



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO



Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
1/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001



REV.
00

Revisão	Tipo de Emissão	Descrição	Verificado por	Aprovado por	Data
0A	14	PRELIMINAR	FARM	HAM	01/02/2019
0B	B	ATENDENDO A COMENTÁRIOS	FARM	HAM	11/04/2019
00	13	APROVADO	FARM	HAM	24/04/2019



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 2/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	6
1.1	APRESENTAÇÃO	6
2	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	7
3	PREMISSAS ADOTADAS.....	8
4	DESCRIÇÃO DA BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA.....	9
4.1	SITUAÇÃO ATUAL	9
4.2	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	10
4.3	DESCRIÇÃO DO VALE A JUSANTE	11
5	METODOLOGIA EMPREGADA.....	12
5.1	CASOS ANALISADOS.....	13
5.2	FORMAÇÃO DA BRECHA.....	14
5.3	MATERIAL PROPAGADO E DEFINIÇÃO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA ...	18
5.4	MODELAGEM PARA FLUIDOS HIPERCONCENTRADOS.....	24
5.5	ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	26
5.5.1	Geral	26
5.5.2	Chuvas de Projeto.....	26
5.5.3	Cálculo das Vazões de Projeto	28
5.5.4	Ruptura da Barragem.....	30
6	RESULTADOS OBTIDOS	31
6.1	CENÁRIO 1 – RUPTURA POR GALGAMENTO	31
6.2	CENÁRIO 2 - RUPTURA POR <i>PIPING</i>	34
6.3	CENÁRIO 3 - RUPTURA POR <i>PIPING (70%)</i>	38
6.4	CENÁRIO 4 - RUPTURA POR <i>PIPING (50%)</i>	42
6.5	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	46

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 3/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

7	ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONSEQUÊNCIAS DAS RUPTURAS OBTIDAS	47
7.1	CENÁRIO 1 - RUPTURA POR GALGAMENTO	47
7.2	CENÁRIOS 2, 3 E 4 - RUPTURA POR <i>PIPING</i>	50
7.3	EFEITOS DA RUPTURA DA BARRAGEM CACHOEIRINHA NA BARRAGEM DO MIGUELÃO.....	54
7.4	ÁREAS AFETADAS PELA ONDA DE CHEIA MÁXIMA.....	56
8	ÁREA DE AUTOSSALVAMENTO	65
9	CONCLUSÕES.....	67
10	EQUIPE TÉCNICA.....	69
11	ANEXOS.....	70
11.1	CURVA COTA X VOLUME DO RESERVATÓRIO	71
11.2	ENSAIOS DE LABORATÓRIO DO SEDIMENTO	73
11.3	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO FLUXO HIPERCONCENTRADO	82
11.4	DESENHOS	83
11.5	CADASTRO DA POPULAÇÃO POTENCIALMENTE ATINGIDA NA ZAS - ZONA DE AUTOSSALVAMENTO	86

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO	Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 4/107	
	Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Vista da Barragem de Rejeitos Cachoeirinha.....	6
Figura 4.1 – Levantamento Topográfico da Área a Jusante da Barragem Cachoeirinha.....	11
Figura 5.1 – Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por Galgamento (Cenário 1)	16
Figura 5.2– Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	17
Figura 5.3– Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por <i>Piping</i> (70%) (Cenário 3)	17
Figura 5.4– Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por <i>Piping</i> (50%) (Cenário 4)	18
Figura 5.5 – Frequência das Chuvas Máximas Diárias.....	28
Figura 5.6 – Hidrogramas das Cheias Afluentes ao Reservatório.....	30
Figura 6.1 - Hidrogramas de Cheia - Ruptura por Galgamento (Cenário 1).....	31
Figura 6.2 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por Galgamento (Cenário 1)	32
Figura 6.3 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1).....	34
Figura 6.4 - Hidrogramas de Cheia - Ruptura por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	35
Figura 6.5 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	36
Figura 6.6 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	38
Figura 6.7 - Hidrogramas de Cheia - Ruptura por <i>Piping</i> (70%) (Cenário 3).....	39
Figura 6.8 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por <i>Piping</i> (70%) (Cenário 3)	40
Figura 6.9 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por <i>Piping</i> (70%) (Cenário 3).....	42
Figura 6.10 – Hidrogramas de Cheia - Ruptura por <i>Piping</i> (50%) (Cenário 4).....	43
Figura 6.11 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por <i>Piping</i> (50%) (Cenário 2).....	44
Figura 6.12 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por <i>Piping</i> (50%) (Cenário 2).....	46
Figura 7.1 - Área de Inundação - Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1)	57
Figura 7.2 - Tempo de Chegada da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1).....	58
Figura 7.3 - Profundidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1).....	59
Figura 7.4 - Velocidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1).....	60
Figura 7.5 - Área de Inundação - Ruptura da Barragem Cachoeirinha por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	61





		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 5/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Figura 7.6 - Tempo de Chegada da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	62
Figura 7.7 - Profundidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	63
Figura 7.8 - Velocidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por <i>Piping</i> (Cenário 2).....	64
Figura 8.1 – Localização da Zona de Autossalvamento (ZAS)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Características Físicas da Barragem Cachoeirinha e do Dique Lisa	10
Tabela 5.1 - Seções Topográficas a Jusante da Barragem Cachoeirinha	13
Tabela 5.2 – Parâmetros das Brechas	15
Tabela 5.3 – Concentração Volumétrica	19
Tabela 5.4 – Resumo dos Volumes Mobilizados para Jusante.....	23
Tabela 5.5 - Propriedades do Fluxo Hiperconcentrado.....	25
Tabela 5.6 – Registros de Chuvas Máximas Diárias e Resultados das Distribuições de Frequência	27
Tabela 5.7 – Precipitações de 24 horas por Tempo de Recorrência (TR)	29
Tabela 5.8 – Características Fisiográficas da Bacia da Barragem Cachoeirinha.....	29
Tabela 5.9 – Resultados das Cheias de Projeto – Barragem Cachoeirinha	29
Tabela 5.10 – Pico de Cheia Afluente ao Reservatório de Cachoeirinha.....	30
Tabela 6.1 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 1)	33
Tabela 6.2 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 2)	37
Tabela 6.3 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 3)	41
Tabela 6.4 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 4)	45
Tabela 6.5 - Comparativa para os Cenários de Ruptura Simulados para Barragem Cachoeirinha	47
Tabela 7.1 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por Galgamento (Cenário 1).....	49
Tabela 7.2 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por <i>Piping</i> (Cenário 2)	51
Tabela 7.3 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por <i>Piping</i> (Cenário 3)	53
Tabela 7.4 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por <i>Piping</i> (Cenário 4)	53
Tabela 7.5 – Curvas de Descarga dos Dispositivos Extravadores	54
Tabela 7.6 – Curva Cota x Área	55
Tabela 7.7 - Níveis no Reservatório de Miguelão.....	55

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 6/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Este documento é parte integrante dos estudos de DAM BREAK da Barragem de Rejeitos Cachoeirinha, de propriedade da Vallourec Mineração Ltda.

No estudo ora apresentado, foi simulada a ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha, El. 1.375,00 m, no município de Nova Lima/MG.



Esta avaliação visa atender à Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017, tendo sido realizada com base em visita de inspeção ao local, no projeto executivo e na documentação técnica fornecida pela Vallourec.

O estudo foi elaborado com base na restituição aerofotogramétrica e no levantamento topobatimétrico, elaborado pela Terradata Ltda. em outubro/2018, no sistema geodésico SIRGAS2000.

Na Figura 1.1 é apresentada a localização da Barragem Cachoeirinha.





Figura 1.1 – Vista da Barragem de Rejeitos Cachoeirinha

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 7/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para elaboração do estudo, foram consultados os seguintes documentos:

- VMN-002-MTO-CVBC-RT-18 (CAG-C-BC -RE-001) – Revisão Periódica de Segurança da Barragem de Rejeitos Cachoeirinha - Relatório de Inspeção de Segurança Regular – elaborado pela Dam Projetos de Engenharia, em março/2018;
- RT-GTR-1811-R00 ENSAIOS GEÓTECNICOS – Ensaio geotécnicos no reservatório das barragens Cachoeirinha, Lisa e Santa Bárbara – elaborado pela Geothra Geologia e Geotecnia, em outubro/2018;
- MN-612-RL-15348-00 - Projeto Executivo Alçamento do Reservatório de Rejeitos do Cachoeirinha - EL. 1.375,00 m – elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria Ltda., em novembro/2008;
- SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS - Seções topobatimétricas levantadas ao longo do vale a jusante da Barragem Cachoeirinha - elaborado pela Terradata, em dezembro/2018;
- TOPOGRAFIA_1m – Restituição aerofotogramétrica do vale a jusante da Barragem Cachoeirinha - elaborado pela Terradata, em dezembro/2018;
- TP-0001-17-08-29-FSB_MR-MTO-CV – Levantamento topográfico e locação dos Marcos de Recalque FSB, fornecido pela Vallourec, em fevereiro/2018;
- CBQ-C-BM-RE-001 (AA-145-DM-0980-267-RT-001) – Barragem do Miguelão – Inspeção de Segurança Regular de Barragens – Relatório Técnico - elaborado pela Dam Projetos de Engenharia, em outubro/2018.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 8/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

3 PREMISSAS ADOTADAS

Nesse estudo, foram efetuadas análises considerando as condições atuais da Barragem Cachoeirinha, com crista na El. 1.375,00 m, com o reservatório preenchido com água e rejeitos, admitindo a variação do N.A. para os níveis: El. 1.375,00 m e El. 1.371,50 m, considerando a capacidade máxima atual de armazenamento, e: El. 1.366,30 m e El. 1.362,30 m, correspondente à capacidade de armazenamento de 70% e 50%, respectivamente.



O presente estudo simula a ruptura isolada da Barragem Cachoeirinha, assim como a ruptura conjunta (em cascata) do Dique Lisa, de propriedade da Vallourec, situada a jusante, uma vez que a ruptura da primeira pode provocar a ruptura da segunda.

Neste estudo são avaliados também os efeitos da ruptura da Barragem Cachoeirinha no reservatório da Barragem do Miguelão, de propriedade Anglogold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S.A. – AGACSM, situada a jusante.

Ressalta-se que, são apresentadas as áreas atingidas pela onda de cheia, não sendo apresentados, no entanto, os impactados ambientais (químicos e biológicos) ocasionados pela ruptura.

Os cenários de ruptura estudados para cada hipótese são apresentados a seguir:

- Cenário 1: ruptura da Barragem Cachoeirinha por galgamento (*overtopping*), no qual o nível de água atinge a crista da barragem, El. 1.375,00 m, em decorrência da precipitação decamilenar de projeto e de falha no sistema extravasador;
- Cenário 2: ruptura da Barragem Cachoeirinha por erosão interna (*piping*) considerando o reservatório na El. 1.371,50 m, onde a ruptura tem início pelo corpo do aterro;
- Cenário 3: ruptura da Barragem Cachoeirinha por erosão interna (*piping*) considerando o reservatório com a capacidade de armazenamento de 70% na El. 1.366,30 m, onde a ruptura tem início pelo corpo do aterro;
- Cenário 4: ruptura da Barragem Cachoeirinha por erosão interna (*piping*) considerando o reservatório com a capacidade de armazenamento de 50% na El. 1.362,30 m, onde a ruptura tem início pelo corpo do aterro.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 9/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Ressalta-se que, para as hipóteses de ruptura por *piping* foi considerada a precipitação TR = 1.000 anos.

