,81	0,239	1,282	24,13
20/05/16	12,79	9,81	0,240	1,281	24,12
27/05/16	12,79	9,81	0,239	1,213	24,05
03/06/16	12,79	9,81	0,239	1,284	24,12
09/06/16	12,79	9,81	0,238	1,282	24,12
17/06/16	12,75	9,81	0,238	1,263	24,06
01/07/16	12,74	9,81	0,238	1,263	24,06
01/08/16	12,75	9,90	0,238	1,264	24,16
01/09/16	12,58	10,00	0,238	0,988	23,80
01/10/16	12,65	10,09	0,238	0,884	23,87
25/10/16	12,76	10,36	0,238	0,782	24,15
29/11/16	12,87	10,54	0,238	1,068	24,72
28/12/16 - ATUAL	12,96	10,74	0,238	1,433	25,37
Volume Mobilizado pela Ruptura	32,16	-2,24	0,00	0,00	29,92
Volume Mobilizado após Ruptura	11,29	-0,68	-0,24	-1,43	8,94
Volume Movimentado no Período	43,45	-2,92	-0,24	-1,43	38,86

Fonte: POTAMOS, 2017

Os resultados do estudo indicam um volume de 32,16 Mm³ mobilizados do Vale de Fundão em consequência do rompimento da barragem de Fundão, e 11,29 Mm³ de volume

mobilizados após a ruptura. Como parte do rejeito oriundo do acidente ficou na barragem de Santarém, estima-se que o volume mobilizado pela ruptura a jusante ficou em 29,92 Mm³ e o volume mobilizado após a ruptura tenha ficado em 8,94 Mm³. Em 28/12/2016 foi estimado um volume remanescente de 12,96 Mm³ na barragem de Fundão.

Já na barragem de Santarém que antes do rompimento apresentava um volume de 7,81 Mm³ apresentou um volume de 10,06 Mm³, um acúmulo de aproximadamente 2,25 Mm³, acrescido de 680 mil m³ durante o período monitorado (de dezembro de 2015 a dezembro de 2016) posterior ao evento do deslocamento e mobilização do material nos eventos de chuva. Uma vez que após o rompimento da barragem de Fundão, o reservatório foi assoreado quase em sua totalidade, o volume mobilizado do Vale de Fundão no período após ruptura, de 06/11/2015 a 28/12/2016, se depositou parcialmente no dique S2 (0,24 Mm³) e S3 (1,43 Mm³) sendo que o restante, aproximadamente 8,94 Mm³, foi carregado para jusante da área da Samarco. O relatório ainda destaca:

“...pode-se verificar que o volume defluente do Vale do Fundão, após o evento de ruptura e em todo o período considerado é da ordem de 11,3 Mm³. Deste, 11,1 Mm³ foram movimentados quando ainda não havia estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO no trecho de jusante, com exceção do maciço de partida do dique 3 (em construção), impedindo a retenção de todo esse material no sistema.

Os cerca de 200.000 m³ de diferença entre esses valores foram liberados entre 02/2016 e 12/2016, período em que, de forma distribuída no tempo, quase todas as estruturas de contenção projetadas pela SAMARCO já haviam sido implantadas total ou parcialmente. Como o volume assoreado por essas estruturas representa cerca de 2.100.000 m³, pode-se concluir que os respectivos reservatórios não só contiveram os rejeitos/lama advindos do vale do Fundão (200.000 m³), como também acumularam o material proveniente das bacias incrementais de contribuição, sejam eles (i) resultado da remobilização de material depositado no vale compreendido entre a antiga barragem do Fundão e o dique S3; (ii) decorrentes de movimentação das obras de construção de estruturas e acessos pela própria empresa; ou (iii) provenientes de fontes naturais.”

Dados fornecidos pela SAMARCO, elaborados pela empresa HGT, apresentam o monitoramento até o mês de dezembro de 2017. No relatório intitulado “Metodologia de topobatimetria de rotina executada nos vales de Fundão e Santarém de outubro de 2015 a dezembro

de 2017”, a empresa HGT realiza o monitoramento para atualização de volume movimentado nas áreas da barragem de Fundão, Santarém e diques S2 e S3. Segundo o relatório o programa de monitoramento é conhecido como Drone Program e a metodologia é baseada na tese de doutorado “Determinação de volumes em atividades de mineração utilizando ferramentas do sensoriamento remoto” da Universidade Federal de Viçosa, MG. Os dados de topografia são coletados por médio da técnica aerofotogrametria de precisão por meio de câmeras digitais metrificadas de pequeno a médio formato. Os dados de batimetria dos reservatórios são coletados por meio de pulso sonar por meio de um equipamento de eco batimetria remotamente guiado.

Os resultados da movimentação de volume nas áreas monitoradas pelo estudo da HGT são apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 – Movimentação de Volume nas barragens de Fundão, Nova Santarém, S3 e S4

VOLUME EM MILHÃO M3	FUNDÃO COMPLETO	FUNDÃO DIQUE 1	FUNDÃO DIQUE 2	SANTARÉM COMPLETO	SANTARÉM DIQUE FINOS	SANTARÉM BARRAMENTO	S2	S3	COMPLADO BARRAGENS	DATA
VOLUME 27/10/15	56,41	33,02	23,39	7,815	3,83	3,985	0	0	64,225	27/10/15
VOLUME 06/11/15*	24,25	9,1	15,15	10,06	5,7	4,36	0	0	34,31	06/11/15
VOLUME 05/02/16**	13,15	6,01	7,14	9,72	4,9	4,82	0,23	0,48	23,58	04/02/16
VOLUME EM 12/02/16	13,14	6,01	7,13	9,75	4,9	4,85	0,24	0,48	23,61	09/02/16
VOLUME EM 16/02/16	13,13	6,01	7,12	9,8	4,9	4,9	0,245	0,48	23,655	16/02/16
VOLUME EM 23/02/16	13,13	6,01	7,12	9,81	4,91	4,9	0,27	0,96	24,17	23/02/16
VOLUME EM 02/03/16	12,9	6,01	6,89	9,8	4,9	4,9	0,23	1,01	23,94	02/03/16
VOLUME EM 10/03/16	12,88	6,01	6,87	9,8	4,9	4,9	0,227	1,01	23,917	10/03/16
VOLUME EM 17/03/16	12,855	6,01	6,845	9,795	4,9	4,895	0,239	1,03	23,919	17/03/16
VOLUME EM 23/03/16	12,85	6,007	6,843	9,792	4,9	4,892	0,237	0,898	23,777	23/03/16
VOLUME EM 31/03/16	12,815	5,972	6,843	9,791	4,9	4,891	0,235	1,035	23,876	31/03/16
VOLUME EM 07/04/16	12,785	5,942	6,843	9,794	4,902	4,892	0,237	1,257	24,073	07/04/16
VOLUME EM 14/04/16	12,8	5,947	6,853	9,796	4,903	4,893	0,237	1,251	24,084	14/04/16
VOLUME EM 22/04/16	12,804	5,951	6,853	9,799	4,906	4,893	0,237	1,251	24,091	22/04/16
VOLUME EM 28/04/16	12,805	5,952	6,853	9,804	4,911	4,893	0,237	1,251	24,097	28/04/16
VOLUME EM 06/05/16	12,795	5,954	6,841	9,806	4,912	4,894	0,237	1,256	24,094	06/05/16
VOLUME EM 12/05/16	12,804	5,99	6,814	9,807	4,913	4,894	0,239	1,282	24,132	12/05/16
VOLUME EM 20/05/16	12,789	5,98	6,809	9,807	4,913	4,894	0,24	1,281	24,117	20/05/16
VOLUME EM 27/05/16	12,786	5,977	6,809	9,809	4,914	4,895	0,239	1,213	24,047	27/05/16
VOLUME EM 03/06/16	12,787	5,978	6,809	9,81	4,915	4,895	0,239	1,284	24,12	03/06/16
VOLUME EM 09/06/16	12,787	5,978	6,809	9,811	4,916	4,895	0,238	1,282	24,118	09/06/16
VOLUME EM 17/06/16	12,749	5,953	6,796	9,813	4,918	4,895	0,238	1,263	24,063	17/06/16
VOLUME EM 01/07/16	12,743	5,937	6,806	9,814	4,919	4,895	0,238	1,263	24,058	01/07/16
VOLUME EM 01/08/16	12,7498	5,9406	6,8092	9,9047	4,919	4,9857	0,238	1,2641	24,1566	01/08/16
VOLUME EM 01/09/16	12,5764	5,7898	6,7866	10,0004	4,919	5,0814	0,238	0,9877	23,8025	01/09/16
VOLUME EM 01/10/16	12,6506	5,8393	6,8113	10,0931	4,919	5,1741	0,238	0,8842	23,8659	01/10/16
VOLUME EM 25/10/16	12,7625	5,8886	6,8739	10,3635	4,92	5,4435	0,238	0,7817	24,1457	25/10/16
VOLUME EM 29/11/16	12,8716	5,9446	6,927	10,5395	4,92	5,6195	0,238	1,0677	24,7168	29/11/16
VOLUME EM 28/12/16	12,9619	5,9172	7,0447	10,737	4,9185	5,8185	0,238	1,433	25,3699	28/12/16
VOLUME EM 23/01/17	13,0849	5,9142	7,1707	11,0561	4,9185	6,1376	0,238	1,4324	25,8114	23/01/17
VOLUME EM 20/02/17	13,1546	5,9172	7,2374	11,5415	4,9139	6,6276	0,238	1,4408	26,3749	20/02/17
VOLUME EM 20/03/17	13,1532	5,918	7,2352	13,0995	4,9139	8,1856	0,238	1,4408	27,9315	20/03/17
VOLUME EM 24/04/17	13,1552	5,918	7,2372	13,0965	4,9139	8,1826	0,238	1,4408	27,9305	24/04/17
VOLUME EM 22/05/17	13,1458	5,9106	7,2352	12,4795	4,9139	7,5656	0,238	1,4408	27,3041	22/05/17
VOLUME EM 26/06/17	13,1269	5,8941	7,2328	12,2114	4,9139	7,2975	0,238	1,4408	27,0171	26/06/17
VOLUME EM 23/07/17	13,1083	5,875	7,2333	12,1365	4,9139	7,2226	0,238	1,4408	26,9236	23/07/17
VOLUME EM 19/08/17	13,0193	5,786	7,2333	12,6045	4,9139	7,6906	0,238	1,4408	27,3026	19/08/17
VOLUME EM 29/09/17	13,0783	5,786	7,2923	12,8225	4,9139	7,9086	0,238	1,4408	27,5796	29/09/17
VOLUME EM 27/10/17	13,0221	5,7319	7,2902	12,8225	4,9139	7,9086	0,238	1,4408	27,5234	27/10/17
VOLUME EM 24/11/17	13,0556	5,7654	7,2902	13,0753	4,9139	8,1614	0,238	1,4678	27,8367	24/11/17
VOLUME EM 17/12/17	13,05308	5,763	7,29008	12,7323	4,9139	7,8184	0,238	1,4407	27,46408	17/12/17
Volume Movimentado 27/10/15 a 27/12/17	-43,3569	-27,257	-16,0999	4,9173	1,0839	3,8334	0,238	1,4407	-36,7609	

Os resultados do estudo indicam uma movimentação de aproximadamente 43,35 Mm3 de material que saíram da área da barragem de Fundão, sendo 32,16 Mm3 no evento do rompimento da barragem e 11,19 Mm3 do evento até a data de 17/12/2017. O dique de Santarém indica um assoreamento de 4,9 Mm3, seguido pelo dique de S3 com 1,44 Mm3, seguido pelo dique de S2 com 0,23 Mm3, a última atualização dos dados realizada em dezembro de 2017. Estes resultados foram utilizados como base e apresentados na 7ª Camara Técnica realizada em Mariana em dezembro de 2016 e na 8ª Camara Técnica realizada em Belo Horizonte em 11 de janeiro de 2017.

5.2.5.4 Comparação com resultados obtidos no presente estudo

Os resultados da estimativa de rejeito foram comparados com os resultados apresentados no estudo da Potamos, mencionado na seção 5.2.5.2. Para UA-01, que engloba os trechos 1 a 2, as estimativas de volume para fora da área alagada do reservatório.

O presente estudo apresenta um volume de 3,56 Mm³, onde a maior parte dos depósitos de rejeito se encontra localizada no contexto da planície, com médias de espessura de rejeito que variaram de 5,85 a 8,50 metros. As espessas camadas nesta UA podem ser explicadas por dois motivos, a existência prévia de depósitos de rejeito na barragem de Santarém, onde durante o evento parte deste material foi removido pelo fluxo da massa fluida antes de ser depositado mais rejeito, e pela existência da própria barragem que serviu e continua servindo para a contenção de rejeito.

A área utilizada para o cálculo da estimativa de volume no UA-01 (parte não alagada do reservatório) compreende aproximadamente 1 Mm², e a parte alagada do reservatório que foi excluído deste cálculo compreende aproximadamente 2,5 Mm², o que significa que a área não alagada atualmente representa aproximadamente 30% do total, uma vez que o total da barragem de Santarém tem aproximadamente 3,5 Mm². Se considerarmos que houve uma deposição relativamente uniforme dentro da barragem de Santarém, onde estudos da Potamos indicaram um volume total (o que inclui os rejeitos pré-existentes em relação ao evento) de 12,96 Mm³, e considerarmos somente 30% deste volume (equivalente a área utilizada nos cálculos da parte não alagada, tem-se um volume de 3,88 Mm³, o que é compatível com os valores encontrados de 3,56 Mm³ no cálculo de estimativa de volume.

Os volumes estimados para a UA-02, calculados no presente estudo, indicam um volume de rejeito depositado de aproximadamente 0,42 Mm³, considerando as áreas que englobam o Trecho 3 e parte do Trecho 4, onde foi incluída somente a área que atualmente não se encontra submersa pela lamina de água da do reservatório do dique S3. Os valores estimados pelo estudo da Potamos indicam um volume mobilizado de 0,24 Mm³ em S2 e 1,43 em S3 (considerando toda a área do reservatório – parte seca e molhada). Considerando que a área utilizada para a estimativa do volume da JACOBS CH2M engloba o dique S2, que está atualmente assoreado, uma pequena parte da área seca de S3 e mais as áreas de encosta ao redor do dique S3, os valores calculados de 0,42 Mm³ aparentam ser coerentes.