O Cenário 1 representa a situação mais crítica, por apresentar maior volume de água e rejeitos mobilizados para jusante.

Importante ressaltar que os estudos apresentados são hipotéticos e que a probabilidade de ruptura da mesma é remota.

4 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA

4.1 SITUAÇÃO ATUAL



A Barragem Cachoeirinha foi construída em um vale seco, a montante da BR-040, próximo ao trevo para Ouro Preto, sobre as coordenadas 7.771.316,45 N 608.058,25 E. A mesma foi construída para armazenar os rejeitos produzidos pela planta do processamento de minério. Na Figura 1.1 é apresentada a imagem aérea da Barragem Cachoeirinha.

A barragem foi executada em 6 (seis) etapas, com alteamentos para jusante. O dique de partida, construído em 2004, com crista na El. 1.356,00 m apresentava coroamento com 460 m de comprimento, 15,0 de largura e 26,0 m de desnível.

A crista da barragem encontra-se na El. 1.375,00 m, com 8,0 m de largura e aproximadamente 1.273,0 m de comprimento. A barragem com desnível máximo de 45,0 m possui 1.273,0 m de extensão e crista com 8,0 m de largura. O talude de montante possui inclinação intermediária igual a 1V:1,5H e o talude de jusante com inclinação intermediária igual 1V:2H. As bermas intermediárias possuem 7,0 m de largura a cada 10,0 m. de desnível.

O sistema extravasor foi prolongado sob o aterro da barragem através de tubulação de concreto de 1,0 m de diâmetro, sendo executado em sua saída um aterro para proteção do pé da barragem, com saída da tubulação afastada em 10 m aproximadamente da saia da barragem, interligada a seção retangular de 1,20 m x 1,20 m em blocos armados.

Atualmente o reservatório encontra-se na e El. 1.368,45 m.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 10/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

As características físicas principais da Barragem Cachoeirinha e do Dique Lisa são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características Físicas da Barragem Cachoeirinha e do Dique Lisa

Eixo	El. Crista (m)	N.A. (m)	Volume Total do Reservatório na El. Coroamento (m ³ x 10 ³)	Volume do Reservatório na Soleira do Vertedouro (m ³ x 10 ³)	Altura (m) ⁽¹⁾
Cachoeirinha	1.375,00	1.368,45	3.436,47	2.938,13	45,00
Lisa	1.321,00	1.319,00	192,46	123,01	12,00

⁽¹⁾ Desnível máximo entre a elevação do coroamento da barragem e o nível da fundação na projeção vertical da crista.

Para os cenários 2 e 3 foi considerado o volume do reservatório correspondente à capacidade de armazenamento de 70% e 50% de rejeitos.

4.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

A área a jusante da Barragem Cachoeirinha delimitada nos estudos de Dam Break, corresponde ao trecho entre o eixo do barramento, abrangendo o vale do córrego Cachoeirinha, até a jusante da Barragem do Miguelão. Essa delimitação serviu como subsídio para definição da área restituída no levantamento topográfico utilizado neste estudo. A definição desta área levou em consideração a ZAS (zona de autossalvamento) e ZSS (zona de salvamento secundária).

O estudo foi elaborado com base na restituição aerofotogramétrica atualizada, elaborada pela Terradata Ltda., em outubro de 2018, e no levantamento topobatimétrico do córrego Cachoeirinha, elaborado pela Fertop Ltda., em novembro de 2018. A Figura 4.1 mostra a região contemplada pelo levantamento topográfico, com curvas de níveis espaçadas em 1 metro, no sistema geodésico SIRGAS2000, conforme apresentado no desenho CBV-C-BC-DE-201. A área total do levantamento topográfico equivale a 1.353,00 ha.

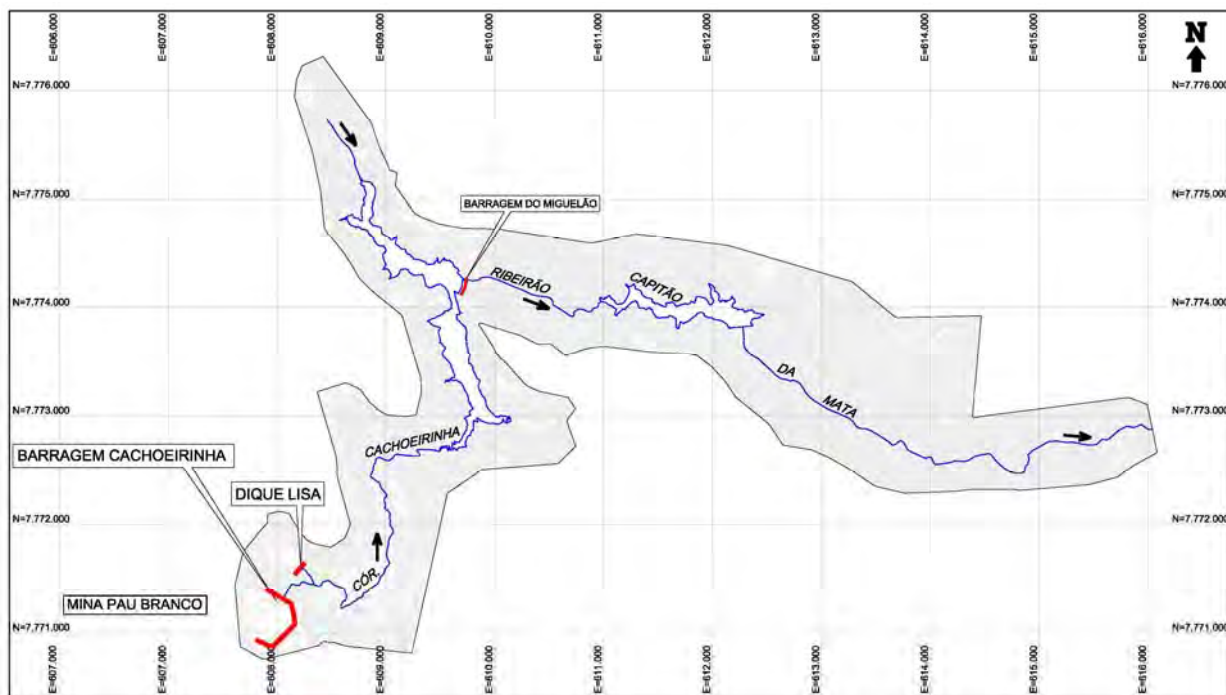




Figura 4.1 – Levantamento Topográfico da Área a Jusante da Barragem Cachoeirinha

As ortofotos de alta resolução geradas para o levantamento topográfico, foram capturadas por Drones automatizados com GPS embarcados, no qual o controlador em local fixo, é responsável pela decolagem e pouso do equipamento. O equipamento utilizado está homologado como equipamento de voo profissional pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Durante os levantamentos, foram capturados pontos de controles de referência em locais estratégicos, com GNSS RTK para georreferenciamento das imagens.

Todos os trabalhos executados pela equipe de campo foram considerados como referência básica os vértices de primeira ordem do IBGE, homologados junto ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, o referencial planimétrico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000 e as informações dos marcos topográficos fornecidos pela Vallourec.

4.3 DESCRIÇÃO DO VALE A JUSANTE

A área potencialmente atingida pela onda de cheia máxima, no caso da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha, abrange o vale do córrego Cachoeirinha, em um trecho de 5,30 km, conforme apresentado na Figura 4.1. O estudo foi limitado a este ponto uma vez que as cheias

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 12/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

artificiais provocadas pela ruptura hipotética da barragem seriam amortecidas pelo sistema extravasor da Barragem de Miguelão situada a jusante.

Conforme a análise de imagens do aerolevante e visitas ao local, a área potencialmente afetada pela propagação da onda de ruptura da Barragem Cachoeirinha é composta predominantemente vegetação rasteira, ao longo do percurso do córrego Cachoeirinha. O trecho de propagação da onda de cheia, abrange a área operacional da Mina Pau Branco, incluindo o Dique Lisa, a rodovia BR-040 e o reservatório da Barragem do Miguelão de propriedade da AngloGold Ashanti.

5 METODOLOGIA EMPREGADA



Os estudos foram realizados simulando-se a abertura de uma brecha no corpo do maciço da Barragem Cachoeirinha, com a liberação de uma onda de cheia para jusante. Foram determinadas as vazões máximas, as velocidades de escoamento, as profundidades e os níveis máximos alcançados pela onda de cheia a jusante.

As simulações foram realizadas através dos seguintes programas:

- HEC-HMS versão 4.2.1, desenvolvido pelo U.S. Corps of Engineers, para definição do hidrograma resultante da ruptura da barragem;
- HEC-RAS versão 5.0.3, desenvolvido pelo U.S. Corps of Engineers, para propagação bidimensional da onda de cheia resultante da ruptura da barragem, para condição de fluido hiperconcentrado;
- ArcGIS versão 10.5, desenvolvido ESRI, para definição do Modelo Digital de Elevação (MDE) e elaboração dos mapas com as envoltórias de inundação;
- AutoCAD versão 2018, desenvolvido pela Autodesk, para elaboração e apresentação final dos mapas com as envoltórias de inundação.

O estudo elaborado avalia e acompanha a propagação da onda de cheia ao longo do vale a jusante da Barragem Cachoeirinha, em um trecho de 5,30 km.

Para avaliação dos resultados obtidos na propagação da onda de cheia máxima, neste estudo foram consideradas 8 (oito) seções topográficas, localizadas nos pontos críticos ao longo dos

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 13/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

vales a jusante da barragem no córrego Cachoeirinha. A locação das seções situadas nas áreas de maior risco é apresentada nos desenhos CBV-C-BC-DE-101 e CBV-C-BC-DE-201.

Para obtenção das chuvas máximas diárias e análise de frequência foi utilizada os dados do posto 02043002, Lagoa Grande, localizado no município de Nova Lima, com 76 (setenta e seis) registros de chuvas máximas diárias no período de 1941/1942 a 2016/2017, conforme apresentados no item 5.5. A estação é operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), localizada a aproximadamente 3,80 km da Mina Pau Branco.

Na Tabela 5.1, são apresentadas a localização e a descrição das seções topográficas utilizadas no estudo. A locação das mesmas é apresentada no desenho CBV-C-BC-DE-101.

Tabela 5.1 - Seções Topográficas a Jusante da Barragem Cachoeirinha



Seção	Distância da Barragem (m)	Descrição do Curso de Água
Eixo	0	Córrego Cachoeirinha
100	134	Córrego Cachoeirinha
90	312	Córrego Cachoeirinha
80	447	Córrego Cachoeirinha
70	593	Córrego Cachoeirinha
60	722	Córrego Cachoeirinha
50	1.479	Córrego Cachoeirinha
45 ⁽¹⁾	2.004	Córrego Cachoeirinha
40	2.887	Córrego Cachoeirinha
30	3.390	Córrego Cachoeirinha

(¹) Seção topobatimétrica obtida na base topográfica.

5.1 CASOS ANALISADOS

Para a avaliação dos efeitos da onda de cheia máxima formada pela ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha, foram analisadas as hipóteses de ruptura por galgamento e *piping* para os diferentes níveis do reservatório.

Para a hipótese de ruptura da barragem por *piping*, foi analisada a ocorrência de cheia para um período de retorno TR = 1.000 anos, para os diferentes níveis do reservatório El. 1.372,05 m, El. 1.366,30 m e El. 1.362,30 m, e o processo de erosão interna (*piping*) com início pelo corpo do aterro.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 14/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Para a hipótese de ruptura da barragem por galgamento foi considerada a ocorrência simultânea de uma cheia com TR=10.000 anos e o reservatório na capacidade máxima, admitindo a hipótese de falha no sistema extravasor.

5.2 FORMAÇÃO DA BRECHA

As características geométricas das brechas, assim como o tempo de formação das mesmas, para todas as hipóteses de ruptura foram determinadas com base nas recomendações de *Guidelines For Dam Breach Analysis, 2010 – State of Colorado – Department of Natural Resources – Division of Water Resources – Dam Safety Branch* e do *Manual BOSS DAMBRK*, desenvolvido pela *Boss International Inc., 2000*. Levou-se também em consideração as características geométricas específicas da Barragem Cachoeirinha e do vale onde a mesma se encontra.

As equações adotadas para determinação dos parâmetros das brechas são apresentadas a seguir. Ressalta-se que, para efeito de cálculo, as mesmas se encontram no sistema de unidades americano e, posteriormente, os resultados obtidos foram convertidos para o sistema internacional de unidades.

- Base da brecha (B_b)

$$B_b = 8,239 K_o V_w^{0,32} H_b^{0,04},$$

Sendo:

V_w = Volume do reservatório (*acre-feet*)



H_b = Altura da barragem (*feet*)

$K_o = 1,0$ para *piping*

$K_o = 1,3$ para *overtopping*

- Tempo de formação da brecha (T_f)

$$T_f = 3,664 \sqrt{\frac{V_w}{g H_b^2}},$$

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 15/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Sendo:

V_w = Volume do reservatório (*acre-feet*)

H_b = Altura da barragem (*feet*)

g = aceleração da gravidade (*ft/s²*)

Neste estudo considerou-se a formação da brecha hipotética na região central do maciço. A elevação da soleira da brecha, para todos os cenários, equivale à El. 1.356,00 m, correspondente à elevação da crista do dique de partida.

A seguir são apresentadas as características específicas das brechas adotadas para cada hipótese de ruptura:

Tabela 5.2 – Parâmetros das Brechas

Parâmetros	Cenário 1 (Ruptura por galgamento)	Cenário 2 (Ruptura por <i>piping</i>)	Cenário 3 (Ruptura por <i>piping</i> – 70%)	Cenário 4 (Ruptura por <i>piping</i> – 50%)
N.A do reservatório (m)	1.375,00	1.371,50	1.366,30	1.362,30
Elevação do topo da brecha (m)	1.375,00	1.375,00	1.375,00	1.375,00
Elevação da soleira da brecha (m)	1.356,00	1.356,00	1.356,00	1.356,00
Posição da brecha no maciço	Central	Central	Central	Central
H_b (m)	19,00	19,00	19,00	19,00
H_w (m)	19,00	16,05	10,30	6,30
V_w (m ³)	3.436.473	2.850.834	1.995.584 ⁽¹⁾	1.425.417 ⁽²⁾
k_0	1,30	1,00	1,30	1,30
Z	1,00	0,70	0,70	0,70
B_{avg} (m)	48,80	35,30	31,50	28,30
B_b (m)	29,80	15,00	10,00	15,00
B_t (m)	67,80	48,60	44,80	41,60
Elevação inicial (m)	1.375,00	1.363,75	1.361,15	1.359,15
Coefficiente da Brecha	1,70	0,6	0,6	0,6
T_f (h)	1,25	1,00	1,00	1,00
Inclinação dos taludes laterais	1,0H:1,0V	0,7H:1,0V	0,7H:1,0V	0,7H:1,0V

⁽¹⁾ Nível do reservatório correspondente a 70% da capacidade de armazenamento;

⁽²⁾ Nível do reservatório correspondente a 50% da capacidade de armazenamento.

Foram adotados taludes laterais com inclinações de 0,7H:1,0V e 1,0H:1,0V na brecha da barragem, para os cenários de ruptura por piping e galgamento, respectivamente. Estes valores foram definidos com base na altura do maciço e na geometria do respectivo vale, conforme proposto por *Guidelines For Dam Breach Analysis (2010) - Tabela 2, página 13*.

O tempo de formação das brechas (T_f) foi definido em função da altura da brecha e do volume do reservatório mobilizado para jusante, para cada cenário de ruptura.

Nas Figuras 5.1 a 5.4 a seguir são apresentados os croquis e as características geométricas da brecha inicial para cada hipótese de ruptura.

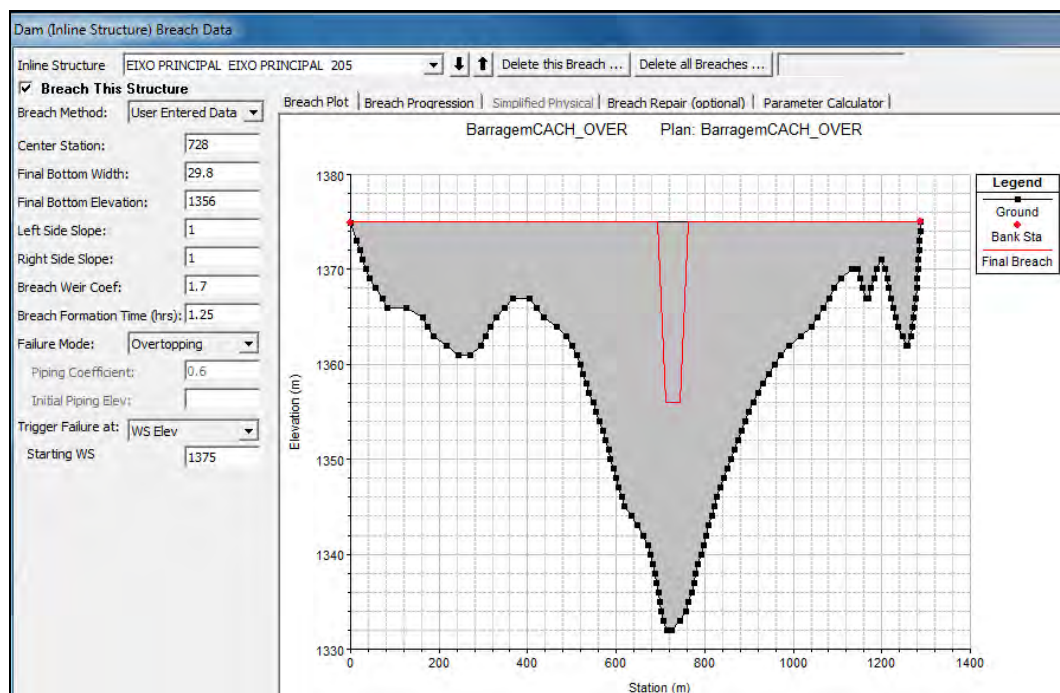


Figura 5.1 – Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por Galgamento (Cenário 1)

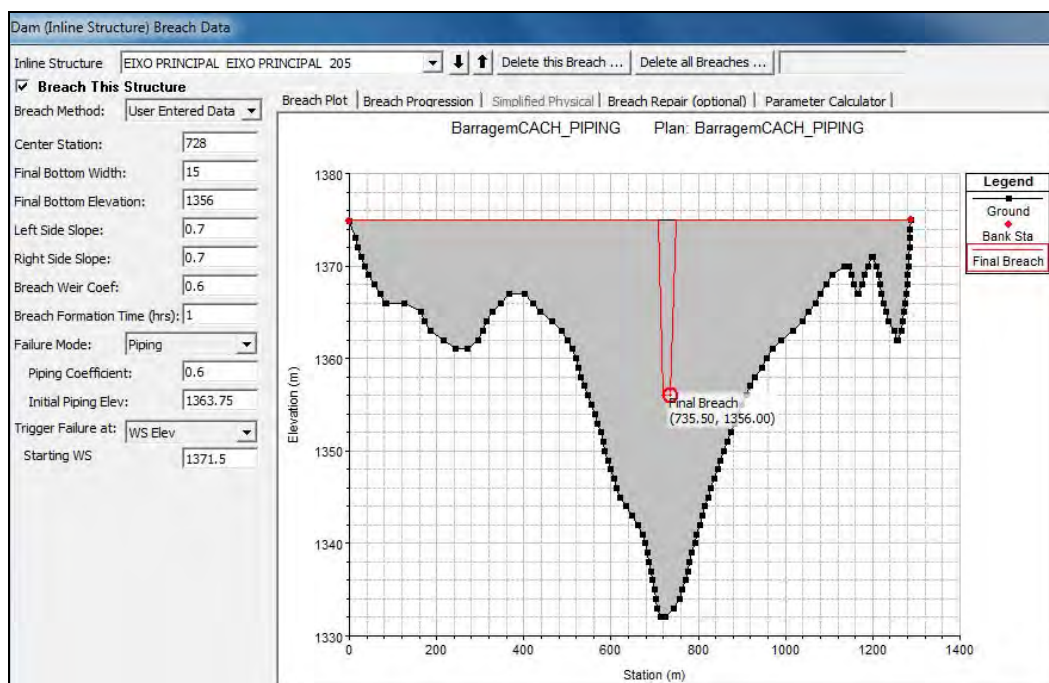


Figura 5.2– Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por Piping (Cenário 2)

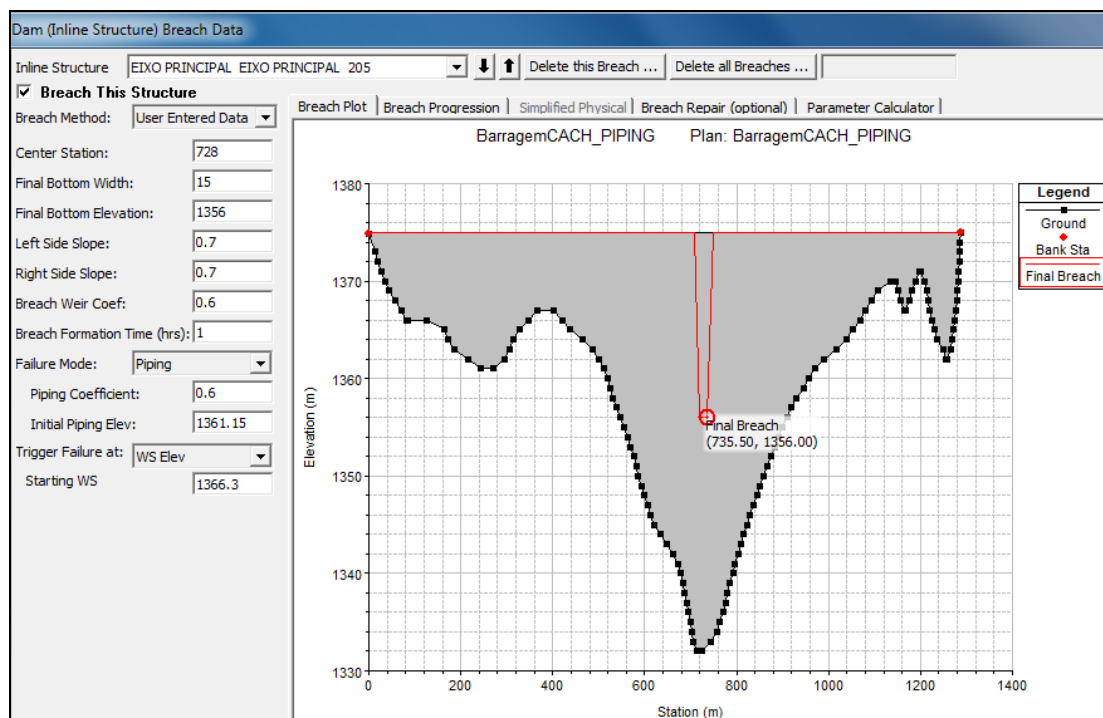


Figura 5.3– Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por Piping (70%) (Cenário 3)