Cabe esclarecer que não foram realizadas comparações com o cálculo de volume da Golder (Avaliação dos Impactos no Meio Físico Resultantes do Rompimento da barragem de Fundão, 20196), pois para a bacia do córrego Santarém foram apresentadas informações apenas para o dique S4, localizado no Trecho 5.

Com relação ao volume liberado pela barragem de Fundão durante o evento, conforme apresentado no relatório da POTAMOS, 2017, o volume total de rejeitos dispostos no reservatório da barragem do Fundão era da ordem de 56,0 Mm³. Na data do rompimento da barragem, estima-se que o volume vazado tenha sido de 32,0 Mm³, permanecendo dentro do reservatório da barragem de Fundão cerca de 24,0 Mm³ de depósitos remanescentes. Destes 24,0 Mm³, foi estimado que 11,3 Mm³ foram mobilizados e carreados para jusante em decorrência de vazões mais elevadas após o evento de ruptura e em todo o período considerado. Esta análise foi realizada através de uma série de levantamentos topográficos e batimétricos contínuos desde o evento realizados pela empresa HGT Engenharia. Desta maneira, considerando os 32,0 Mm³ mobilizados no evento de rompimento e os 11,3 Mm³ mobilizados durante os eventos de chuvas posteriores, estima-se que um total de 43,3 Mm³ de materiais contidos na barragem de Fundão foram liberados.

O volume apresentado pela POTAMOS, 2017, com base nos levantamentos de campo realizados pela HGT Engenharia, possui uma ordem de grandeza similar à apresentado pela GOLDER ASSOCIATES em 2016. Conforme informações disponibilizadas por esta última, um volume estimado em cerca de 43,7 Mm³ (milhões de metros cúbicos) de rejeitos e água, que representaram aproximadamente 77% de um total de 56,6 Mm³ de materiais contidos na barragem de Fundão, foram liberados quando do rompimento da barragem e por um período de alguns meses após o evento.

6 Identificação dos Impactos Ambientais

Conforme introduzido na Seção 2, no momento do rompimento da barragem de Fundão e nos dias que se seguiram, ao longo do caminho de escoamento dos rejeitos, solos, vegetação e outros materiais foram arrastados resultando em uma mistura de rejeitos, solos e detritos vegetais e antrópicos que foram depositados ao longo das encostas, planícies de inundação, das margens e calhas destes cursos d'água e seus tributários, quando a onda de sólidos e água teve sua velocidade de deslocamento reduzida em certos trechos durante seu deslocamento (GOLDER ASSOCIATES, 2016).

Este novo cenário impõe ao meio ambiente uma adaptação à existência deste passivo e novos impactos podem ser deflagrados pela interação do meio com esta nova realidade imposta pela acomodação do rejeito e demais detritos carreados quando do rompimento.

Isto posto, serão expostos os impactos esperados ou já observados decorrentes desse cenário atual de deposição de rejeitos, em que este passa a ser entendido como fonte geradora de impacto e não mais reflexo dos impactos do rompimento. Ou seja, entende-se que a dispersão, composição e abrangência dos depósitos de rejeitos sejam impactos diretos do rompimento da barreira. No entanto, a interação destes com o regime fluviométrico, por exemplo, é impacto direto dos depósitos formados pelo evento.

A identificação dos impactos ambientais resultantes da liberação de rejeitos pelo rompimento da barragem de Fundão foi realizada ainda nos meses de novembro e dezembro de 2015 e foi relatada no documento intitulado “Avaliação dos Impactos do Meio Físico resultantes do Rompimento da barragem de Fundão realizado pela Golder Associates”.

Diversos são os impactos ambientais desde o rompimento da barragem de Fundão até a presente data. As amostragens e os resultados apontados na Seção 5.2 demonstram que o rejeito atingiu as encostas, planícies aluvionares, calha do rio e em alguns pontos essas amostras indicam espessura do rejeito acima de 6 m. Outros fatores também devem ser considerados como passíveis de estarem impactando a qualidade da água, planícies sem recuperação da cobertura vegetal, questões relacionadas com o disciplinamento das drenagens, e, especificamente nos Trechos 1 ao 4 a implantação de estruturas para contenção do rejeito, entre outros.

Dentro desse contexto, o desempenho e eficiência de todas as medidas adotadas pela SAMARCO para conter o VAZAMENTO foram avaliados segundo os seguintes critérios de (i) cálculo do volume total de sedimentos (rejeitos/lama) depositados e retidos no sistema, desde o vale do Fundão até o eixo do dique S3; (ii) análise da evolução temporal dos parâmetros de turbidez (NTU) e sólidos em suspensão (TSS), principalmente em gráficos comparativos das seções de amostragem situadas a montante e a jusante do eixo do dique S3.

Os volumes retidos foram computados e, com base neles, obteve-se o volume de material movimentado ao longo da área de abrangência. A POTAMOS selecionou os levantamentos realizados logo após eventos de chuva significativa ou de movimentos em massa e alteração no layout das estruturas de contenção em processo de implantação para reavaliar os cálculos de volumes movimentados.

Os resultados obtidos pela POTAMOS (2017) permitiram concluir que o rompimento da barragem de Fundão promoveu a movimentação de cerca de 32,0 Mm³ de material (06/11/15 – 27/10/15), seguido de uma segunda movimentação no Vale do Fundão, cujo volume estimado é da ordem de 11,0 Mm³ (05/02/16 – 06/11/15). Após esses dois eventos significativos, foram registradas movimentações menores, com volumes inferiores a 230.000 m³. Vale observar que a cronologia das datas apresentadas acima é inconsistente, embora tenham sido apresentadas desta forma no referido relatório.

A jusante do vale da antiga barragem de Santarém é possível verificar a contenção do material defluente do vale do Fundão desde novembro de 2015 até fevereiro de 2016, principalmente devido à implantação das estruturas de contenção dique S1, dique S2 e dique S3.

Desde o evento são diversos os estudos, monitoramentos e avaliações que vêm sendo executados, no âmbito dos programas socioambientais previstos no TTAC – Termo de Transação e Ajustamento de Conduta. Os monitoramentos vêm sendo realizados no sentido de caracterizar e de subsidiar as medidas cabíveis para a mitigação dos impactos causados.

Na Tabela 42 estão apresentadas as principais considerações identificadas sobre a caracterização ambiental dos depósitos de rejeito e da área afetada. Estas informações servem como base para a avaliação dos potenciais riscos futuros decorrentes da presença de rejeitos e de impactos decorrentes de eventos no passado, de modo a subsidiar a definição dos objetivos específicos das ações de manejo do rejeito.

Tabela 42 –Resumo da caracterização ambiental dos depósitos de rejeito e da área afetada nos Trechos 1 ao 4

CARATERÍSTICAS ESPECÍFICAS	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO				IMPACTOS
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	
	<i>Aspectos Físicos</i>				
	<i>Extracalha:</i>				
	Depósitos sobre rochas ou solos parcialmente decapados, em encostas declivosas				Remobilização por erosão dos depósitos de rejeitos extracalha por falhas na cobertura vegetal e tributários, com carreamento de sólidos para o rio e consequente aumento da turbidez e alteração da cor das águas.
	Depósitos sobre planícies ou terraços aluvionares e baixas vertentes suavizadas				
	Depósitos sobre lagoas marginais, depósitos finos sobre cavas e depressões antrópicas				
	<i>Intracalha:</i>				
	Depósitos indiscriminados de calha				
	Depósitos em bancos arenosos				
	Depósitos arenosos sobre leitos rochosos				
	Depósitos de assoreamento do reservatório de candonga				Ressuspensão dos componentes finos (argila e silte) dos rejeitos inconsolidados depositados na calha fluvial por remoção/remobilização da camada de rejeito lavado (<i>lag layer</i>) e o consequente aumento da turbidez e alteração da cor das águas.
	Depósitos finos sobre bancos arenosos				
	Depósitos finos sobre leitos rochosos				
	Encosta: 46,9 ha		Encosta: 62,9 ha		
	Planície: 50,8 ha		Planície: 0 ha		
	Calha: 4,1 há		Calha: 4,2 há		
	Reservatório Santarém (atual): 14,9 ha		Reservatório S3: 43,0 ha		
	Definidas 2 unidades de análise (UAs) de acordo com a planialtimetria e geomorfologia dos trechos, uma a montante da barragem Nova Santarém e outra a montante do dique S3, a qual inclui o tributário córrego Mirandinha. As UAs têm baixa declividade e maior susceptibilidade a sedimentação e são divididas entre si por gargantas (trechos mais declivosos e/ou estreitos) e/ou estruturas de contenção.				
					O material depositado se encontra contido nos reservatórios Nova Santarém e dique S3, construídos

CARATERÍSTICAS ESPECÍFICAS	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO				IMPACTOS
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	
Espessura medida do rejeito (m)	<p>Extensão total e variação da elevação: 6,5 km e 105 m do início da garganta após o Eixo 1 ao fim das T1T4-UA2 no dique S3 e 1,6 km de trecho plano no Córrego Mirandinha.</p> <p>A declividade média das UAs é de 2,82% na T1T4-UA1 e 1,72% na T1T4-UA2. Os divisores das UAs são: garganta inicial, estreita, declive e com afloramentos rochosos após Eixo 1 (no Trecho 1), e barragem Nova Santarém seguida de trecho declivoso, estreito e com afloramentos rochosos no (garganta 2 no Trecho 3).</p> <p>Espessura média do rejeito encontrada em encosta foi 0,17 metros sendo o maior valor (0,73 metros) encontrado na encosta esquerda do transecto 1 do trecho 3.</p> <p>Espessura média do rejeito encontrada em planície foi 5,76 metros sendo o maior valor (8,5 metros) encontrado na planície esquerda do transecto 2 do trecho 2.</p> <p>Espessura média do rejeito encontrada em calha foi 2,12 metros sendo sendo o maior valor (3,69 metros) encontrado na encosta direita do transecto 1 do trecho 4.</p>				<p>exatamente para reter tais materiais. Apenas nos eventos de chuvas mais intensas, com o aporte de sedimentos finos em suspensão poderá ocorrer a passagem dos mesmos pelos barramentos e, provocando, a jusante, um aumento da turbidez e cor.</p>
Volume de rejeito (m ³)	<p>Encosta: 0,01 Mm³ Calha: 0,25 Mm³ Reservatório Santarém: 3,8 Mm³</p>		<p>Encosta: 0,12 Mm³ Calha: 0,12 Mm³ Reservatório S3: 1,43 Mm³</p>		
Textura do material	<p>Textura do material encontrado em extracalha: 8,85 % de argila, 38,72 % de silte, 48,67 % areia, e 4,01 % cascalho e fração maior que 2mm.</p> <p>Textura do material encontrado em intracalha: 6,50 % de argila, 43,47 % de silte, 49,46 % areia, e 0,83 % cascalho e fração maior que 2mm.</p>				
Composição do material / teor do óxido de ferro	<p>Composição do material encontrado extracalha e quantificado em análise laboratorial de metais e acima dos valores orientadores: Bário, Cobalto, Mercúrio e Níquel, com destaque para os metais Alumínio, Ferro e Manganês que aparecem em todas as amostras mesmo não havendo um valor orientador específico para tais parâmetros. Nenhum metal foi encontrado acima dos valores orientadores no</p>				

**CARATERÍSTICAS
ESPECÍFICAS**

CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

IMPACTOS

Trecho 1 Trecho 2 Trecho 3 Trecho 4

material intracalha, porém, assim como na extracalha Alumínio, Ferro e Manganês que aparecem em todas as amostras.

Estratigrafia dos depósitos encontrados intracalha: No trecho 1, predomina uma camada mais superficial composta por rejeito lavado de areia fina/média pouco siltosa algumas vezes com presença de cascalho; na sequência uma camada intermediária composta por um rejeito inconsolidado siltoso e de coloração marrom avermelhado. No trecho 2, não há presença de rejeito lavado e a camada superficial é composta por um rejeito inconsolidado de areia siltosa sendo o final da sondagem interceptado por material rochoso. No trecho 3, também não há presença de rejeito lavado e a camada superficial é composta por um rejeito inconsolidado de areia grossa pouco siltosa com presença de cascalho. No trecho 4 transecto 1, predominou uma camada fina de material muito arenoso de coloração marrom avermelhada com rejeito agregado; não foi possível fazer medições no transecto 2 por conta das condições de segurança, lâmina d'água profunda e piso instável.

Estratigrafia dos depósitos

Estratigrafia dos depósitos encontrados extracalha: No trecho 1, camada mais superficial composta por um rejeito pastoso de areia siltosa e de coloração marrom avermelhado; camada mais profunda composta por substrato natural. No trecho 2, a camada mais superficial também é composta por um rejeito pastoso de areia siltosa e de coloração marrom avermelhado; no geral não foi possível transpor a camada de rejeito, exceto pelo ponto 07, único que atingiu a camada de substrato natural. No trecho 3, foi constatada uma camada superficial de rejeito inconsolidado de areia fina e coloração avermelhada, camada consideravelmente rasa, uma vez que foi encontrado muito material rochoso, tornando assim a sondagem impenetrável até o substrato natural. No trecho 4 transecto 1, a camada mais superficial é composta por um rejeito inconsolidado de areia fina com coloração marrom; e camada mais profunda a maioria das vezes impenetrável por conta do material rochoso; não foi possível fazer medições do lado esquerdo do

**CARATERÍSTICAS
ESPECÍFICAS**

CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

IMPACTOS

Trecho 1

Trecho 2

Trecho 3

Trecho 4

transecto 2 por conta das condições de segurança, lâmina d'água profunda e piso instável; do lado direito foi constatada uma camada mais superficial de rejeito inconsolidado de areia fina com coloração marrom e substrato natural logo na sequência.