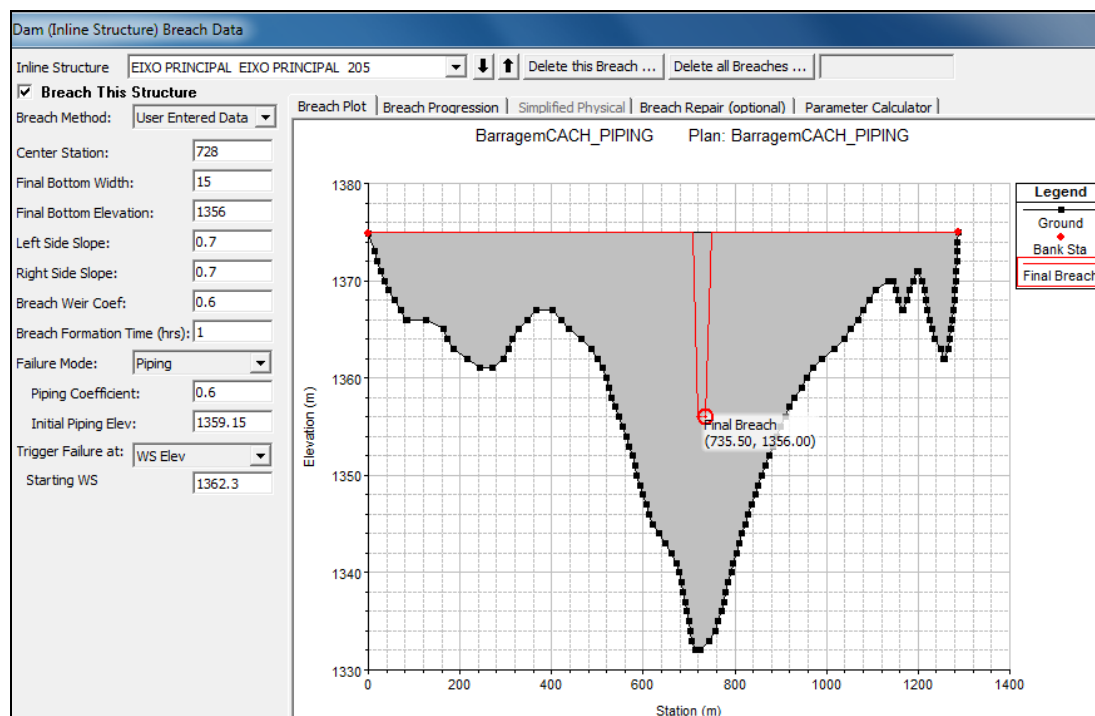




Figura 5.4– Características Geométricas da Brecha Inicial – Ruptura por *Piping* (50%) (Cenário 4)

5.3 MATERIAL PROPAGADO E DEFINIÇÃO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA

A propagação da onda de ruptura proveniente da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha é uma composição de água, rejeitos e sedimentos caracterizando um escoamento de um fluido não newtoniano, conforme *O'Brien e Julien (1984) Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows in: Specialty Conference - Delineation of Landslide, Flash Flood and Debris Flow Hazards. Utah State.*

Neste estudo considerou-se que 35,4% do volume de sólidos depositados no reservatório e o volume proveniente da formação da brecha, seriam mobilizados para jusante. Este valor foi definido com base em *Rico M. et al (2007) Floods from tailings dam failures. Madrid, Spain.*

O volume de rejeitos contido no reservatório foi definido com base em resultados de ensaios realizados pela Geothra Geologia e Geotecnia no reservatório da Barragem Cachoeirinha conforme apresentado no documento RT-GTR-1811-R00 - Ensaios Geotécnicos do Sedimento

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO	Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 19/107	
	Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00	

Depositado no Reservatório de Cachoeirinha – em outubro/2018 (ANEXO 11.2). Para este estudo, foi adotado um valor médio de TS=69,02% para o teor de sólidos armazenado no reservatório.

Para as simulações de ruptura da barragem, considerou-se a formação de um único fluido hiperconcentrado, compondo uma mistura de água e rejeitos. A concentração volumétrica (C_v) obtida para cada hipótese é apresentada na Tabela 5.3 a seguir.

Tabela 5.3 – Concentração Volumétrica

Cenário	Cenário 1 (Ruptura por galgamento)	Cenário 2 (Ruptura por <i>piping</i>)	Cenário 3 (Ruptura por <i>piping</i> – 70%)	Cenário 4 (Ruptura por <i>piping</i> – 50%)
Concentração Volumétrica (%)	34	35	42	42

A concentração volumétrica (C_v) foi definida a partir da relação entre o volume de sólidos (V_s) propagado e o volume total (V_{total}) considerado para a formação do hidrograma de ruptura da Barragem Cachoeirinha, conforme apresentado a seguir:

$$C_v = \frac{V_s}{V_{total}}$$

Sendo:

I. Cenário 1 – Ruptura por galgamento (NA El. 1.375,00 m)

- O volume de sólidos (V_s) é composto pela somatória das seguintes parcelas:

Volume de rejeitos depositados (teor de sólidos = 69,02%):

$$V_{RS} = 3.436.473 \times 69,30\% = 2.938.130 \text{ m}^3$$

$$V_{RS} \text{ (propagado) (35,4\%)} = 2.938.130 \times 35,40\% = 720.372 \text{ m}^3$$



Volume de terra mobilizado na região da brecha (considerando 30% de porosidade):

$$V_{BR} = (123.476 \times 0,70) = 86.433 \text{ m}^3$$

$$V_{BR} \text{ (propagado) (35,4\%)} = (86.433 \times 35,4\%) = 30.597 \text{ m}^3$$

O volume total de sólidos (V_s) a ser propagado será:

$$V_s = (720.372 + 30.597) = 750.969 \text{ m}^3$$

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 20/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

- O volume total (V_{total}) é composto pela somatória das seguintes parcelas:

Volume de rejeitos depositados e Volume de água:

$$V_{RS} + V_{RA} = (720.372 + 903.181) = 1.623.553 \text{ m}^3$$

Volume do material mobilizado na região da brecha:

$$V_{BR} = 67.640 \text{ m}^3$$

Volume de cheias (volume do hidrograma afluente):

$$V_{HC} = 498.343 \text{ m}^3$$

O volume total (V_{total}) do hidrograma efluente a ser propagado será:

$$V_{total} = (1.623.553 + 67.640 + 498.343)$$

$$V_{total} = 2.189.536 \text{ m}^3$$

- A concentração volumétrica foi definida a partir da relação a seguir:

$$Cv = 750.969 / 2.189.536$$

$$Cv = 0,34$$

II. Cenário 2 – Ruptura por *piping* (NA El. 1.371,50 m)

- O volume de sólidos (V_s) é composto pela somatória das seguintes parcelas:

Volume de sedimentos depositados (teor de sólidos = 69,02%):

$$V_{RS} = 2.938.129 \times 69,02\% = 720.372 \text{ m}^3$$

$$V_{RS} \text{ (propagado) } (35,4\%) = 720.372 \times 35,4\% = 255.012 \text{ m}^3$$

Volume de terra mobilizado na região da brecha (considerando 30% de porosidade):

$$V_{BR} = (71.662 \times 0,70) = 50.163 \text{ m}^3$$



$$V_{BR} \text{ (propagado) } 35,4\% = (50.163 \times 35,4\%) = 17.758 \text{ m}^3$$

O volume total de sólidos (V_s) a ser propagado será:

$$V_s = (255.012 + 17.758) = 738.130 \text{ m}^3$$

- O volume total (V_{total}) é composto pela somatória das seguintes parcelas:

Volume de sedimentos depositados e Volume de água:

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 21/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

$$V_{RS} + V_{RA} = (720.372 + 903.181) = 1.623.553 \text{ m}^3$$

Volume do material mobilizado na região da brecha:

$$V_{BR} = 39.256 \text{ m}^3$$

Volume de cheias (volume do hidrograma afluente):

$$V_{HC} = 432.953 \text{ m}^3$$

O volume total (V_{total}) do hidrograma efluente a ser propagado será:

$$V_{total} = (1.623.553 + 39.256 + 432.953)$$

$$V_{total} = 2.095.762 \text{ m}^3$$

- A concentração volumétrica foi definida a partir da relação a seguir:

$$Cv = 738.130 / 2.095.762$$

$$Cv = 0,35$$

III. Cenário 3 – Ruptura por *pipinq* (NA El. 1.366.30 m)

- O volume de sólidos (V_s) é composto pela somatória das seguintes parcelas:

Volume de sedimentos depositados (teor de sólidos = 69,02%):

$$V_{RS} = 1.995.584 \times 69,02\% = 1.377.352 \text{ m}^3$$

$$V_{RS} \text{ (propagado)} (35,4\%) = 1.377.352 \times 35,4\% = 487.583 \text{ m}^3$$

Volume de terra mobilizado na região da brecha (considerando 30% de porosidade):

$$V_{BR} = (79.787 \times 0,70) = 55.851 \text{ m}^3$$

$$V_{BR} \text{ (propagado)} 35,4\% = (55.851 \times 35,4\%) = 19.771 \text{ m}^3$$

O volume total de sólidos (V_s) a ser propagado será:



$$V_s = (487.583 + 19.771) = 507.354 \text{ m}^3$$

- O volume total (V_{total}) é composto pela somatória das seguintes parcelas:

Volume de sedimentos depositados e Volume de água:

$$V_{RS} + V_{RA} = (487.583 + 613.442) = 1.101.025 \text{ m}^3$$

Volume do material mobilizado na região da brecha:

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 22/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

$$V_{BR} = 43.707 \text{ m}^3$$

Volume de cheias (volume do hidrograma afluente):

$$V_{HC} = 52.800 \text{ m}^3$$

O volume total (V_{total}) do hidrograma efluente a ser propagado será:

$$V_{total} = (1.101.025 + 43.707 + 52.800)$$

$$V_{total} = 1.197.532 \text{ m}^3$$

- A concentração volumétrica foi definida a partir da relação a seguir:

$$C_v = 507.354 / 1.197.532$$

$$C_v = 0,42$$

IV. Cenário 4 – Ruptura por *piping* (NA El. 1.362,30 m)

- O volume de sólidos (V_s) é composto pela somatória das seguintes parcelas:

Volume de sedimentos depositados (teor de sólidos = 69,02%):

$$V_{RS} = 1.425.417 \times 69,02\% = 983.538 \text{ m}^3$$

$$V_{RS} \text{ (propagado) } (35,4\%) = 983.538 \times 35,4\% = 348.272 \text{ m}^3$$

Volume de terra mobilizado na região da brecha (considerando 30% de porosidade):

$$V_{BR} = (71.662 \times 0,70) = 50.163 \text{ m}^3$$

$$V_{BR} \text{ (propagado) } 35,4\% = (50.163 \times 35,4\%) = 17.758 \text{ m}^3$$

O volume total de sólidos (V_s) a ser propagado será:

$$V_s = (348.272 + 17.758) = 366.031 \text{ m}^3$$

- O volume total (V_{total}) é composto pela somatória das seguintes parcelas:



Volume de sedimentos depositados e Volume de água:

$$V_{RS} + V_{RA} = (348.272 + 438173) = 786.446 \text{ m}^3$$

Volume do material mobilizado na região da brecha:

$$V_{BR} = 39.256 \text{ m}^3$$

Volume de cheias (volume do hidrograma afluente):

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
		BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO	Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

$$V_{HC} = 52.800 \text{ m}^3$$

O volume total (V_{total}) do hidrograma efluente a ser propagado será:

$$V_{total} = (786.446 + 39.256 + 52.800)$$

$$V_{total} = 878.502 \text{ m}^3$$

- A concentração volumétrica foi definida a partir da relação a seguir:

$$C_v = 366.031 / 878.502$$



$$C_v = 0,42$$

A Tabela 5.4 a seguir apresenta um resumo dos volumes mobilizados para jusante, para cada cenário de ruptura estudado.