Extracalha: Considerados negligenciáveis após regeneração cobertura vegetal. Sem tais ações, o rejeito é bastante suscetível à erosão pois apresentam baixa coesão quando saturados, portanto ficam sujeitos à desagregação pelo impacto das chuvas e mobilização por enxurradas. Quando úmidos e não saturados, os rejeitos se apresentam compactos e com coesão suficiente para minimizar eventuais efeitos da ação dos ventos em processos de erosão eólica, com efeitos secundários na qualidade do ar.

Intracalha: O material depositado se encontra contido nos reservatórios Nova Santarém e dique S3, construídos exatamente para reter tais materiais. Apenas nos eventos de chuvas mais intensas, com o aporte de sedimentos finos em suspensão poderá ocorrer a passagem dos mesmos pelos barramentos e, provocando, a jusante, um aumento da turbidez e cor.

Potencial de erosão ou da ressuspensão de material

Atributos da paisagem local (relevo predominante, nascentes, fragmentos de vegetação nativa, dentre outros)

Afloramento rochoso, Escarpa rochosa, Vale encaixado com vertente ravinada

Afloramento rochoso, Colina do topo alongado, Escarpa rochosa, Vale encaixado com vertente ravinada, Vertente convexa com inclusão cônica

Colina do topo alongado, Escarpa rochosa, Rampa de colúvio, Vale encaixado com vertente ravinada,

Colina do topo alongado, Escarpa rochosa, Rampa de colúvio, Terraço fluvial, Vale encaixado com vertente ravinada, Vertente convexa com inclusão cônica

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO				IMPACTOS
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	
	Vertente convexa com inclusão cônica				
	<i>Aspectos Químicos</i>				
Qualidade da água superficial (turbidez, cor aparente, metais dissolvidos)	<p>Os pontos mais a montante (ponto na barragem de Fundão e dique S2) indicaram maiores valores de turbidez até meados de setembro/2016 (atingiu até 1.000.000 NTU), sendo que em 2017 a turbidez reduziu significativamente para concentrações aceitáveis. Já os pontos mais a jusante (montante e jusante do dique S3) indicaram redução significativa na turbidez em comparação com os pontos mais próximos à barragem. Em 2017 verificou-se que a turbidez reduziu para menos do que o valor máximo permitido, com ressalvas de alguns picos como por exemplo em junho de 2017 e janeiro de 2018.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ponto VSAN: medições acima da COPAM e CONAMA no período pré-evento: concentração média de mercúrio e ferro dissolvido e manganês total - Ponto SANT: medições acima da COPAM e CONAMA no período pré-evento: concentração média de mercúrio; e manganês total - Metais: os pontos de monitoramento estão no Trecho 4, onde foram detectados em desconformidade legal em uma ou mais amostra os seguintes compostos: cádmio total, fósforo total e manganês total, alumínio dissolvido, ferro dissolvido, níquel total e zinco total. 				Aumento da turbidez e, consequente, alterações no ecossistema aquático
Qualidade do solo (teor de metais acima da CONAMA 420 e COPAM 166)	<p>Concentrações acima dos parâmetros de referência CONAMA e COPAM:</p> <p>Trecho 3: Arsênio, Selênio.</p> <p>Trecho 4: Arsênio, Antimônio, chumbo e Cobalto, Selênio e Vanádio</p>				Contaminação do solo, água e sedimento por metais
Qualidade dos sedimentos (teor de	<p>Concentrações acima dos parâmetros de referência CONAMA– Trechos 1, 2 e 3: Arsênio</p> <p>Maiores concentrações para Alumínio, Ferro, Fósforo e Manganês.</p>				

CARATERÍSTICAS ESPECÍFICAS	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO				IMPACTOS
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	
metais acima da CONAMA 454)					
	<i>Aspectos Biológicos</i>				
Ecosistema aquático (impactos na biodiversidade a longo prazo)		Baixa riqueza de espécies da fauna aquática, considerando os grupos monitorados (ictiofauna, comunidade bentônica e planctônica), quando comparado com estudos prévios, sobretudo, com relação a ictiofauna. (importante ressaltar que não foram amostrados pontos nestes trechos, os dados considerados são de pontos no entorno)			Alteração do ecossistema aquático (redução na sobrevivência ou sucesso reprodutivo) e impacto na dessedentação das espécies terrestres, ressuspensão fina do rejeito inconsolidado, perda de riqueza de espécies de fauna aquática
Ecosistema terrestre (supressão de floresta nativa/ supressão de pastagem ou áreas antropizadas)		<p>Área afetada pelo evento sobre vegetação nativa e pastagem, incluindo em áreas de APP .</p> <p>Verificado o incremento de cobertura vegetal nas áreas afetadas decorrentes de ações de revegetação e regeneração natural. Nestas áreas foi observado resultado positivo para a regeneração da cobertura vegetal, com predomínio de espécies de gramíneas e herbáceas mais rústicas, indicadas como daninhas.</p>			<p>Supressão da vegetação, dominância das espécies de gramíneas (exóticas) com relação às espécies nativas, potencial de erosão do solo e baixa fertilidade</p> <p>A supressão da vegetação causada pelo evento ou deposição de rejeitos não chega a gerar fragmentação e ou descontinuidade de manchas de vegetação.</p>
Conectividade de habitats		<p>Nos Trechos 1 ao 4 não há lagoas marginais.</p> <p>A supressão da vegetação causada pelo evento ou deposição de rejeitos ocorre nas magerns, planícies (APP) e encostas, ao longo dos cursos d’agua.</p>			<p>A supressão da vegetação causada pelo evento ou deposição de rejeitos não chega a gerar fragmentação e ou descontinuidade de manchas de vegetação.</p>
Potencial ecotoxicológico		<p>Não foram realizados estudos de ecotoxicologia específicos para os trechos 1 e 4. Entretanto, nos estudos realizados no rio doce foi observada ausência de</p>			<p>Presença de toxicidade crônica relacionada ao aumento de</p>

CARATERÍSTICAS ESPECÍFICAS	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO				IMPACTOS
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	
	<p>ecotoxicidade aguda nas amostras de água doce para <i>Danio rerio</i>, <i>Daphnia similis</i> e <i>Vibrio fisheri</i>. o ensaios crônicos evidenciaram efeitos tóxicos sub-letais para <i>Ceriodaphnia dubia</i> e 30% dos ensaios em sedimento demonstraram ecotoxicidade aguda para <i>Hyaella azteca</i>, embora não tenha sido registrada diferença estatística em relação aos níveis de mortalidade antes do evento. Os resultados apontaram para um incremento de ecotoxicidade crônica na coluna d'água com a chegada da onda de rejeito, se estendendo até um mês após a passagem da pluma. embora não tenha sido verificada uma correlação com os parâmetros de qualidade de água e os resultados de ecotoxicidade, o padrão temporal na coluna d'água se assemelha ao observado para os sólidos em suspensão, ou seja, o efeito tóxico crônico observado está associado a presença de sólidos em suspensão, que pode afetar espécies filtradoras.</p>				<p>turbidez com a chegada da pluma nos meses seguintes ao evento</p>
<p>Ações de hidrossemeadura com levantamento das espécies preponderantes</p>	<p>O trecho de planície onde foram realizadas atividades de revegetação a cobertura vegetal adensada, em sua maior parte, de porte arbustiva; observa-se na área manchas de espécies semeadas além de espécies de regeneração espontânea.</p>				<p>Recobrimento do solo exposto com vegetação, cumprindo com seu papel de proteção do substrato contra os processos erosivos, evidenciando a aplicabilidade do plantio e regeneração sob o rejeito depositado. Embora haja dominância das espécies de gramíneas (exóticas) com relação às espécies nativas</p>
	<i>Aspectos Socioeconômicos</i>				
<p>Uso e ocupação do solo</p>	<p>Pastagem: 7 ha Silvicultura: 3 ha</p>	<p>Mineração e indústria: 121 ha; Vegetação: 371 ha;</p>	<p>Mineração e indústria: 34 ha;</p>	<p>Pastagem: 17 ha; Mineração e indústria: 48 ha;</p>	

CARATERÍSTICAS ESPECÍFICAS	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO				IMPACTOS
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	
	Mineração e indústria: 73 Vegetação: 92 ha	Afloramento rochoso: 1 ha	Vegetação: 86 ha	Solo exposto: 2 ha; Vegetação: 193 ha	
Restrições legais (APP/Reserva legal)	3 nascentes; ~6 km de extensão de cursos d'água; 36 ha de APP	13 nascentes; 16 km de cursos d'água; 100 ha de APP	3 nascentes; 4 km de cursos d'água; 21 ha de APP	4 nascentes; 8 km de cursos d'água; 58 ha de APP	Recuperação de vegetação nativa em APPs que antes do evento não se encontravam vegetadas

7 Identificação dos Objetivos Específicos

O objetivo geral do trabalho é restaurar ou melhorar as funções sociais, ambientais e econômicas das áreas impactadas. Para isto, um ou mais objetivos específicos serão definidos para cada contexto, para que todas as funções ecossistêmicas sejam reestabelecidas.

Para fins de tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos rejeitos atualmente depositados nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão, deve-se avaliar as potenciais questões associadas à presença desse material no ambiente dentro dos Trechos analisados. Além disto, precisam ser considerados os impactos atuais decorrentes do evento principal, o rompimento da barragem do Fundão no mês de novembro de 2015 e/ou de eventos posteriores ao evento principal, como a época chuvosa após o evento principal.

Há dois níveis de divisão territorial utilizados neste Plano para a definição dos objetivos específicos:

- Trecho: divisão na escala macro, utilizando o conceito de *ottobacias* e abrangendo além da área impactada, aquela afetada ainda que indiretamente pelo evento; e
- Contexto: conjunto de áreas com características similares que apresentam particularidades quanto às ações de manejo propostas.

Neste sentido, um Trecho representa a divisão espacial na escala macro, conforme a Seção 7.4 do Plano de Manejo de Rejeito Revisão 1. Cada trecho contém um ou mais contextos distintos.

Um Contexto representa a divisão territorial na escala micro, através do conjunto de características identificadas para um determinado agrupamento de áreas, envolvendo os aspectos físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos.

Os objetivos específicos do manejo de rejeitos são sempre definidos por trecho e por contexto, considerando os impactos identificados na Seção 6, envolvendo as seguintes questões:

- Questões físicas;
- Questões químicas;

- Questões biológicas; e
- Questões socioeconômicas.

Além destas classificações, há a divisão territorial utilizada para a determinação de volumes de rejeito, denominada Unidade de Análise. Tal classe representa a divisão espacial de um determinado trecho, em função da declividade (planícies aluvionares e vales encaixados ou gargantas). Foram definidas duas unidades de análise nos Trechos 1 ao 4, conforme apresentado na Seção 5.2.3.4.

Ambas as unidades de análise identificadas, contemplam os remansos das barragens construídas na área, Santarém (ou Nova Santarém) nos Trechos 1 e 2 e dique S3 nos Trechos 3 e 4. Conforme apresentado na Seção 5.2.3, as áreas intra e extracalha das gargantas foram lavadas durante os períodos chuvosos que se sucederam após o evento, expondo o maciço rochoso, motivo pelo qual atualmente não se observam depósitos de rejeito nas mesmas. Desta maneira, os depósitos de rejeito encontram-se apenas nos contextos dentro das unidades de análise identificadas nos Trechos 1 ao 4.

Para melhor ilustrar como foram definidas as unidades de análise, a Figura 52 apresentou o gráfico da elevação do perfil longitudinal do córrego Santarém nos Trechos 1 ao 4 junto com a identificação das unidades de análises e a localização dos Trechos 1 ao 4. Conforme pode ser observado nessa figura, o remanso do reservatório da barragem de Nova Santarém adentra desde o Trecho 2 até o Trecho 1 por aproximadamente 500 m, sendo que o mesmo acontece com o remanso do reservatório do dique S3 no Trecho 3 adentrando desde o Trecho 4 por aproximadamente 250 m. Desta maneira, sabendo que os depósitos de rejeito aconteceram dentro das unidades de análise, a tomada de decisão será realizada considerando os Trechos 1 e 2 e os Trechos 3 e 4 em conjunto.

Entretanto, apenas esta classificação de unidades de análise não se mostra funcional para a aplicação das ações de manejo, uma vez que engloba diferentes contextos, como encostas, planícies, margens e calha entre duas gargantas ou pelas estruturas implantadas. Desta maneira, além das unidades de análise, considera-se necessário considerar a divisão espacial da área afetada.

7.1 Divisão Espacial da Área Afetada

O processo de tomada de decisão é aplicado para cada contexto, separadamente. Primeiramente, a definição dos contextos segue uma divisão territorial, baseado nos seguintes critérios geográficos:

- Unidades morfológicas;
- Unidades ecológicas;
- Unidades de uso do solo; e
- Limites de propriedades.

Com relação aos limites da propriedades e usos do solo, os Trechos 1 ao 4 encontram-se na sua totalidade, dentro das propriedades da Vale e da SAMARCO, sendo que nas planícies e encostas não são praticadas atividades econômicas, conforme apresentado na Seção 5.1.7.1.

Nos Trechos 1 ao 4, um aspecto relevante é a presença dos diques S1, S2 e S3. Os diques S1 e S2 foram medidas emergenciais e temporárias de contenção de sedimentos. No local do dique S1, hoje está em andamento a obra do Eixo 1, e o dique S2 hoje encontra-se submerso dentro do remanso do dique S3. De forma a otimizar ao máximo o volume útil disponível para a contenção de rejeitos e sedimentos afluentes, operações de remanejamento interno do sedimento depositado no reservatório do dique S3 podem ser executadas. Além disso, a barragem Nova Santarém, localizada entre os Trechos 2 e 3, começou a operar no último trimestre de 2017 (elevando a cota da antiga barragem Santarém), não alcançando ainda a capacidade máxima de enchimento do reservatório.

A barragem Nova Santarém e o dique S3 funcionam na atualidade como estruturas de contenção de sedimentos e servem para reter quaisquer rejeitos eventualmente saídos do Vale de Fundão, mudando a geomorfologia natural do córrego Santarém. Ambos reservatórios, possuem capacidade suficiente para contenção dos eventuais vazamentos de rejeitos do vale do córrego do Fundão.

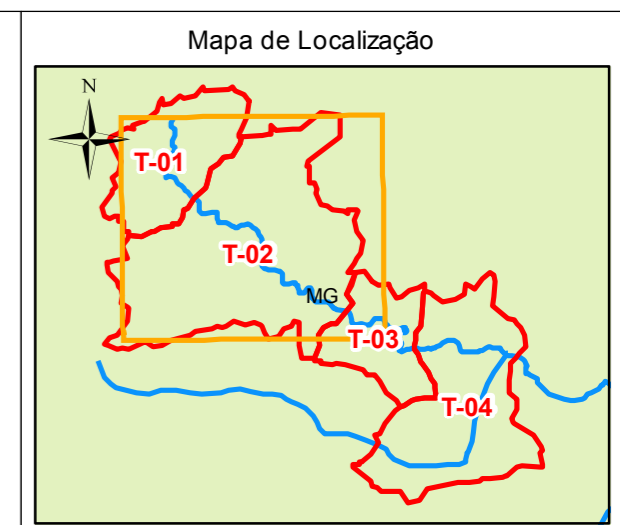
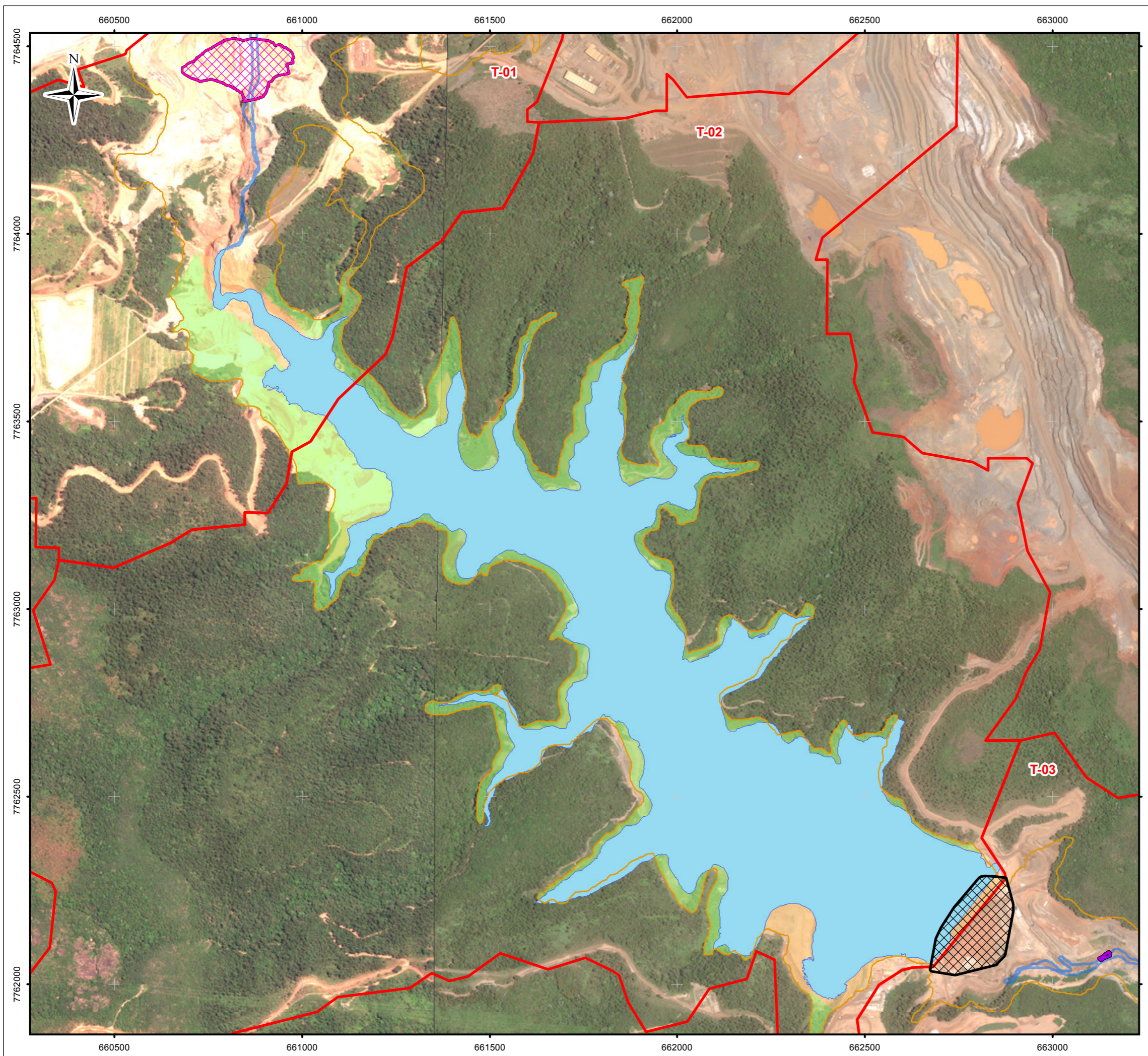
Além disso, o dique Eixo 1 encontra-se em construção (início em 2016) e as obras avançarão ao longo de 2018 e 2019, estando localizado a jusante da antiga barragem de Fundão e a montante do pé da barragem do Germano. Este dique servirá como contenção de sedimentos dentro da área da SAMARCO, além de recuperar a área degradada (Recuperação das áreas do

Vale do Fundão – Plano de Recuperação das Áreas Degradadas – PRAD) evitando carreamentos a jusante e permitindo uma flexibilidade na operação do reservatório da barragem Nova Santarém.

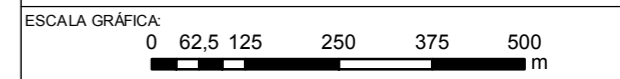
A retenção de sedimentos nos diques Nova Santarém e S3 resulta na formação de bancos de sedimentos com rejeitos, alguns submersos, outros não, a montante. O ambiente de deposição destes sedimentos intracalha é altamente dinâmico, por vezes desenvolvendo vegetação pioneira, sendo submersos na época chuvosa, sofrendo novas deposições de sedimentos. No entanto, ainda que eventualmente emerso, tais bancos de sedimentos integram o contexto intracalha nestes Trechos 1 ao 4.

Deve-se esclarecer que não há necessidade de definir contextos e objetivos específicos para os depósitos intracalha, já que as alternativas de manejo de rejeito já foram implantadas para esse contexto ou estão em vias de serem implantadas por meio de estruturas de contenção de sedimentos (principalmente Eixo 1, barragem Nova Santarém e dique S3). Além disso, o complexo de diques apresenta um nível de turbidez dentro dos padrões vigentes na parte jusante das estruturas, com escassas exceções no período chuvoso, conforme apresentado na Seção 5.1.6.2.1. Portanto, devido ao controle existente do nível de turbidez, também não há necessidade de definir medidas para melhorar a qualidade da água para os Trechos 1 ao 4.

Conforme já apresentado nesse relatório na Seção 5.1.3, a barragem Nova Santarém já encontra-se operando e em processo de enchimento do reservatório, pelo que assume-se que a mesma começará trabalhar com capacidade total ainda em 2018. Na Figura 77, apresenta-se o nível da água que atingirá um nível máximo normal de 766,00 m. Nessa figura, prevê-se que as planícies caracterizadas na Seção 5.2.3 desse relatório ficarão submersas no reservatório quando em plena atividade, sendo que o único contexto extracalha que restará para a tomada de decisão nos Trechos 1 e 2 serão as encostas.



- LEGENDA:**
- Área de Alagamento do Reservatório de Santarém (Elev 766m)
 - Trechos 1 ao 4
 - Área Impactada - Trecho 1 ao
 - Eixo 1
 - Barragem Nova Santarém
 - Dique S1
- Área Impactada (Contextos)**
- Calha
 - Encosta
 - Planície



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Digital Globe, 2017.



TÍTULO:
Figura 77
Figura de Sobreposição do corpo d'água da barragem Nova Santarém e do dique S3 com os contextos de planície e encosta

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA: 1:10.149	DATA: 09/02/2018	PROJ.: RU	VERIF.: EL	APROV.: MB	REV.: RA0
---------------------	---------------------	--------------	---------------	---------------	--------------

FORMATO A3: 420mm X 297mm

Figura 76 - Superposição do corpo d'água da barragem Nova Santarém com os contextos de planície e encosta

Por outro lado, na Seção 5.2 para os Trechos 3 e 4 foram realizadas amostras identificadas como “planícies”. Após uma análise detalhada da geomorfologia, observou-se que como o canal se apresenta anastomosado, ainda que se apresente “seco”, devido à mobilidade dos canais, estas “planícies” formam parte do depósito intracalha. Consequentemente, para os Trechos 3 e 4 não foram caracterizadas planícies com vegetação natural, já que as mesmas foram submersas dentro do reservatório do dique S3 ou formam parte do remanso do mesmo como canais anastomosado, considerando as mesmas como depósitos intracalha, sendo que o único contexto extracalha que restará para a tomada de decisão nos Trechos 3 e 4 serão as encostas.

A Tabela 43 mostra os contextos identificados nos Trechos 1 ao 4.

Tabela 43 – Contextos identificados nos Trechos 1 ao 4

DEPOSIÇÃO DE REJEITOS	TIPO DE DEPÓSITO	CONTEXTO
Depósito Extracalha	I. Depósitos sobre Rochas ou Solos Parcialmente Decapados, em Encostas Declivosas	A1. Depósitos sobre solos naturais com vegetação florestal nativa em encosta.

É importante ressaltar a necessidade de disciplinamento das drenagens por meio do condicionamento dos tributários a fim de evitar a erosão nas encostas e reduzir o carreamento de sedimentos até os reservatórios. Esta alternativa de manejo não entrará no processo de tomada de decisão já que se considera essencial e complementar a qualquer alternativa de manejo que seja selecionada para os contextos.

7.2 Definição dos Objetivos Específicos

Para fins de tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos rejeitos atualmente depositados nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão, deve-se avaliar as potenciais questões associadas à presença desse material no ambiente dentro dos Trechos 1 ao 4. Além disto, precisam ser considerados os impactos atuais decorrentes do evento principal, o rompimento da barragem do Fundão no mês de novembro de 2015 e/ou de eventos posteriores ao evento principal.

Para os depósitos extracalha foram identificados os objetivos específicos estabelecidos com base nos impactos identificados e descritos na Seção 6. Tais objetivos são listados na Tabela 44.

Tabela 44 – Impactos e Objetivos Específicos por Contexto nos Trechos 1 ao 4

DEPOSIÇÃO DE REJEITOS	CONTEXTO	IMPACTOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
Depósito Extracalha	A1. Depósitos sobre solos naturais com vegetação florestal nativa em encosta.	<ul style="list-style-type: none"> • Supressão da vegetação; • Perda de habitats terrestres; • Potencial de erosão do solo; • Baixa fertilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar a erosão superficial das encostas • Regenerar a vegetação nativa • Possibilitar a recuperação do ecossistema terrestre

8 Processo de Tomada de Decisão

Conforme apresentado na Seção 8, não houve necessidade de definir contextos e objetivos específicos para os depósitos intracalha, já que as alternativas de manejo de rejeito já foram implantadas ou estão em vias de serem implantadas para esse contexto por meio de estruturas de contenção de sedimentos (principalmente Eixo 1, barragem Nova Santarém e dique S3). Além disso, o complexo de diques apresenta um nível de turbidez dentro dos padrões vigentes na parte jusante das estruturas, com escassas exceções no período chuvoso. Portanto, devido ao controle existente do nível de turbidez, também não houve necessidade de definir medidas para melhorar a qualidade da água para os Trechos 1 ao 4.

Por outro lado, nos Trechos 1 ao 4, os depósitos de rejeito aconteceram dentro das unidades de análise que contemplam os remansos dos reservatórios da barragem Nova Santarém e do Dique S3. Desta forma, a tomada de decisão foi realizada considerando os Trechos 1 e 2 e os Trechos 3 e 4 em conjunto.

A barragem Nova Santarém já encontra-se operando e em processo de enchimento do reservatório, pelo que assume-se que a mesma começará trabalhar com capacidade total ainda em 2018. O reservatório Nova Santarém atingirá um nível máximo normal de 766,00 m e prevê-se que as planícies identificadas nos Trechos 1 e 2, ficarão submersas no reservatório quando em plena atividade, sendo que o único contexto extracalha que restará para a tomada de decisão nos Trechos 1 e 2 foram as encostas.

Desta maneira, a tomada e decisão será realizada apenas para o contexto de encostas com vegetação natural, pois dentro dos Trechos 1 ao 4 não foram identificadas áreas produtivas com uso econômico.

No PMR (CH2M, 2017) foram definidos dois níveis de tomada de decisão:

1. Processo simplificado de tomada de decisão; e
2. Análise custo-benefício (ACB).

A metodologia específica para cada um destes processos foi descrita na Seção 9 do Plano de Manejo de Rejeito – Revisão 1. O ACB será aplicado sempre que o Processo Simplificado não resulte conclusivo e quando não possam ser realizados estudos adicionais que complementem a caracterização ambiental e forneçam novas informações que ajudem na

conclusão do Processo Simplificado. Desta maneira, neste presente relatório será abordado o Processo de Tomada de Decisão Simplificado e, no caso de não ser conclusivo, segue-se com a identificação dos estudos complementares que suportem a tomada de decisão. Uma vez finalizados estes estudos, e em uma outra etapa, será aplicado a ACB, caso necessário.