Tabela 5.4 – Resumo dos Volumes Mobilizados para Jusante

Volumes (m ³)	Cenário 1 (galgamento)	Cenário 2 (<i>piping</i>)	Cenário 3 (<i>piping</i> 70%)	Cenário 4 (<i>piping</i> 50%)
Volume Total de Rejeitos no Reservatório	3.436.473	2.938.129	1.995.584	1.425.417
- Volume de Sólidos Armazenado (V_S) 69,0%	2.938.130	2.027.897	1.377.352	983.538
- Volume de Água Contida nos Rejeitos (V_A) 31,9%	903.181	903.181	613.442	438.173
Volume Total da Brecha (V_{BR})	123.476	71.662	79.787	71.662
Volume de Cheia Afluente ⁽¹⁾	498343	432.953	52.800	52.800
Volume Total Mobilizado para Jusante	2.189.536	2.095.762	1.197.532	879.714
- Volume de Rejeitos (35,4% V_S)	720.372	720.372	487.583	348.172
- Volume de Água Mobilizado (V_A)	903.181	903.181	613.442	438.173
- Volume Mobilizado da Brecha (35,4% V_{BR})	67.640	39.256	43.707	39.256
- Volume de Cheia Afluente	498.343	432.953	52.800	52.800

⁽¹⁾ Volume de água resultante da cheia afluente ao reservatório correspondente a TR=1.000 anos para os cenários 2, 3 e 4; e TR=10.000 anos para o cenário 1.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 24/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

5.4 MODELAGEM PARA FLUIDOS HIPERCONCENTRADOS

Para a propagação da onda de ruptura a jusante da barragem, foi utilizado o modelo hidráulico bidimensional do HEC-RAS 5.0.3, aplicável a escoamentos não permanentes, com intervalo de tempo computacional (Δt) o valor de 5 segundos e malha de 4 x 4 m.

Para representar o fluxo efluente da ruptura da Barragem Cachoeirinha, a metodologia adotada para este modelo será a propagação do fluido hiperconcentrado através da definição e ajuste dos parâmetros do modelo hidráulico bidimensional HEC-RAS 5.0.3.

A metodologia adotada neste estudo segue os critérios propostos por *Sediment/Debris Bulking Factors and Post-fire Hydrology for Ventura-County - Final Report - West Consultants, inc Ventura County Watershed Protection District (2011)*. Esse método consiste no princípio da similaridade através dos coeficientes adimensionais das equações que regem o escoamento de água limpa no modelo para condição de um escoamento hiperconcentrado, levando em consideração da viscosidade cinemática do fluido, através da relação apresentada a seguir:

$$C_{bulked} = (\nu / \nu_{bulked})^{2/3} \times C$$



Sendo:

- C_{bulked} = Coeficiente de contração e expansão adotado para o fluido composto por água e sólidos;
- ν = Viscosidade cinemática da água (m²/s);
- ν_{bulked} = Viscosidade cinemática do fluido composto por água e sólidos;
- C = Coeficiente de contração e expansão adotado para a água.

$$n_{bulked} = (\nu / \nu_{bulked})^{1/9} n$$

Sendo:

- n_{bulked} = Coeficiente de rugosidade de *Manning* (n) adotado para o fluido composto por água e sólidos;
- ν_{bulked} = Viscosidade cinemática do fluido composto por água e sólidos;

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 25/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

- ν = Viscosidade cinemática da (m^2/s);
- n = Coeficiente de rugosidade de *Manning* (n) adotado para a água.



As propriedades calculadas para o fluxo hiperconcentrado para todas as hipóteses de ruptura são apresentadas na Tabela 5.5 a seguir.

Tabela 5.5 - Propriedades do Fluxo Hiperconcentrado

Parâmetros	Valores calculados para os parâmetros			
	Cenário 1 (galgamento)	Cenário 2 (<i>piping</i>)	Cenário 3 (<i>piping</i> 70%)	Cenário 4 (<i>piping</i> 50%)
Viscosidade cinemática – água 20°C (m^2/s)	1,00 x 10 ⁻⁶			
Concentração volumétrica (%)	34	35	42	42
Viscosidade cinemática - fluido hiperconcentrado 20°C (m^2/s)	9,65 x 10 ⁻⁴	1,18 x 10 ⁻³	4,80 x 10 ⁻²	4,80 x 10 ⁻²
n – leito principal ⁽¹⁾	0,030			
n – fluido hiperconcentrado (leito principal)	0,090			
n – planície ⁽¹⁾	0,060			
n – fluido hiperconcentrado (planície)	0,12	0,13	0,15	0,15
Coeficiente de expansão/contração – água	0,1 / 0,3			
Coeficiente de expansão/contração – hiperconcentrado	0,0104 / 0,0009	0,0127 / 0,0012	0,0517 / 0,0048	0,0517 / 0,0048

⁽¹⁾ Valor médio de *Manning* para água no leito principal sugerido pelo modelo do HEC-RAS;

Os resultados apresentados na Tabela 5.3 foram obtidos a partir das Tabelas 4-1, 4-2 propostas no manual *Ventura County Bulking Study* (2011) páginas 4-3 e 4-4. As tabelas são apresentadas no ANEXO 11.3.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 26/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

5.5 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

5.5.1 Geral

Apresenta-se a seguir o estudo realizado determinação das vazões afluentes ao reservatório de Cachoeirinha.

5.5.2 Chuvas de Projeto

Foram utilizados os dados do posto 02043002, Lagoa Grande, localizado no município de Nova Lima, com 76 (setenta e seis) registros de chuvas máximas diárias no período de 1941/1942 a 2016/2017.

A Tabela 5.6 apresenta esses valores e os resultados das distribuições de frequência de Gumbel e Exponencial.

Tabela 5.6 – Registros de Chuvas Máximas Diárias e Resultados das Distribuições de Frequência

Máxima	Data		N	%	Q(m3/s)	Log Q	Dados	Normal	Logaritmo	
71,1	1941	1942	1	1,3	165,1	2,22	N	76	-	
83,8	1942	1943	2	2,6	150,2	2,18	Media	80,7	1,89	
79	1943	1944	3	3,9	148,2	2,17	Desvio	25,43	0,12	
58,9	1944	1945	4	5,3	140,8	2,15	Assimetria	1,35	-	
130	1945	1946	5	6,6	130	2,11				
70,4	1946	1947	6	7,9	126,2	2,10				
76,2	1947	1948	7	9,2	125,1	2,10	x=	80,7	YN=	0,556
165,1	1948	1949	8	10,5	121,2	2,08	s=	25,4	SN=	1,191
71,1	1949	1950	9	11,8	118,4	2,07			P(mm)	
68,8	1950	1951	10	13,2	114,7	2,06	TR(anos)	%	Pdiaria	P24h
81,3	1951	1952	11	14,5	108,2	2,03	2,2	45,5	79	91
90,2	1952	1953	12	15,8	105,2	2,02	10	10	117	133
65,5	1953	1954	13	17,1	99,3	2,00	25	4	137	156
76,5	1954	1955	14	18,4	95	1,98	50	2	152	173
126,2	1955	1956	15	19,7	94,5	1,98	100	1	167	190
68,6	1956	1957	16	21,1	92,5	1,97	500	0,2	201	230
66	1957	1958	17	22,4	90,8	1,96	1000	0,1	216	247
92,5	1958	1959	18	23,7	90,2	1,96	10000	0,01	265	303
82,6	1959	1960	19	25,0	90,2	1,96				
94,5	1960	1961	20	26,3	89,9	1,95			LOG-NORMAL	
118,4	1961	1962	21	27,6	88,1	1,94		Log x=	1,89	
89,9	1962	1963	22	28,9	87,5	1,94		Log s=	0,12	
50,8	1963	1964	23	30,3	87,1	1,94			P(mm)	
108,2	1964	1965	24	31,6	85,8	1,93	TR(anos)	%	Pdiaria	P24h
62,2	1965	1966	25	32,9	83,8	1,92	2,2	45,45	80	
90,2	1966	1967	26	34,2	83,1	1,92	10	10	111	
79,8	1967	1968	27	35,5	82,6	1,92	25	4	127	
50,8	1968	1969	28	36,8	81,3	1,91	50	2	139	
72,4	1969	1970	29	38,2	80,7	1,91	100	1	150	
53,6	1970	1971	30	39,5	79,8	1,90				
52,6	1971	1972	31	40,8	79,4	1,90			EXPONENCIAL	
56,9	1972	1973	32	42,1	79	1,90		x=	80,7	
74,3	1973	1974	33	43,4	78	1,89		s=	25,4	
46,2	1974	1975	34	44,7	76,7	1,88			P(mm)	
64,9	1975	1976	35	46,1	76,5	1,88	TR(anos)	%	Pdiaria	P24h
60,2	1976	1977	36	47,4	76,2	1,88	2,2	45	75	
48,6	1977	1978	37	48,7	75,4	1,88	10	10	114	
105,2	1978	1979	38	50,0	74,3	1,87	25	4	137	
87,1	1979	1980	39	51,3	72,4	1,86	50	2	155	
52,2	1980	1981	40	52,6	72,1	1,86	100	1	172	
78	1981	1982	41	53,9	71,4	1,85	500	0,2	213	
64,3	1982	1983	42	55,3	71,3	1,85	1000	0,1	231	
71,3	1983	1984	43	56,6	71,2	1,85	10000	0,01	289	
70,4	1984	1985	44	57,9	71,1	1,85				
71,2	1985	1986	45	59,2	71,1	1,85				
58,2	1986	1987	46	60,5	70,4	1,85				
72,1	1987	1988	47	61,8	70,4	1,85				
99,3	1988	1989	48	63,2	70,0	1,85				
83,1	1989	1990	49	64,5	68,8	1,84				
58,4	1990	1991	50	65,8	68,6	1,84				
79,4	1991	1992	51	67,1	68,2	1,83				
121,2	1992	1993	52	68,4	67,5	1,83				
49,8	1993	1994	53	69,7	67,4	1,83				
140,8	1994	1995	54	71,1	66	1,82				
150,2	1995	1996	55	72,4	65,8	1,82				
68,2	1996	1997	56	73,7	65,5	1,82				
148,2	1997	1998	57	75,0	65,4	1,82				
65,8	1998	1999	58	76,3	64,9	1,81				
55,2	1999	2000	59	77,6	64,3	1,81				
125,1	2000	2001	60	78,9	63,4	1,80				
67,5	2001	2002	61	80,3	62,2	1,79				
80,7	2002	2003	62	81,6	60,2	1,78				
114,7	2003	2004	63	82,9	58,9	1,77				
67,4	2004	2005	64	84,2	58,4	1,77				
71,4	2005	2006	65	85,5	58,2	1,76				
56,8	2006	2007	66	86,8	56,9	1,76				
65,4	2007	2008	67	88,2	56,8	1,75				
87,5	2008	2009	68	89,5	55,2	1,74				
90,8	2009	2010	69	90,8	53,6	1,73				
70,0	2010	2011	70	92,1	52,6	1,72				
75,4	2011	2012	71	93,4	52,2	1,72				
76,7	2012	2013	72	94,7	50,8	1,71				
88,1	2013	2014	73	96,1	50,8	1,71				
85,8	2014	2015	74	97,4	49,8	1,70				
95	2015	2016	75	98,7	48,6	1,69				
63,4	2016	2017	76	100,0	46,2	1,66				

A Figura 5.5 apresenta a representação gráfica dessas distribuições de frequência das chuvas máximas diárias.

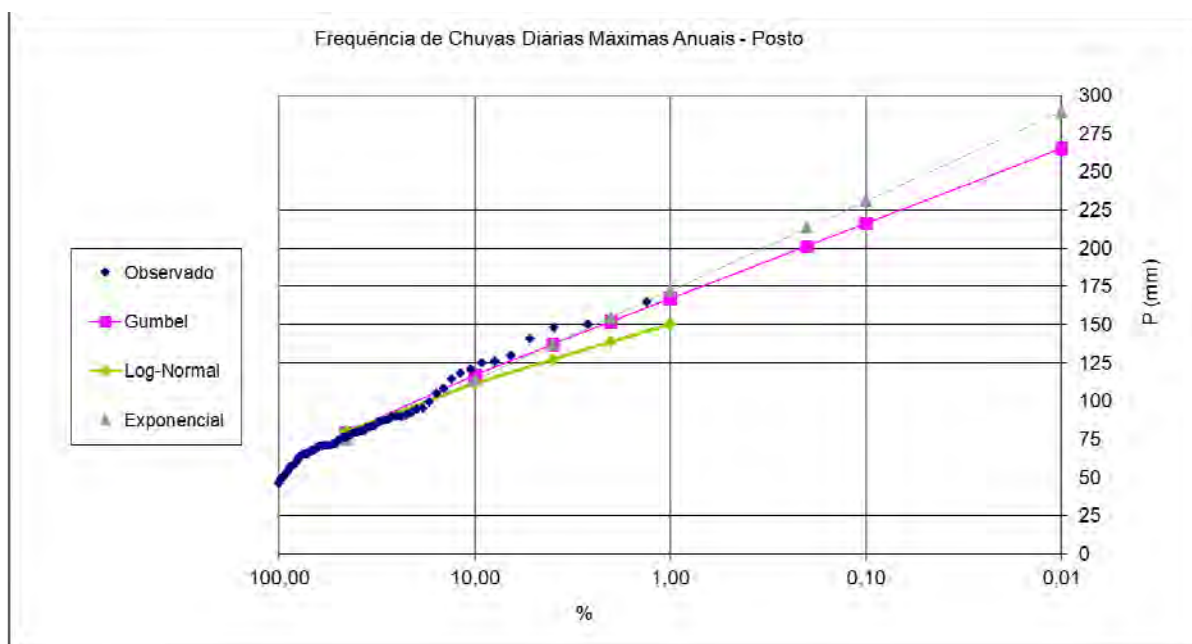


Figura 5.5 – Frequência das Chuvas Máximas Diárias

5.5.3 Cálculo das Vazões de Projeto

Em função do coeficiente de assimetria obtido inferior a 1,5, foi adotada a distribuição GUMBEL, conforme preconizado pela Eletrobrás no “Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedouro”, de 1987.

As chuvas máximas diárias foram transformadas em chuvas de 24h pela multiplicação por 1,14, conforme preconizado na publicação “Drenagem Urbana”, da CETESB.

As precipitações de 24 horas foram desagregadas para os tempos de concentração da bacia, sendo reduzidos, conforme valores apresentados na Tabela 5.7 a seguir.



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 29/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 5.7 – Precipitações de 24 horas por Tempo de Recorrência (TR)

TR (anos)	P(mm)
	24horas
2,2	91,0
10	133,0
25	156,0
50	173,0
100	190,0
500	230,0
1.000	247,0
10.000	303,0

A área de drenagem, tempo de concentração (Tc), fator de redução (F) de P24H e as vazões de pico obtidas calculadas pelo método de I PAI WU, são apresentadas na Tabela 5.8 a seguir.

Tabela 5.8 – Características Fisiográficas da Bacia da Barragem Cachoeirinha

Ad (km ²)	Desnível H (m)	Comprimento do Talvegue – L (km)	Tc (h)	F	C2
0,56	220	0,776	0,22	0,69	0,6

As cheias de projeto foram obtidas pelo método de I-Pai-Wu, com base no tempo de concentração e nas características fisiográficas da bacia. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.9 a seguir.

Tabela 5.9 – Resultados das Cheias de Projeto – Barragem Cachoeirinha

TR (anos)	P (mm)	Q (m ³ /s)
100	167	3,7
500	202	4,7
1.000	217	5,2
10.000	267	6,7

Os hidrogramas das cheias afluentes ao reservatório são apresentados no gráfico da Figura 5.6. O pico de cheia é de 5,20 m³/s para TR = 1.000 anos e 6,70 m³/s para TR = 10.000 anos.

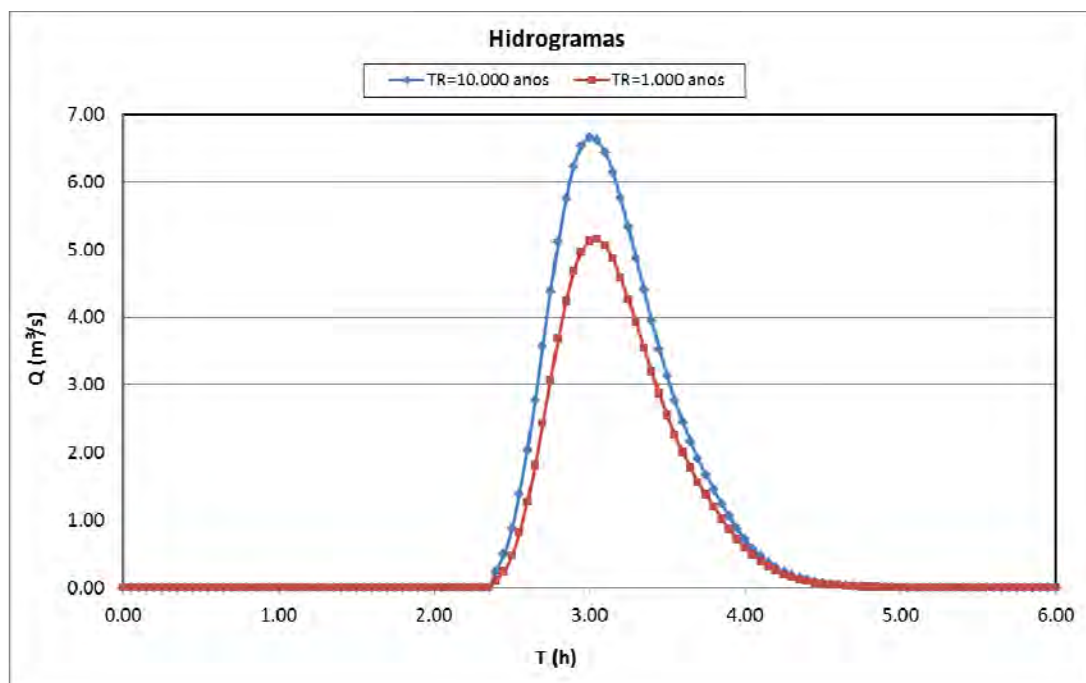


Figura 5.6 – Hidrogramas das Cheias Afluentes ao Reservatório

5.5.4 Ruptura da Barragem

O pico de cheia afluyente para a Barragem Cachoeirinha foi definido em função do estudo da bacia correspondente à área de drenagem, conforme apresentado no item 5.5.3. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Pico de Cheia Afluyente ao Reservatório de Cachoeirinha

Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Q _p (m ³ /s) (TR=1.000 anos)	Q _p (m ³ /s) (TR=10.000 anos)
Cachoeirinha	0,56	5,20	6,70

A ruptura da barragem foi simulada considerando o início de formação da brecha coincidindo com o pico da cheia afluyente de Q_p=5,20 m³/s para a hipótese de ruptura por *piping* (Cenários 2 a 4) e Q_p=6,70 m³/s para a hipótese de ruptura por galgamento (Cenário 1). Para tanto foi admitida falha no sistema de drenagem interna do maciço, para o caso de ruptura por *piping*, e falha no sistema extravasor para o caso de ruptura por galgamento.

6 RESULTADOS OBTIDOS

A seguir são apresentados os hidrogramas defluentes da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha, para as hipóteses de ruptura por *piping* e galgamento.

Ressalta-se que para ambos os casos, foi avaliado a ruptura isolada da Barragem Cachoeirinha e por consequência a ruptura em cascata do Dique Lisa por erosão regressiva. Os hidrogramas resultantes da ruptura conjunta das dessas estruturas são apresentados a seguir.

Salienta-se que a ruptura da Barragem Cachoeirinha foi simulada considerando o início de formação da brecha a partir do acréscimo do pico da cheia afluente ao reservatório, para cada hipótese.

6.1 CENÁRIO 1 – RUPTURA POR GALGAMENTO

Nas Figuras 6.1 e 6.2, são apresentados os hidrogramas efluentes e a depleção do reservatório de Cachoeirinha, respectivamente.