O processo de tomada de decisão é aplicado para cada contexto, separadamente. Uma vez estabelecidos os objetivos específicos por contexto, serão identificadas e descritas as alternativas de manejo para cada um deles, as quais serão avaliadas e contrastadas no processo de tomada de decisão. Além disso, durante o desenvolvimento destas alternativas tecnológicas e manejo, devem ser levantados os possíveis *efeitos* positivos e/ou negativos da sua implementação.

Em todo processo de tomada de decisão a pontuação ou avaliação estabelecida e comparando as alternativas de manejo para cada um dos critérios estará claramente justificada.

8.1 Pontuações base por critério

As alternativas de manejo foram avaliadas para os presentes trechos, seguindo o Processo Simplificado de Tomada de Decisão do Plano de Manejo de Rejeito. O processo segue a metodologia descrita na Seção 9.3 do Plano de Manejo de Rejeito – Revisão 01 e utiliza os seguintes critérios:

- Efetividade em atingir os objetivos específicos;
- Viabilidade técnica e administrativa;
- Impactos e riscos causados pelo manejo; e
- Tempo de implementação.

No Processo Simplificado de Tomada de Decisão a pontuação para cada contexto é definida comparando as alternativas de manejo para cada um dos critérios. O raciocínio para a pontuação destes quatro critérios é apresentado a seguir.

A. Pontuação para o critério “efetividade em atingir os objetivos específicos”:

- Nenhum objetivo específico atingido: Nota 1;
- Objetivos específicos parcialmente atingidos: Nota 2, 3 ou 4;
- Todos os objetivos específicos atingidos: Nota 5.

A decisão entre a pontuação 2, 3 ou 4 dependerá da quantidade de objetivos específicos atendidos com relação ao total. Sempre será indicado um esclarecimento com relação à pontuação adotada.

B. Pontuação para o critério “Viabilidade Técnica” e “Viabilidade Administrativa”:

As pontuações por viabilidade técnica e administrativa devem ser comparadas de forma independente, adotando finalmente a menor das duas.

B1. Pontuação para o critério “Viabilidade Técnica”:

- Área sem acesso: Nota 1.
- Área com acesso através de trilhas e picadas (carregamento manual do material removido e insumos, além da impossibilidade de acessar com maquinários para realização dos trabalhos)
 - Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material *maior* que 1.000 m³: Nota 1.
 - Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material *por volta* de 1.000 m³: Nota 2.
 - Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material *menor* que 1.000 m³: Nota 3.
 - Tecnologias envolvendo o condicionamento do solo (ex. carregamento de insumos): Nota 4.
 - Tecnologias envolvendo o enriquecimento da vegetação ou monitoramento (ex. carregamento de sementes): Nota 5.
- Área com acesso para veículos leves e pesados e necessidade de áreas de disposição ou jazidas:
 - Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material maior que 100.000 m³ envolvendo jazidas, áreas de disposição e obras grandes: Nota 3.
 - Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material por volta de 100.000 m³: Nota 4.

- Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material menor que 100.000 m³ e condicionamento ou enriquecimento dos solos ou apenas o monitoramento: Nota 5.

B2. Pontuação para o critério “Viabilidade Administrativa”:

A pontuação referente a “viabilidade administrativa” considera os aspectos referentes ao licenciamento ambiental, e os requisitos legais e ambientais. Não é levado em consideração a aprovação da obra pelo superficiário (por ser arbitrário) – apenas o uso atual do solo e requisitos legais como zoneamento, unidades de conservação, APPs, etc.

- Licenciamento ambiental não fatível, por motivos legais: Nota 1.
- Licenciamento ambiental muito demorado (mais que 2 anos - licenciamento ambiental com estudos de impacto ambiental tipo EIA/RIMA): Nota 2.
- Licenciamento ambiental até 2 anos (licenciamento ambiental com estudos de impacto ambiental tipo RCA/PCA): Nota 3.
- Licenciamento ambiental pode ser realizado em até 1 ano (licenciamento ambiental com estudos simplificados ou autorização do IGAM): Nota 4.
- Licenciamento ambiental pode ser realizado em até 6 meses (sem estudos de impacto ambiental) ou alternativas sem necessidade licenciamento: Nota 5.

C. Pontuação para o critério “Impactos e riscos causados pelo manejo”:

A pontuação referente ao critério “Impactos e riscos causados pelo manejo” sempre é relacionada a alguma obra de intervenção. Por exemplo, uma determinada escavação pode ser uma obra com impacto relativamente grande e a instalação de uma medida de controle de erosão pode ser uma obra com impacto relativamente pequeno.

No caso de uma medida de controle de erosão, os rejeitos permanecem no local, cobertos por uma manta, digamos. Conseqüentemente, se esta medida for mal projetada e/ou executada, pode haver um impacto residual da permanência dos rejeitos, ou seja, neste caso a medida não atingiu os objetivos específicos (veja o critério “A”). Porém, isto não necessariamente significa que a medida causou um impacto durante a sua instalação. Ou seja, neste exemplo a alternativa receberia uma pontuação baixa para o critério A e uma pontuação alta para critério C.

- Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material maior que 100.000 m³, causando supressão de vegetação e outros impactos na área de escavação, nas jazidas e nas áreas de disposição, necessitando a constrição de vias de acesso e gerando turbidez em longo prazo (mais que 1 ano): Nota 1 (“impacto muito alto”).
- Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material por volta de 100.000 m³, causando supressão de vegetação e outros impactos na área de escavação, nas jazidas e nas áreas de disposição, necessitando a construção de vias de acesso ou gerando turbidez em longo prazo (por volta de 1 ano): Nota 2 (“impacto alto”).
- Tecnologias envolvendo a remoção de volumes de material menor que 100.000 m³, e/ou a remoção manual (independente do volume), sem supressão de vegetação e/ou gerando turbidez temporária (menor que 1 ano) e/ou alteração da dinâmica do rio em função do capeamento, aumentando a erosão da margem: Nota 3 (“impacto moderado”).
- Tecnologias que envolvem movimentação de insumos e maquinários (e.g., caminhões ou tratores apenas trazendo insumos, plantio manual de mudas, etc.): Nota 4 (“baixo impacto”).
- Todas as outras tecnologias (e.g., inspeções, monitoramento, etc.): Nota 5 (“impacto desprezível”).

D. Pontuação para o critério “Tempo de implementação”:

Para obras de engenharia, o tempo de implementação está relacionado apenas com o tempo necessário para instalação da alternativa. Portanto, a pontuação relaciona o tempo com o alcance de todos os objetivos específicos, como segue:

- Tempo até atingir todos os objetivos específicos maior que 4 anos (extremadamente longo prazo – supera o prazo estabelecido no TTAC): Nota 1.
- Tempo até atingir todos os objetivos específicos por volta de 4 anos (longo prazo): Nota 2.
- Tempo até atingir todos os objetivos específicos por volta de 3 anos (médio prazo): Nota 3.

- Tempo até atingir todos os objetivos específicos por volta de 2 anos (curto prazo): Nota 4.
- Tempo até atingir todos os objetivos específicos por volta de 1 ano (extremadamente curto prazo): Nota 5.

Além disso, para a regeneração da vegetação, será utilizado como critério o estágio de recomposição florestal daqui a 4 anos (TTAC). Neste caso, a pontuação do critério “Tempo de implementação” é definido como segue:

- A regeneração da vegetação daqui a 4 anos pode ser considerado “ruim”: Nota 1.
- A regeneração da vegetação daqui a 4 anos pode ser considerado “razoável”: Nota 2, 3 ou 4.
- A regeneração da vegetação daqui a 4 anos pode ser considerado “bom”: Nota 5.

A decisão entre a pontuação 2, 3 ou 4 dependerá do nível de regeneração em relação ao nível ideal. Sempre será indicada um esclarecimento com relação à pontuação adotada.

A seguir será apresentada a descrição do processo de tomada de decisão utilizando o Processo Simplificado, por contexto.

8.2 Contexto A1. Depósitos sobre solos naturais com vegetação florestal nativa em encosta

Este é um tipo de depósito extracalha e que se formou exclusivamente em decorrência do evento de ruptura e mobilização dos rejeitos da barragem de Fundão, pois são áreas que normalmente não são alcançadas pelos processos normais de inundação sazonal.

Objetivos específicos identificados para este contexto:

- Evitar a erosão superficial das encostas (diminuição do escoamento superficial e aumento da infiltração);
- Regeneração da vegetação nativa;
- Possibilitar a recuperação do ecossistema terrestre.

8.2.1 Definição de Alternativas de Manejo

Foram definidas as seguintes alternativas para o manejo deste contexto:

1. Remoção manual do rejeito com regeneração natural da vegetação e monitoramento;
2. Enriquecimento da vegetação com espécies nativas e monitoramento; ou
3. Monitoramento da estabilidade do meio físico e da regeneração natural da vegetação.

Premissas gerais para todas as alternativas de manejo:

- Existem indícios de uma regeneração natural da cobertura vegetal conforme apresentado na Seção 5.1.6.3;
- Existem acessos viários nos extremos da unidade de análise 1 (Trechos 1 e 2) pela margem direita e em alguns pontos do Trecho 3 e 4, também pela margem direita. Desta maneira, o acesso é difícil devido à declividade e existência de espécies arbóreas, e como premissa deve ser conservada a vegetação existente (evitar supressão), portanto qualquer escavação ou transporte de insumos deve ser manual.

Premissas Alternativa 1

- Necessidade de licenciamento ambiental por meio de estudos simplificados para as áreas de disposição de rejeito.
- Volume de escavação de rejeito nas encostas (volume de encosta com vegetação natural impactada):
 - Trechos 1 e 2 (unidade de análise 1): 14.800 m³;
 - Trechos 3 e 4 (unidade de análise 2): 124.600 m³;
- Velocidade da obra: 2 m³ / dia / trabalhador;
- Número de trabalhadores: 100 trabalhadores;
- Tempo necessário para realização da obra (sem considerar o tempo necessário para o licenciamento e a recuperação da vegetação):

- Trecho 1 e 2 (unidade de análise 1): 3,5 meses de obra (22 dias úteis / mês).
- Trecho 3 e 4 (unidade de análise 2): 28 meses de obra (22 dias úteis / mês).

Premissas Alternativa 2

- Sem necessidade de licenciamento ambiental.
- Área de plantio de mudas (área de encostas com vegetação natural):
 - Trecho 1 e 2 (unidade de análise 1): 47 ha;
 - Trecho 3 e 4 (unidade de análise 2): 63 ha.
- Velocidade da obra: 1 ha por dia plantada;
- Tempo necessário para realização da obra:
 - Trecho 1 e 2 (unidade de análise 1): 2,5 meses de obra (22 dias úteis / mês).
 - Trecho 3 e 4: 3 meses de obra (22 dias úteis / mês).



Premissas Alternativa 3









- Sem necessidade de licenciamento ambiental.
- Necessidade de monitoramento trimestral durante pelo menos 4 anos (TTAC).

8.2.2 Processo Simplificado de Tomada de Decisão

A Tabela 45 apresenta a análise das notas e a pontuação de cada alternativa de manejo para as encostas com vegetação natural nos Trechos 1 ao 4.

Tabela 45 – Análise Simplificada de Tomada de Decisão para o Contexto A1 – Trechos 1 ao 4.

ALTERNATIVA	EFETIVIDADE EM REALIZAR OS OBJETIVOS	VIABILIDADE TÉCNICA E ADMINISTRATIVA	IMPACTOS E RISCOS DO MANEJO	TEMPO DE IMPLEMENTAÇÃO	PONTUAÇÃO
1. Remoção manual do rejeito com regeneração natural da vegetação e monitoramento	4 	1 	3 	1 	4x1x3x1=12

ALTERNATIVA	EFETIVIDADE EM REALIZAR OS OBJETIVOS	VIABILIDADE TÉCNICA E ADMINISTRATIVA	IMPACTOS E RISCOS DO MANEJO	TEMPO DE IMPLEMENTAÇÃO	PONTUAÇÃO
2. Enriquecimento da vegetação com espécies nativas e monitoramento.	5 	4 	4 	5 	5x4x4x5=400
3. Monitoramento da estabilidade do meio físico e da regeneração natural da vegetação.	4 	5 	5 	3 	4x5x5x3=300

As justificativas para a pontuação nas tabelas são apresentadas a seguir.

1. Efetividade em atingir os objetivos específicos:

- Considerações gerais para todas as alternativas: A proximidade das florestas nas encostas impactadas facilita a regeneração natural da vegetação, através de fenômenos como “chuvas de sementes”. A Fundação Renova vem realizando testes em áreas piloto com plantio de mudas de espécies nativas e frutíferas, os quais evidenciam resultados positivos (RENOVA, 2017a), comprovando a eficiência do enriquecimento da vegetação nativa;
- Alternativa 1: Os objetivos específicos são parcialmente atingidos já que apresenta uma menor viabilidade de atingir o estágio de clímax no que diz respeito à diversidade do ecossistema terrestre, apenas com regeneração natural. Desta maneira, foi concedida a nota 4.
- Alternativa 2: Prevê o enriquecimento da vegetação com espécies nativas garantindo uma diversidade no ecossistema terrestre. Nesta alternativa, todos os objetivos específicos são atingidos, concedendo a Nota 5.
- Alternativa 3: Os objetivos específicos são parcialmente atingidos já que apresenta uma menor viabilidade de atingir o estágio de clímax no que diz respeito à diversidade do ecossistema terrestre, apenas com regeneração natural. Desta maneira, foi concedida a nota 4.

2. Viabilidade técnica e administrativa:

- Alternativa 1: apresenta uma dificuldade técnica considerável, já que a remoção tem que ser feita manualmente, devido à necessidade de preservar a vegetação existente e falta de acessos diretos, inviabilizando a remoção mecânica. O volume de remoção em todos as unidades de análise (unidade de análise 1 – Trechos 1 e 2 e unidade de análise 2 – Trechos 3 e 4) é maior que 1.000 m³, desta maneira a nota concedida no que diz respeito à viabilidade técnica é 1.

Por outro lado, devido ao volume de disposição necessário, será necessário licenciar áreas para disposição do rejeito. Como consequência, foi considerado que o licenciamento ambiental pode ser realizado em até 1 ano (licenciamento ambiental com estudos simplificados, pelo que a nota devida à viabilidade técnica, para todos os trechos é 4. Finalmente, a nota a ser considerada deve ser a mínima entre as duas obtidas. Assim, a nota final para todos os trechos é 1.

- Alternativa 2: Apresenta a necessidade de acesso por trilhas para realizar o enriquecimento da vegetação, o que implica um empecilho técnico. No entanto, esta técnica é considerada simples e fácil de implementar, além de possuir diversos fornecedores de mudas. Desta maneira, esta alternativa é considerada como uma tecnologia envolvendo o condicionamento do solo (ex. carregamento de insumos), pelo que para a viabilidade técnica concede-se a Nota 4. Por outro lado, não será necessário realizar licenciamentos, o que neste quesito define a Nota é 5. Finalmente, a nota 4 é considerada para a presente alternativa já que a menor das duas alcançadas deve ser considerada;
- Alternativa 3: Não apresenta empecilho técnico (apenas monitoramento) ou administrativo (sem necessidade de licenciamento ambiental). Desta maneira, a nota concedida foi 5.

3. Impactos e riscos causados pelo manejo:

- Alternativa 1: Torna-se necessária a utilização de diversas áreas para a disposição do rejeito, ocasionando impactos nas áreas de empréstimo para a recomposição do solo e gerando grande movimentação e tráfego de caminhões (alteração da geometria gerada pelo acesso) com os impactos consequentes (ruído, emissões de poluentes atmosféricos e emissões de gases de efeito estufa), além da supressão da vegetação para geração de acessos. Em todos os trechos, a tecnologia envolve a remoção manual de material, sem supressão de vegetação

e/ou sem geração de turbidez e/ou alteração da dinâmica do rio (apenas intervenções nas encostas), pelo que a nota concedida é 3 (“impacto moderado”).

- Alternativa 2: Tecnologia que envolve movimentação de insumos e maquinários (e.g., caminhões ou tratores apenas trazendo insumos, plantio manual de mudas, etc.): Nota 4 (“baixo impacto”).
- Alternativa 3: Apresenta apenas leve ou desprezível potencial de impactos, pois apenas envolve o monitoramento, pelo que a nota concedida é 5.

4. Tempo de implementação:

- Alternativa 1:
 - Unidade de análise 1 – Trechos 1 e 2: Deve ser considerado aproximadamente 1 ano para o processo de licenciamento, logo após a obtenção da licença, inicia-se a remoção com um tempo estimado de 3,5 meses de obra. Uma vez finalizada a obra, consideram-se 4 anos até atingir a recuperação da vegetação.
 - Unidade de análise 2 – Trechos 3 e 4: Deve ser considerado aproximadamente 1 ano para o processo de licenciamento, logo após a obtenção da licença, inicia-se a remoção com um tempo estimado de 28 meses de obra (aproximadamente 3 anos). Uma vez finalizada a obra, consideram-se 4 anos até atingir a recuperação da vegetação.

Foi considerado um prazo de 4 anos para a recuperação da vegetação, já que em todos os trechos, houve uma supressão total da vegetação das encostas impactadas. No local, observou-se que na atualidade existe uma predominância de gramíneas. Por outro lado, o evento removeu o substrato natural, devido à força de carreamento e considerando a proximidade ao ponto de rompimento, diminuindo a qualidade do solo. Observou-se que o rejeito vem recebendo desde o evento de rompimento da barragem de Fundão um condicionamento natural (incremento de matéria orgânica) e, pelo contrário, o substrato não apresenta características boas para suporte da vegetação. Desta maneira, estima-se que a regeneração natural da vegetação crescendo diretamente no substrato natural demorará por volta de 4 anos.

Finalmente, considerando os prazos para todos os trechos, o tempo até atingir todos os objetivos específicos encontra-se maior do que 4 anos (longo prazo) pelo que a nota concedida é 1.

- Alternativa 2:
 - Unidade de análise 1 – Trechos 1 e 2: Aproximadamente 2,5 meses de obra. Uma vez finalizada a obra, consideram-se 1 ano até atingir a recuperação da vegetação partindo de gramíneas que já podem ser observadas nas encostas.
 - Unidade de análise 2 – Trechos 3 e 4: Aproximadamente 3 meses de obra. Uma vez finalizada a obra, consideram-se 1 ano até atingir a recuperação da vegetação partindo de graminha que já pode ser observada nas encostas.

A regeneração da vegetação daqui a 4 anos pode ser considerado “boa” considerando que a vegetação encontra-se saindo do estágio inicial para o meio (já encontra-se com uma função para controle de erosão e abrigo de fauna). Desta maneira, o tempo até atingir todos os objetivos específicos encontra-se por volta de 1 ano (extremadamente curto prazo): Nota 5.

- Alternativa 3: A regeneração da vegetação demora mais na Alternativa 3 do que na Alternativa 2, porque não há enriquecimento da vegetação na Alternativa 3. Nesta alternativa, a regeneração da vegetação nativa acontecerá de forma natural. Desta maneira, considera-se dificultosa a recomposição do ecossistema naturalmente e a recuperação da biodiversidade esperada no curto prazo, acontecendo no médio prazo. Quando comparado com a Alternativa 1, estimam-se 3 anos de regeneração da vegetação de forma natural considerando que os solos na Alternativa 1 são mais favoráveis que na Alternativa 3. Finalmente, o tempo até atingir todos os objetivos específicos encontra-se por volta de 3 anos (médio prazo) concedendo a nota 3.

8.2.3 Medidas Mitigadoras

Alternativa 2, “Enriquecimento da vegetação com espécies nativas e monitoramento”, obteve a maior pontuação em todos os trechos. Esta alternativa obteve uma pontuação consideravelmente maior do que a segunda colocada, e não obteve semáforos vermelhos ou amarelos, ou seja, o processo de tomada de decisão foi conclusivo.

9 Descrição das Alternativas de Manejo Selecionadas

Após aplicação do Processo Tomada de Decisão do PMR para cada contexto separadamente, devem ser identificadas e conceituadas as alternativas de manejo selecionadas a serem aplicadas por contexto. Além disso, deverá ser elaborado um cronograma de implementação das alternativas de manejo selecionadas para os diferentes contextos.

Após aplicação do Processo Simplificado de Tomada de Decisão do Plano de Manejo de Rejeito para cada contexto separadamente, foram identificadas as alternativas de manejo, conforme apresentadas na Tabela 46.

Tabela 46 – Impactos e Objetivos Específicos por Contexto nos Trechos 1 ao 4 – Alternativa indicada destacada em negrito

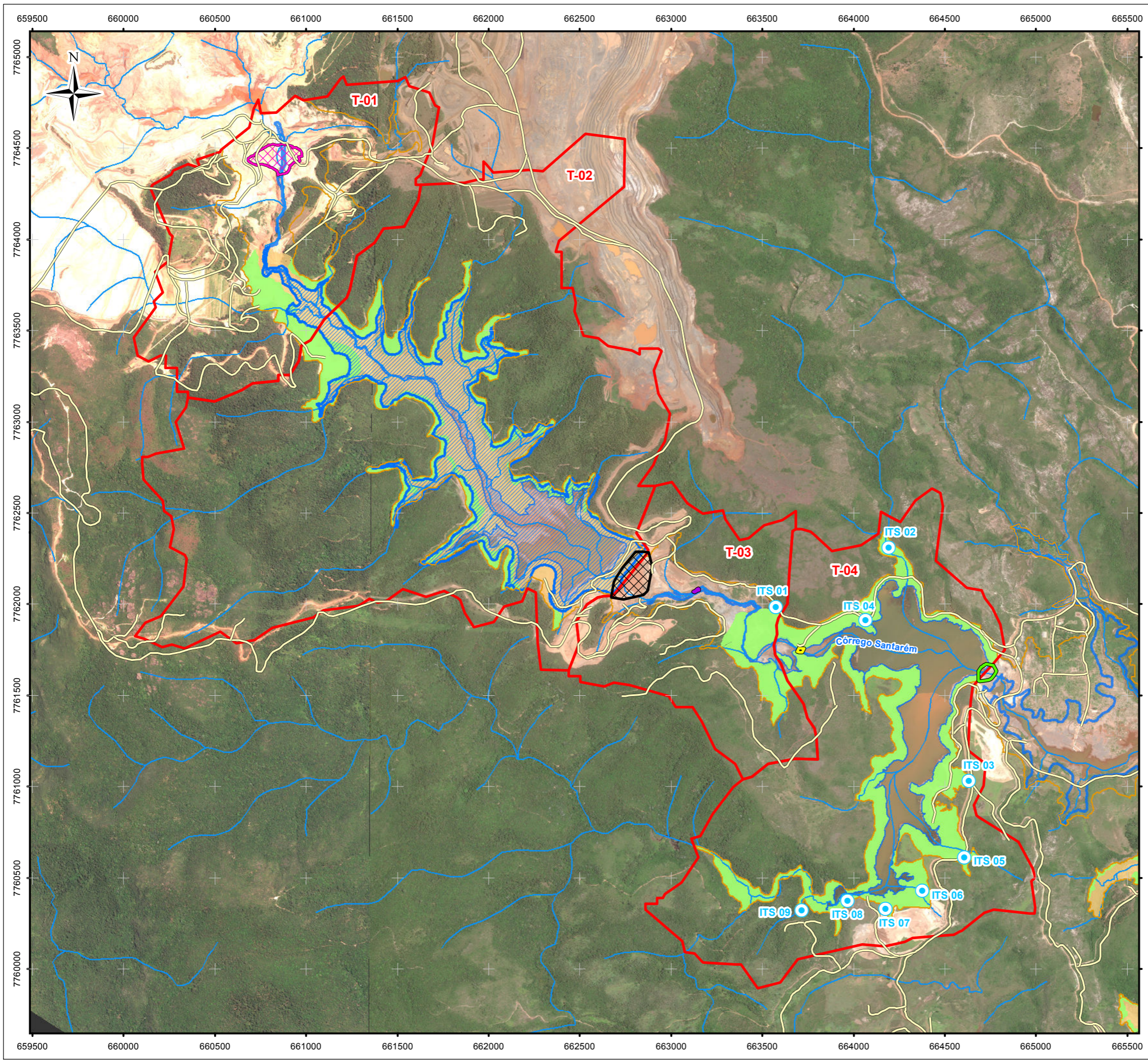
CONTEXTO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ALTERNATIVAS DE MANEJO
A1. Depósitos sobre solos naturais com vegetação florestal nativa em encosta.	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar a erosão superficial das encostas • Regeneração da vegetação nativa • Possibilitar a recuperação do ecossistema terrestre 	1. Remoção manual do rejeito com regeneração natural da vegetação e monitoramento; 2. Enriquecimento da vegetação com espécies nativas e monitoramento; ou 3. Monitoramento da estabilidade do meio físico e da regeneração natural da vegetação.

Importante ressaltar que nos Trechos 1 ao 4 foram implantadas medidas emergenciais e temporárias de contenção de sedimentos, que são os diques S1 e S2 (ambos de pequeno porte e assoreados, não sendo mais caracterizados como estruturas geotécnicas), Nova Santarém e S3, conforme descrito na Seção 5.1.3.1, além do Eixo 1 que encontra-se em discussão a sua execução. A retenção de sedimentos nos diques Nova Santarém e S3 tem apresentado performance adequada resultando em níveis de turbidez a jusante destas estruturas dentro dos padrões vigentes. Ambos reservatórios, possuem capacidade suficiente para contenção dos eventuais vazamentos de rejeitos do vale do córrego do Fundão. Por esta razão, não foram consideradas medidas de manejo intracalha e referentes a estas estruturas, mesmo que temporárias até a finalização do Eixo 1.

Além disso, observa-se necessidade de disciplinamento das drenagens por meio do condicionamento dos tributários a fim de evitar a erosão superficial nas encostas e, conseqüentemente, reduzir o carreamento de sedimentos até os reservatórios. Para isso, além

das ações extra calha de enriquecimento da vegetação que diminuem o escoamento superficial das águas pluviais e aumenta sua respectiva infiltração local, deverão ser avaliadas alternativas técnicas para a regularização de calhas e margens dos tributários identificados dentro da área afetada. Esta alternativa de manejo não entrou no processo de tomada de decisão já que se considera essencial e complementar à alternativa de manejo selecionada.

Na Figura 78 encontra-se apresentado o conceito da aplicação do PMR nos Trechos 1 ao 4, indicando as alternativas de manejo por contexto. Na sequência são apresentadas as descrições conceituais das alternativas de manejo, sendo logo necessário a elaboração do detalhamento de cada uma destas.



LEGENDA:

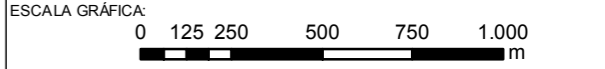
- Curso d'água
- Trechos 1 ao 4
- Área Impactada - Trechos 1 ao 4
- Área de Alagamento do Reservatório de Santarém (Elev 766m)
- Acesso

Estruturas de Contenção

- Eixo 1
- Barragem Nova Santarém
- Dique S1
- Dique S2
- Dique S3

Alternativa de Manejo Selecionada

- Encosta com vegetação natural: Enriquecimento da vegetação com espécies nativas e monitoramento
- Tributários: Disciplinação da Drenagem dos Tributários



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
IBGE, 2015;
Digital Globe, 2017.



TÍTULO:
Figura 78
Figura de Conceito da Aplicação de Plano de Manejo de Rejeitos Trechos 1 ao 4

PROJETO: Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 ao 4

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:20.881	21/02/2018	RU	EL	MB	RA0

Figura 77 - Conceito de Aplicação de Plano de Manejo T1 a T4

9.1 Enriquecimento da vegetação com espécies nativas

A deposição de rejeito sobre solos naturais com vegetação florestal nativa nas encostas causando a supressão da vegetação em alguns trechos, com deposição de rejeito com espessura mínima de 0,07m, média de 0,21m e máxima de 0,73 m, conforme apresentado na Seção 5.2.4.1, e consequente aumento do potencial de erosão do solo, sendo imprescindível a implantação de medidas de restauração florestal nestas áreas.