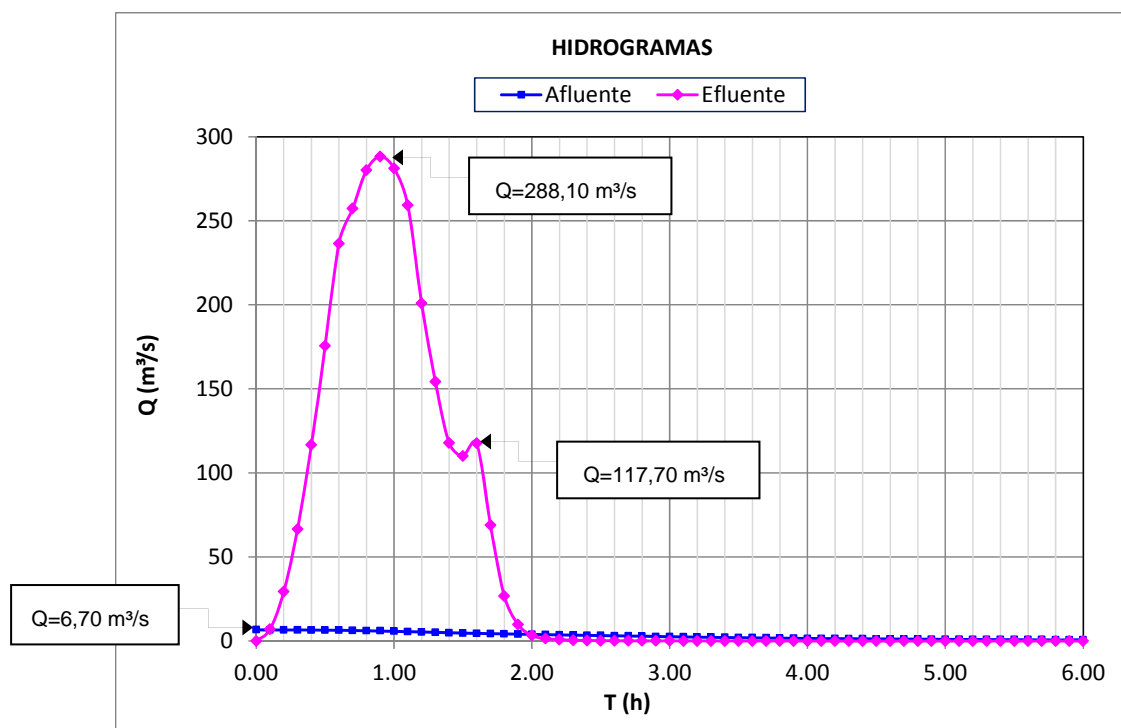


Figura 6.1 - Hidrogramas de Cheia - Ruptura por Galgamento (Cenário 1)

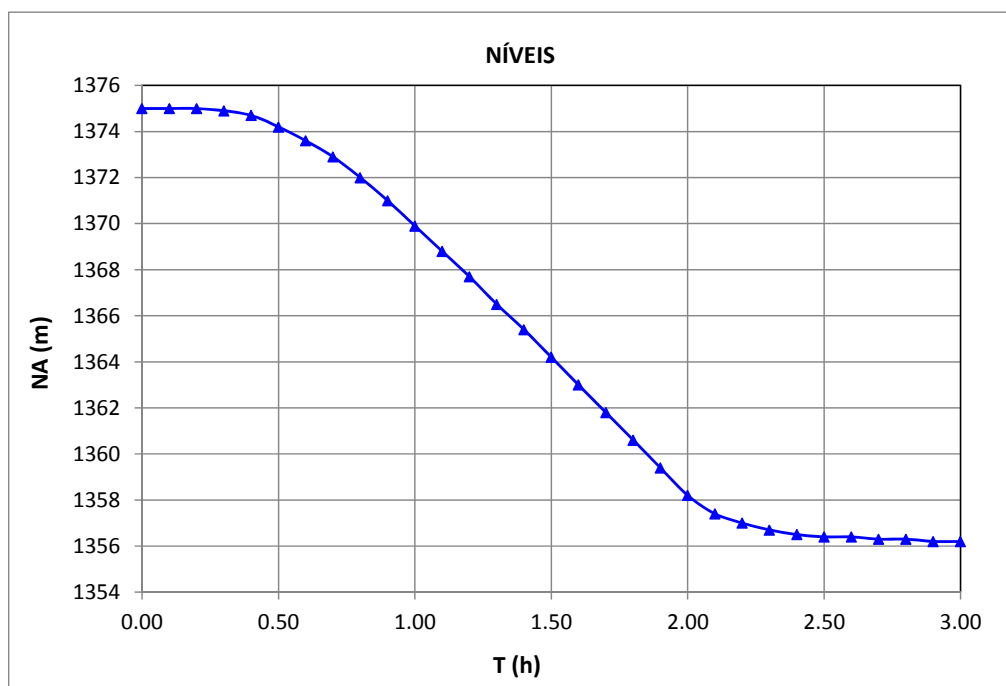


Figura 6.2 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por Galgamento (Cenário 1)

A vazão de pico efluente da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha por galgamento seria $Q=288,10 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando o reservatório na El. 1.375,00 m. A vazão efluente resultante da ruptura conjunta do Dique Lisa por erosão regressiva seria da ordem de $Q=117,70 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Tabela 6.1 apresenta os resultados obtidos na simulação de ruptura a jusante da Barragem Cachoeirinha, para o Cenário 1.



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
		BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO	Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB-0219
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 6.1 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 1)

Seção	Distância da Barragem (m)	Q máx. (m³/s)	Elevação do Fundo (m)	N.A. máx. (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade Máxima da Onda (m) ⁽²⁾	Tempo de Chegada da Onda (hh:mm) (h _{min} , < 0,5 m) ⁽³⁾
Eixo ⁽¹⁾	0	288,10	1356,00	1375,00	19,00	19,0	00:00
100	134	275,67	1326,84	1340,59	18,00	13,8	00:02
90	312	265,63	1307,03	1315,93	12,51	8,9	00:04
80	447	210,63	1291,10	1300,10	3,96	9,0	00:06
70	593	200,94	1289,86	1295,73	2,03	5,9	00:09
60	722	195,63	1279,00	1282,96	1,18	4,0	00:10
50	1.479	195,63	1255,27	1260,02	1,57	4,8	00:12
45	2.004	138,81	1245,00	1248,60	1,08	3,6	00:13
40	2.887	118,74	1202,98	1209,22	1,59	6,2	00:15
30	3.390	110,23	1198,54	1208,70	2,21	-	00:16

⁽¹⁾ Seção no eixo da Barragem Cachoeirinha;

⁽²⁾ Profundidade máxima atingida na seção topobatimétrica;

⁽³⁾ Tempo de chegada da onda correspondente à uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

Na Figura 6.3 são apresentados os hidrogramas da onda de cheia de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem Cachoeirinha.

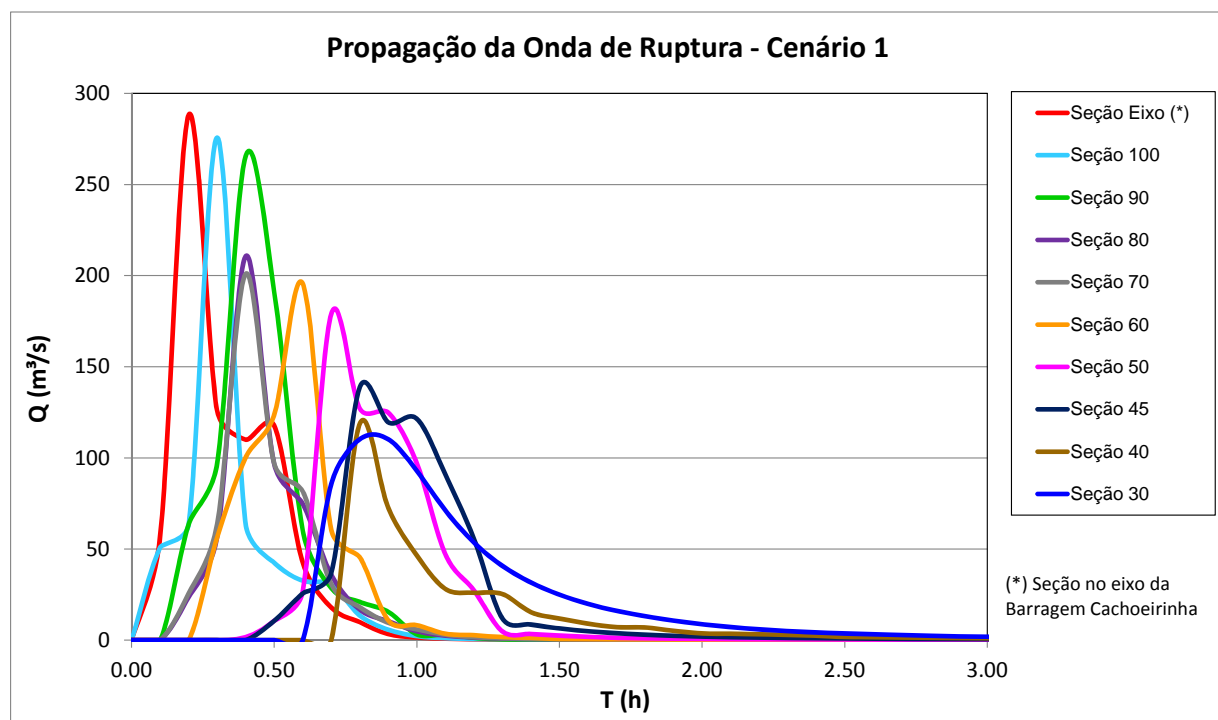
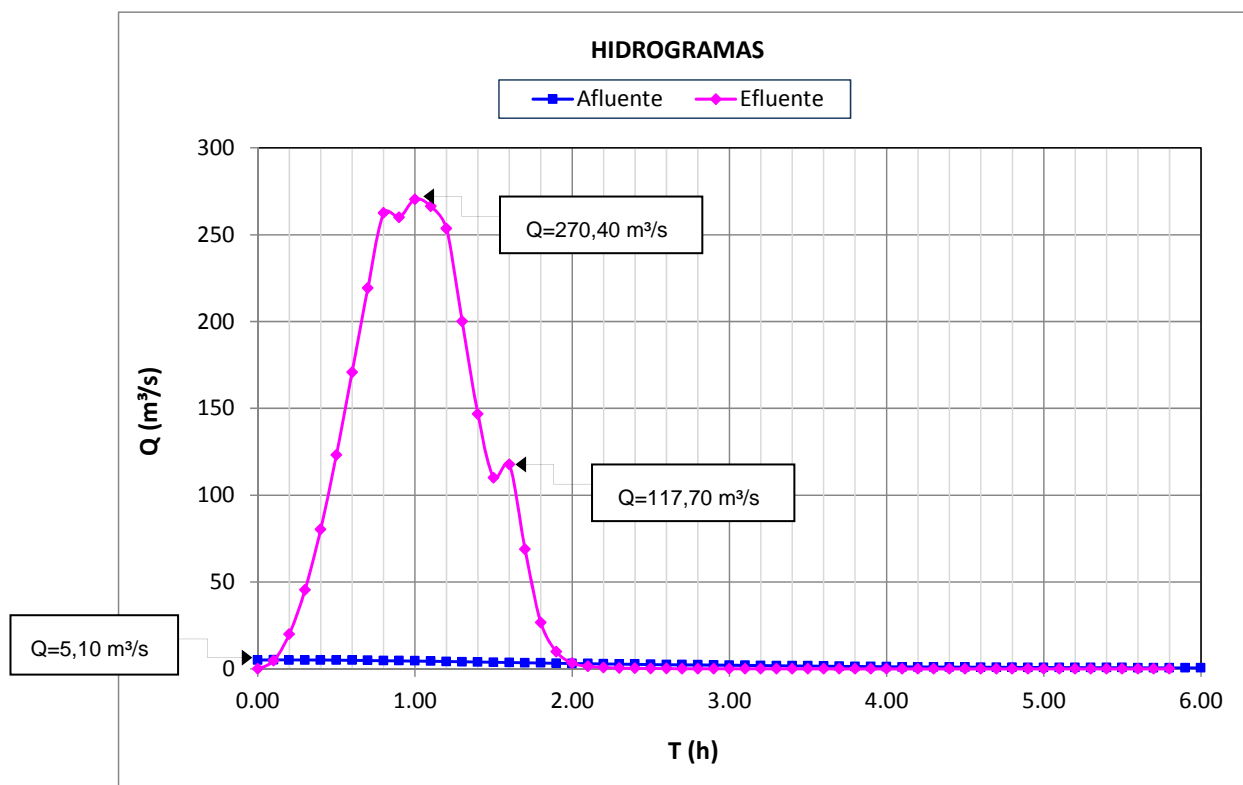


Figura 6.3 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1)

6.2 CENÁRIO 2 - RUPTURA POR *PIPING*

Nas respectivas Figuras 6.4 e 6.5, são apresentados os hidrogramas efluentes e a depleção do reservatório da Barragem Cachoeirinha, considerando as condições atuais do reservatório e a ruptura por *piping*.