De forma natural, a recomposição do ecossistema e a recuperação da biodiversidade são improváveis de ocorrer no curto prazo. É possível verificar que, em locais onde foi apurada a ocorrência de espécies herbáceas, em solos não compostos por rochas, houve uma maior regeneração natural em função das condições da paisagem, onde há fornecimento de material genético do entorno em condições adequadas para o desenvolvimento de espécies regenerantes pioneiras. Entretanto, quando se analisa o fator de contenção de processos erosivos, acredita-se que o método para possibilitar que somente a regeneração natural seja a responsável pela recomposição florestal na região, sem o enriquecimento florestal, traga resultados somente a longo prazo.

É sugerido que os plantios de espécies de enriquecimento utilizem espécies nativas de ocorrência regional, dentre aquelas identificadas nos levantamentos florísticos, contemplando todas as diferentes formas de vida e estratos presentes de fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual, com representação de espécies zoocóricas, que se enquadram em categorias de ameaças e/ou com espécies de preenchimento e de diversidade.

Nos espaços não ocupados pela vegetação existente ou regeneração natural com baixa densidade de vegetação arbustivo-arbórea, ou em áreas de borda de fragmentos e clareiras, o ideal é o plantio de espécies iniciais da sucessão ecológica (plantio de adensamento), visando controlar a expansão de espécies invasoras/agressoras e promover o sombreamento, favorecendo o desenvolvimento de espécies finais (TNC, 2013).

A Fundação Renova vem realizando testes em áreas piloto com plantio de mudas de espécies nativas e frutíferas os quais providenciaram resultados positivos (RENOVA, 2017a) comprovando a eficiência do enriquecimento da vegetação nativa. As ações propostas para o enriquecimento de planícies e encostas devem estar alinhadas e seguir as diretrizes, premissas, resultados e medidas contempladas no Programa de Revegetação (PG 25), de modo a garantir

a introdução de espécies nativas e métodos já testados e funcionais na área impactada pelos rejeitos.

Com base nos resultados obtidos em vistoria de campo, juntamente com os dados dos testes piloto e demais relatórios aqui considerados, acredita-se que os processos de regeneração natural, juntamente com enriquecimento nas condições já apresentadas serão suficientes para reposição da vegetação local e por consequência o controle da erosão nessas regiões.

Ainda, é importante que sejam realizadas ações de recuperação da cobertura vegetal das matas ciliares dos cursos d'água (córrego Santarém) e tributários (córrego Mirandinha), além das nascentes. As matas ciliares são de fundamental importância para a manutenção e qualidade dos recursos hídricos, reduzindo o carreamento de substâncias e elementos para os corpos d'água (TUNDISI et al., 2008). Ainda, controlam a incidência de luz e a temperatura, ajustando o habitat para as comunidades aquáticas, além de constituírem fonte de nutrientes para as populações de organismos aquáticos e silvestres e agirem como filtros de sedimentos, material orgânico e poluentes que possam contaminar os corpos de água (MMA, 2011).

A cobertura vegetal reconstituída nas encostas promove serviços de controle de erosão, entretanto, tendo em vista o tempo de desenvolvimento dos processos de adensamento e preenchimento da vegetação é importante que sejam implantadas estruturas e ações de bioengenharia nas encostas que visem o disciplinamento dos rejeitos e minimização do desenvolvimento de processos de erosão e carreamento de sedimentos para os cursos d'água.

Após a execução do plantio de enriquecimento e minimização de processos erosivos condicionamento do solo, deve ser previsto e implementado um cronograma com campanhas de monitoramento periódico para fazer o acompanhamento das medidas de contenção de erosão. O monitoramento é fase fundamental para verificação se as ações executadas estão atingindo os objetivos esperados. Um escopo com os indicadores físicos, químicos e biológicos deve ser desenvolvido para esta finalidade e prazo para avaliação das medidas e tomadas de decisões adicionais, se necessário.

9.2 Disciplinamento das Drenagens

Após finalização das obras de bioengenharia para o disciplinamento de drenagens e controle de erosão inicia-se as vistorias de campo para identificação das demandas de

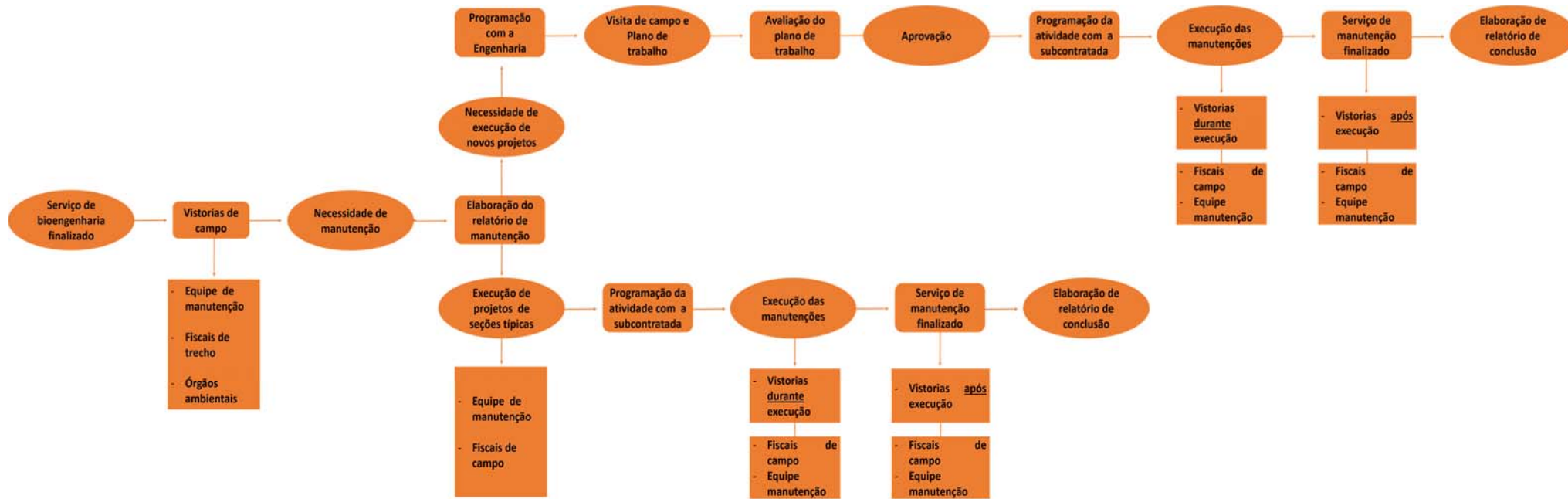
manutenção. Estas vistorias são realizadas pelas equipes de fiscais de campo, equipe de manutenção e órgãos ambientais, conforme mencionado na seção 5.1.3.2.

Identificada a necessidade de manutenção é elaborado o relatório fotográfico de manutenção, o qual contempla o nome do proprietário, as coordenadas e ou estacas do projeto, identificando o ponto de manutenção, breve descrição da situação e a sugestão para solução do dano encontrado. A partir deste ponto, percorre-se duas linhas de trabalho:

1. Caso a solução seja atendida pelos projetos típicos existentes, segue-se o seguinte fluxo: programação com a contratada; vistorias durante a execução das obras (equipes de fiscais e de manutenção); finalização das obras; nova vistoria para certificação da qualidade do serviço; relatório de conclusão (seguinte o mesmo formato do relatório anterior).
2. Caso a demanda identificada precise de novo projeto/solução, é acionada a equipe de engenharia. Em seguida, é realizada uma visita de campo com a equipe para avaliação e elaboração do plano de trabalho. O plano de trabalho é enviado para avaliação e, caso aprovado, segue para elaboração do projeto, o qual passará por nova avaliação. Após sua aprovação, segue a mesma rotina do processo mencionado no item 1: programação com a contratada; vistorias durante a execução das obras (equipes de fiscais e de manutenção); finalização das obras; nova vistoria para certificação da qualidade do serviço; relatório de conclusão.

O fluxograma de vistoria e manutenção das obras de disciplinamento de drenagens e controle de erosão da Fundação Renova é apresentado na Figura 79.

Figura 79 – Fluxograma de Manutenção das Obras de Diciplinamento de Drenagem e Controle de Erosão



No relatório geral de vistoria operação Águas – Fase Argos – Etapa IV (IBAMA, 2017) apresentada na Seção , identificou-se existem diversos pontos, localizados nas drenagens e áreas de APP dos Trechos 1 ao 4 que precisam de intervenções:

ITS01: necessidade de enriquecimento e condução da vegetação nativa e atação na contenção de processos erosivos na calha principal do córrego Santarém.

ITS02: À montante da estrada, formou-se um pequeno lago devido a uma área de barramento e, apesar do lago apresentar-se cristalino e com boa regeneração vegetal em suas margens, constataram-se processos erosivos e o início de ravinamento. Diante disso, foi recomendado que seja incorporada matéria orgânica sobre o rejeito, conter os processos erosivos e evitar o carreamento para o leito do curso principal.

ITS03: em virtude da construção de estrada anteriormente inexistente, recomenda-se que a drenagem, a contenção de processos erosivos e o retaludamento sejam avaliados neste sentido.

ITS05: necessidade de contenção da erosão da estrada, com restabelecimento do talude adequado.

ITS06: avaliar melhor forma de manejo do rejeito identificado na área, com processo de ravinamento em andamento e avaliar melhor forma de manutenção e contenção do deslizamento presente no dique construído no tributário.

ITS07: a área não está cercada, porém apresenta bom desenvolvimento da vegetação.

ITS09: não há definição da cota de inundação pelo dique S3, sendo esta indicação necessária para dimensionar o projeto de recuperação da APP do lago formado a partir do barramento (dique S3).

Todos estes pontos a montante dos diques devem ser objeto de recuperação, porém não são prioritários uma vez que já existe uma estrutura de contenção de sedimentos a jusante. Igualmente, as ações previstas para estes pontos são principalmente de bioengenharia incluindo hidrossemeadura e contenção de erosão com paliçadas e retentores de sedimento.

As premissas estabelecidas no Plano de Trabalho para Cumprimento da cláusula 160 do TTAC (FUNDAÇÃO RENOVA, 2017), se aplicam às intervenções propostas para as calhas e planícies de inundação dos rios principais e tributários. As premissas consideradas para definir as soluções aplicáveis em cada caso são apresentadas a seguir.

Reconformação de Calhas e Margens:

- A morfologia do canal deve ser mantida o mais próximo possível da sua condição original (pré-rompimento);
- Movimentações de terra e rejeitos que possam levar ao aporte de sedimentos ao leito do rio devem ser minimizados;
- Movimentação dos rejeitos e sedimentos depositados no leito do rio devem ser minimizados;
- Materiais depositados ao longo dos cursos de água, como pedaços de madeira, devem ser aproveitados;
- Os distúrbios nas margens do canal devem ser minimizados;
- A reconformação de áreas onde a vegetação natural já se restabeleceu deve ser evitada para melhorar a estabilização das margens;
- Da mesma forma, deve ser evitada a reconformação de áreas onde existem remanescentes da vegetação ripária (ex.: sistema radicular);
- Técnicas de bioengenharia, conjugando materiais inertes com elementos vivos, devem ser favorecidas em detrimento às soluções de engenharia pesada, como o revestimento com rochas;
- As intervenções realizadas devem ser monitoradas e reparadas até que a área seja estabilizada e integrada com o ambiente de entorno.

Controle de Processos Erosivos:

- A erosão produzida pelo escoamento superficial nas áreas impactadas deve ser minimizada;
- O escoamento superficial “limpo” deve ser desviado a montante das áreas impactadas e drenado para a calha dos rios;
- A movimentação de terra em áreas naturais deve ser minimizada;
- Drenagem superficial adequada nas áreas impactadas deve ser implantada;
- Todas as áreas impactadas devem ser revegetadas;

Assim como para a calha dos rios, as intervenções realizadas para controle de erosão devem ser monitoradas e reparadas até que a área seja estabilizada e integrada com o ambiente de entorno.

9.3 Monitoramento

O monitoramento da recuperação da vegetação em encostas e tributários avaliará a efetividade da alternativa de manejo selecionada e o processo de recuperação do habitat terrestre e aquático.

Indicadores são informações quantificadas, com base em dados técnicos e científicos, e usadas nos processos de decisão e úteis como ferramentas de avaliação de processos. Os indicadores representam as tendências e progressos que se alteram ao longo do tempo.

Por meio do uso de indicadores, é possível simplificar o número de informações para representar um conjunto de fenômenos mais complexos. Indicadores ambientais são variáveis que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas, possibilitando assim identificar os riscos, os benefícios e a necessidade de ajustes dos processos realizados.

Os indicadores socioambientais do Plano de Manejo de Rejeito (CH2M, 2017) são definidos como um conjunto de variáveis mensuráveis agrupadas em três áreas de atuação, definidos como indicadores da efetividade e durabilidade das ações de recuperação adotadas, sendo estes:

- Indicadores Ambientais: indicadores de avaliação dos efeitos das medidas de recuperação adotadas nas águas superficiais e subterrâneas, sedimentos e qualidade do ar e nível de ruído;
- Indicadores de Recuperação de Habitats: indicadores de avaliação de desempenho das medidas de recuperação de habitats terrestres e aquáticos;
- Indicadores Socioeconômicos: indicadores relacionados a melhoria e retomada da função produtiva de áreas com atividades antrópicas e impactos em comunidades afetadas pelas medidas de recuperação.

Na **Tabela 47** são listados os aspectos específicos de monitoramento para o manejo do rejeito nos Trechos 1 ao 4 que estão sendo considerados na atualidade pela Fundação Renova e que se aplicam para o contexto de encostas com vegetação natural. Este monitoramento, visa definir a permanência ou não das estruturas ao longo do tempo.

Tabela 47 – Aspectos específicos de monitoramento para o manejo de rejeito nos Trechos 1 ao 4

PROGRAMA DE MONITORAMENTO	ASPECTO ESPECÍFICO NOS TRECHOS 1 AO 4
<i>Indicadores de Recuperação de Habitats</i>	
Avaliação do desenvolvimento da cobertura vegetal.	Estabilidade do meio físico nas encostas.
Avaliação dos processos erosivos e mudança na morfologia fluvial.	Estabilidade do meio físico nas encostas.
Recuperação da biodiversidade da área impactada.	Regeneração natural da vegetação nas encostas.

O Plano de Manejo de Rejeito possui interfaces e correlação com três programas de forma direta:

PG 25: Restauração Florestal e Produção de Água

- Programa de recuperação da **ÁREA AMBIENTAL 1** nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, incluindo biorremediação, englobando medidas de cunho reparatório, como por exemplo a recuperação dos tributários.
- Programa de recuperação das **Áreas de Preservação Permanente (APP)** e áreas de recarga da Bacia do Rio Doce com controle de processos erosivos, de acordo com as medidas e requisitos de cunho compensatório.

PG 28: Conservação da Biodiversidade

- Programa de conservação da biodiversidade aquática, incluindo água doce, zona costeira e estuarina e área marinha impactada, englobando as medidas de cunho reparatório
- Programa de fortalecimento das estruturas de triagem e reintrodução da fauna silvestre, englobando as medidas de cunho compensatório
- Programa de conservação da fauna e flora terrestre de cunho reparatório

- Programa de investigação e monitoramento da Bacia do Rio Doce, áreas estuarina, costeiras e marinha impactadas, englobando as medidas de cunho reparatório e compensatório

Dessa forma, tão logo os Programas mencionados apresentem os indicadores propostos, esses deverão ser incorporados nesse documento.

Para as intervenções realizadas no âmbito do PG 25 - Restauração Florestal e Produção de Água já foram definidos monitoramentos específicos visando avaliar a eficácia das ações implantadas. Nesse sentido, os seguintes indicadores já foram estipulados e estão sendo monitorados com base no Plano de Monitoramento para Acompanhamento das Intervenções Prioritárias (para informações adicionais, consultar o PMR revisão 1, Seção 12.2.1, “Áreas Temáticas de Aplicação dos Indicadores para o Plano de Manejo de Rejeitos”):

- Monitoramento da Vegetação:
 - Percentual de cobertura vegetal
 - Produção de biomassa vegetal
 - Avaliação do sistema radicular
 - Avaliação de parâmetros do solo
- Monitoramento do Controle de Erosão:
 - Sedimentação em estruturas de contenção
 - Taxas de erosão em planícies de inundação
 - Avaliação da erosão nas margens e deposição nas calhas
- Monitoramento da qualidade da água
 - Avaliação de parâmetros físico-químicos

Com relação aos indicadores específicos do Manejo, esses ainda estão em fase de definição e aprovação interna na Fundação Renova, e deverão ser avaliados caso a caso e adaptados por trechos de intervenção. A frequência de amostragem deverá também ser avaliada por trecho de acordo com a sua criticidade. São propostos, divididos por áreas temáticas de aplicação, os seguintes indicadores:

- Qualidade da água superficial: ferro, alumínio, manganês, turbidez, sólidos totais em suspensão e cor aparente definidos no PMQQS (PG 38).
- Qualidade do sedimento: Os parâmetros de qualidade de sedimentos incluem parâmetros físico-químicos convencionais, metais totais e indicadores biológicos definidos no PMQQS (PG 38).
- Qualidade das águas subterrâneas: metais prioritários (ferro, manganês e alumínio) e arsênio.
- Qualidade do ar: material particulado nas frações total, inalável e respirável;
- Ruídos: Incômodos por geração de ruído, causados pela circulação de pessoas, veículos e equipamentos e/ou afugentamento da fauna silvestre. Os resultados do acompanhamento destes indicadores serão comparados aos padrões ambientais vigentes. A legislação que estabelece os padrões de qualidade de ruídos está amparada nas normas técnicas ABNT NBR 10151 e 10152. No estado de Minas Gerais, a legislação aplicada é a Lei Ordinária n.7.302 de 21 de julho de 1978.

9.4 Cronograma de implementação das alternativas de manejo

Em 22 de dezembro de 2017, a Fundação Renova protocolou no IBAMA o cronograma macro de aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos 17 trechos (revisão 1), por meio do protocolo 1432824, Ofício OFI NII 122017.1922, N° IBAMA 02001.004139.

A seguir é apresentado o cronograma macro protocolado no IBAMA para os Trechos 1 ao 4.

Tabela 48 – Cronograma macro para os Trechos 1 ao 4

NOME DA TAREFA	INÍCIO	TÉRMINO
Caracterização trechos 1 ao 4	12/12/17	11/01/18
Elaborar relatório de aplicação do plano de manejo de rejeito do trecho com seleção de alternativas de manejo	15/01/18	16/02/18
Validar plano de manejo do trecho junto aos órgãos ambientais e CT	17/02/17	27/03/18
Elaborar engenharia e projetos executivos	27/03/18	25/06/18

NOME DA TAREFA	INÍCIO	TÉRMINO
Executar a comunicação junto aos proprietários	08/10/18	08/11/18
Obter licenças, outorgas, autorizações e SVs necessárias	08/11/18	08/12/18
Validar NT junto ao CIF	09/01/19	08/02/19
Implantar alternativas selecionadas conforme projeto executivo final	08/02/19	08/06/19
Monitorar alternativas implantadas incluindo resultados dos estudos complementares	08/02/19	20/04/23
Adequar alternativas implantadas a partir do resultado do monitoramento (detalhar feedback do monitoramento)	08/02/20	09/03/20
Aprovar finalização da implementação junto à CT/CIF	08/04/20	08/05/20

Ressalta-se que, que as datas protocoladas podem sofrer alterações considerando a implantação das alternativas de manejo. Neste caso, as alterações serão alinhadas e debatidas com a Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental.

10 Equipe Técnica

PROFISSIONAL	FORMAÇÃO	REGISTRO NO CONSELHO DE CLASSE	FUNÇÃO	ASSINATURA
Daniel Gravalos	Engenheira Civil	CREA nº 5061701861	Responsável Técnico CH2M.	
Mercedes Buzzella	Engenheira Civil	-	Gerente de Projeto / Especialista em recursos hídricos.	
Valdir Nakazawa	Geólogo	CREA nº 06013239201	Coordenação Técnica.	
Sander Eskes	Engenheiro Civil	-	Tomada de Decisão.	
Rodrigo Utima	Tecnólogo em Edifícios	-	Produtos cartográficos e geoprocessamento.	
Eric Liu	Biólogo	-	Líder trabalhos de campo.	
Daniel Ferrari	Engenheiro Ambiental	CREA nº 5063656028	Caracterização dos depósitos.	
Mariana Adas	Bióloga	CRBIO nº 074657/01-D	Aspectos biológicos.	
Maira Sugawara	Geóloga	CREA nº 5063165187	Revisão de relatórios.	
Caio Santos	Geólogo	-	Processamento e interpretação de dados de campo.	
Marcia Ito Tahanashi	Gestão Ambiental	-	Caracterização da área afetada.	
Joyce Santana	Gestão Ambiental	-	Caracterização da área afetada.	
Marina Fioravanti Costa	Engenheira Ambiental	-	Apoio da elaboração de relatórios.	
Ruy Monteiro	Geógrafo	-	Produtos cartográficos e geoprocessamento	

11 Referências Bibliográficas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10007:2004. Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15492:2007. Sondagem de reconhecimentos para fins de qualidade ambiental – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- AMPLO. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) Integrado do Complexo Germano. Diagnóstico do Meio Biótico. 2017
- AMPLO (2017a). EIA Integrado do Complexo Germano. Volume 1: Apresentação, Caracterização do Empreendimento, Requisitos Legais, Áreas de Influência. Belo Horizonte, agosto de 2017.
- AMPLO (2017b). Memorial Descritivo do Eixo 1 e Ações de Controle Ambiental para Execução da Obra do Dique Eixo 1. Complexo Germano, Samarco. Belo Horizonte, dezembro de 2017.
- ANTÔNIO, de C.A. . Fertilidade do Solo e Recomendação de Adubação e Calagem. E-Tec Brasil – Solos.
- APLYSIA. Avaliação Ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da Barragem do Fundão. Relatório Técnico nº897/2017 Revisão 02. 2017
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil physics. New York: J. Wiley, 1972. 498 p.
- BRANCO, M.B. Os solos. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Os-Solos-2620.html>. Acesso em: 17 de janeiro de 2018.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº420, de 28 de dezembro de 2009.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.
Resolução CONAMA nº454, de 01 de novembro de 2012.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Brasília, 2012.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação / Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Víctor Hugo Alvarez V., Editores. – Viçosa, MG, 1999. 359p. : il.

CH2M - Identificação dos Depósitos e Avaliação da Espessura de Rejeito na Calha do Rio Gualaxo do Norte, Junho de 2017.

CH2M. Plano de Manejo de Rejeito Revisão 01. 2017.

DE-POLLI, H. Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro. Itaguaí: Editora Universidade Rural, 1988. 179p

ECONSERVATION. Levantamento Florístico nas Margens dos Cursos D'água Afetadas pelo Rompimento da Barragem da Samarco em Mariana/MG. Relatório Técnico – RT ECV 025/17 Revisão 00. 2017a

ECONSERVATION. Programa de Monitoramento da Ictiofauna do Rio Doce nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo – Atendimento a Notificação IBAMA no 678311/2015 e TTAC (Termo de Transação e Ajustamento de Conduta), alínea “a”. 2017b.

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. 2017. Zoneamento Ambiental Produtivo Da Bacia Hidrográfica Do Rio Gualaxo Do Norte.

EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 2012. Análise de Solo - Determinações, Cálculos e Interpretações. 2012.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2017. Relatório Operação Watu Fase III e IV – Fiscalização dos Trechos Prioritários e Não Prioritários de Recuperação Atingidos pelos Rejeitos da Barragem de Fundão.

- FERREIRA-PERUQUETTI, P. S; DE MARCO JR, P.. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil.Ç Revta bras. Zool. 19 (2): 317 – 327. 2002
- FUNDAÇÃO RENOVA. Plano de Trabalho para Estudos De Avaliação Dos Impactos Gerados Pelo Rompimento Da Barragem de Fundão Nas Unidades De Conservação - Revisão 01. 2017
- GOLDER ASSOCIATES. Investigação de Qualidade de Água, Coloides e Sedimentos no Dique S3, Dique S4 e Rio do Carmo. 2017f.
- GOLDER ASSOCIATES. Plano de Monitoramento das Intervenções Prioritárias – Resultados da 1º e 2º Campanhas e Monitoramento. 2017e.
- GOLDER ASSOCIATES. Plano de Monitoramento Quali-Quantitativo das Águas do Rio Doce e seus Tributários em Função das Intervenções. 2017b.
- GOLDER ASSOCIATES. Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos. 2017c.
- GOLDER ASSOCIATES. Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistema de Água e Sedimentos. 2017d.
- GOLDER ASSOCIATES. Relatório da Avaliação dos Impactos no Meio Físico Resultantes do Rompimento da Barragem de Fundão. 2016a
- H3M. Áreas de Projeto de Disposição de Rejeito. 2017.
- HGT Geoprocessamento Ltda. - Metodologia de topo-batimetria de rotina executada nos vales de Fundão e Santarém de outubro de 2015 a dezembro de 2017
- ESTCP, 2009 - Demonstração e Validação da Recuperação Natural Monitorada Avançada de Sites DoD (Demonstration and Validation of Enhanced Monitored Natural Recovery at DoD Sites)
- HYDROBIOLOGY & ECONSERVATION. Acoustic fish and aquatic habitat survey of the rio Doce and tributaries – may 2017 [interim data report]. 2017.

- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2017. Relatório Geral De Vistoria Operação Águas - Fase Argos - Etapa Iv.
- IPNI – International Plant Nutrition Institute. Manual Internacional de Fertilidade do Solo. 2ª edição, revisada e ampliada, 1995.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP, 2005. 344.
- LOWE-McCONNELL, R.H. 1975. Fish communities in tropical freshwater: their distribution, ecology and evolution. London: Longman. 337p.
- MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº. 166, de 29 de junho de 2011. Belo Horizonte, 2011.
- MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM/ CERH-MG 01/2008, de 05 de maio de 2008. Belo Horizonte, 2008.
- MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Belo Horizonte, 2013.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro / Wigold Bertoldo Schäffer... [et al.]. – Brasília: MMA, 2011. 96 p. : il. color. ; 29 cm. + mapas. (Série Biodiversidade, 41)
- POTAMOS – POTAMOS ENGENHARIA E HIDROLOGIA LTDA (2017). Diagnóstico Atual do Transporte de Material Defluente do Vale da Barragem do Fundão. Germano – Geral. Rev.: 0. Ref: POTSAM0023-001-1-TC-RTE-0001. Janeiro de 2017
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- RIBEIRO, D.R.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, MG.G.B.F; SAMPAIO, F.M.T.S. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. Ciência Agrotec., Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago., 2007.

RIGOTTI, J.A.; POMPEO, C.A. Assessment of Urban Stream Condition: Case Study. 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 11-16 September 2011. 2011.

SAMARCO – SAMARCO Mineração S.A. (2017). Vale do Fundão. Barragem do Eixo 1. Justificativa do Caráter Emergencial da Construção da Barragem do Eixo 1. Germano – Geral. Versão para conhecimento. Rev.: 0. Ref: G103600-O-2RT001. Março de 2017.

SANTOS, J.A.D.; FERREIRA, F.F.; PINHO, F.M. Primeiro levantamento de ictiofauna da bacia do rio Doce após o rompimento da barragem de rejeito da Samarco, em Mariana-MG. Universidade Federal de Viçosa. 2017.

SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais. Website: <<http://www.zee.mg.gov.br/>> . Acessado em 21/12/2017.

12 Anexos