Figura 6.4 - Hidrogramas de Cheia - Ruptura por *Piping* (Cenário 2)

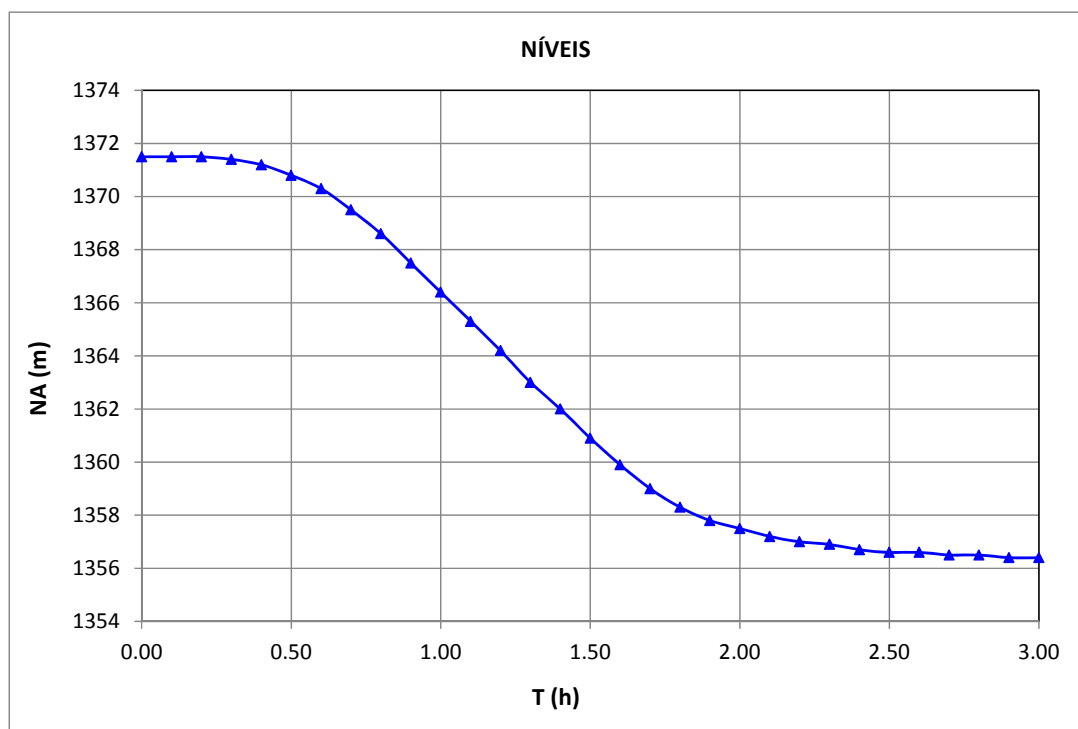


Figura 6.5 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por Piping (Cenário 2)

A vazão de pico efluente da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha por *piping* seria $Q=270,40 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando o reservatório na El. 1.371,50 m. A vazão efluente resultante da ruptura conjunta do Dique Lisa por erosão regressiva seria da ordem de $Q=117,70 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Tabela 6.2 apresenta os resultados obtidos na simulação de ruptura a jusante da Barragem Cachoeirinha para esta hipótese.



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 37/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 6.2 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 2)

Seção	Distância da Barragem (m)	Q máx. (m³/s)	Elevação do Fundo (m)	N.A. máx. (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade Máxima da Onda (m) ⁽²⁾	Tempo de Chegada da Onda (hh:mm) (h _{min} , < 0,5 m) ⁽³⁾
Eixo ⁽¹⁾	0	270,12	1356,00	1371,50	16,00	15,5	00:00
100	134	199,32	1326,84	1337,75	15,86	10,9	00:02
90	312	191,89	1307,03	1313,40	8,37	6,4	00:05
80	447	196,37	1291,10	1304,99	3,21	13,9	00:06
70	593	189,91	1289,86	1296,59	2,31	6,7	00:08
60	722	179,96	1279,00	1282,87	1,18	3,9	00:09
50	1.479	167,07	1255,27	1260,25	1,01	5,0	00:10
45	2.004	158,24	1245,00	1246,94	1,23	1,9	00:13
40	2.887	148,17	1202,98	1208,73	0,54	5,8	00:14
30	3.390	97,79	1198,54	1208,67	1,94	-	00:15

⁽¹⁾ Seção no eixo da Barragem Cachoeirinha;

⁽²⁾ Profundidade máxima atingida na seção topobatimétrica;

⁽³⁾ Tempo de chegada da onda correspondente à uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

Na Figura 6.6 são apresentados os hidrogramas da onda de cheia de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem Cachoeirinha.

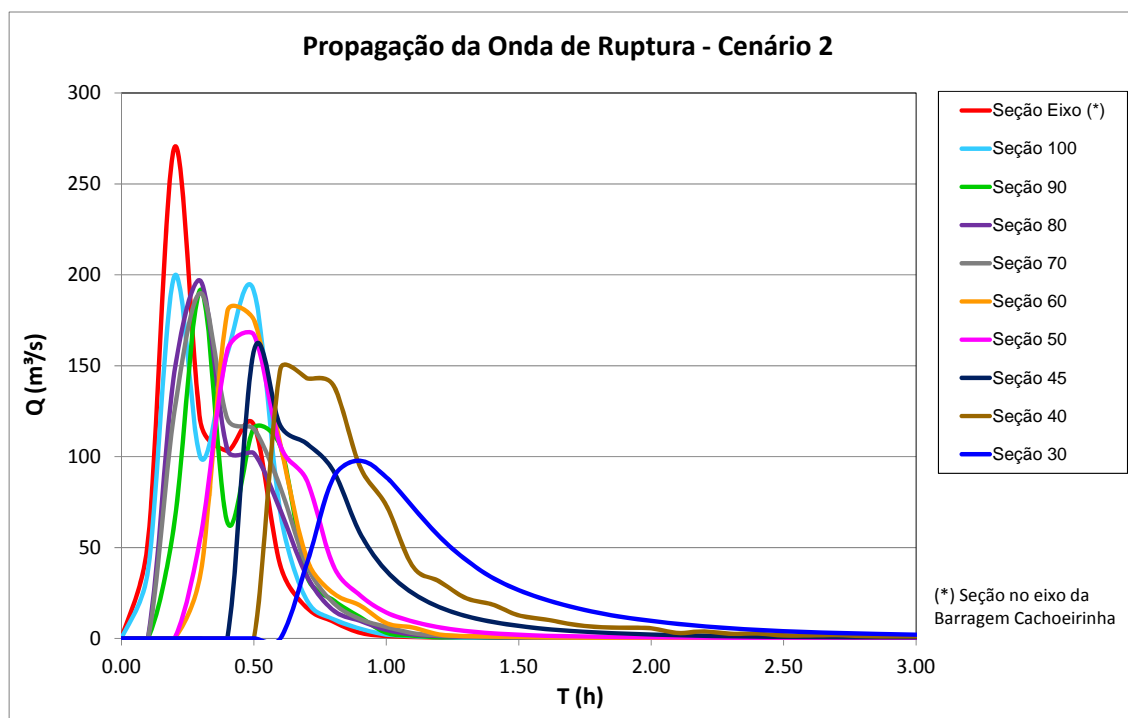


Figura 6.6 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por *Piping* (Cenário 2)

6.3 CENÁRIO 3 - RUPTURA POR *PIPING* (70%)

Nas respectivas Figuras 6.7 e 6.8, são apresentados os hidrogramas efluentes e a depleção do reservatório da Barragem Cachoeirinha, considerando o reservatório com a capacidade de 70% de armazenamento e a ruptura por *piping*.

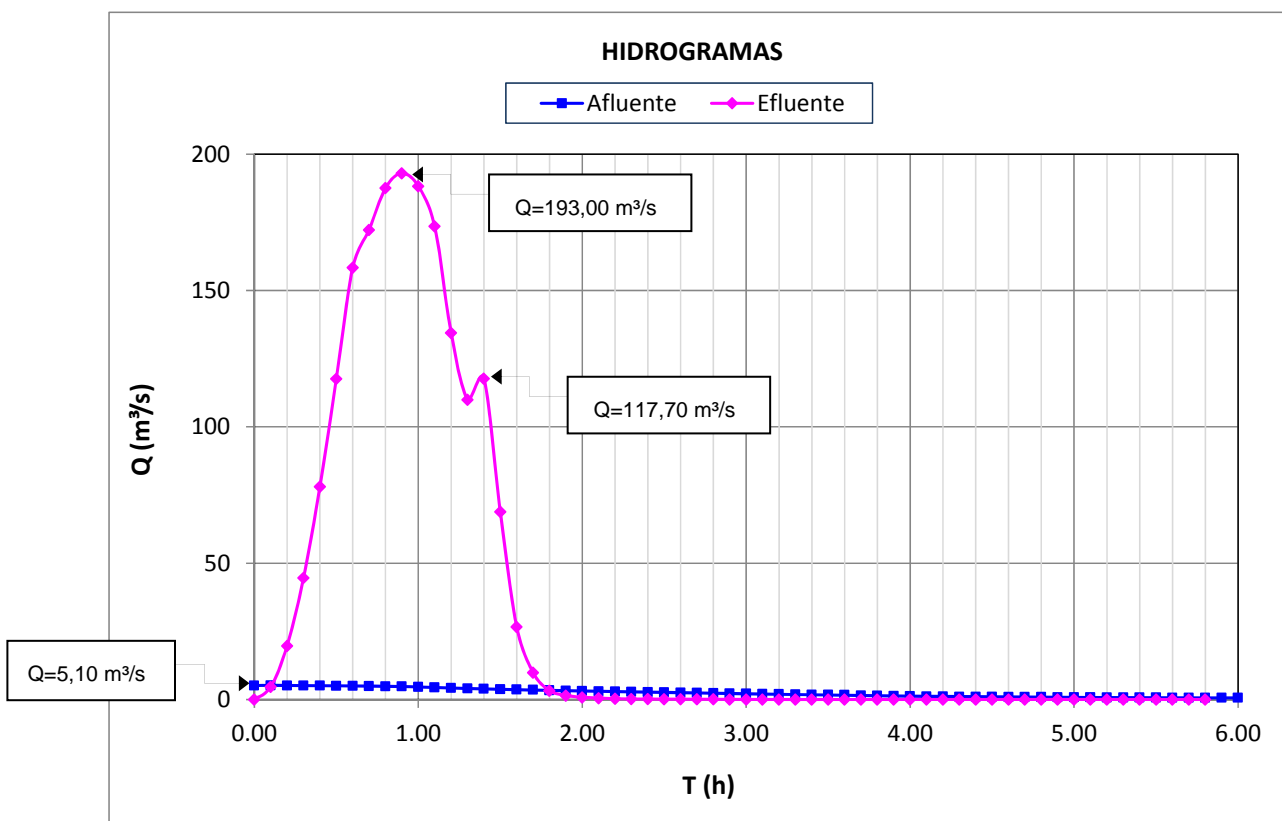


Figura 6.7 - Hidrogramas de Cheia - Ruptura por *Piping* (70%) (Cenário 3)

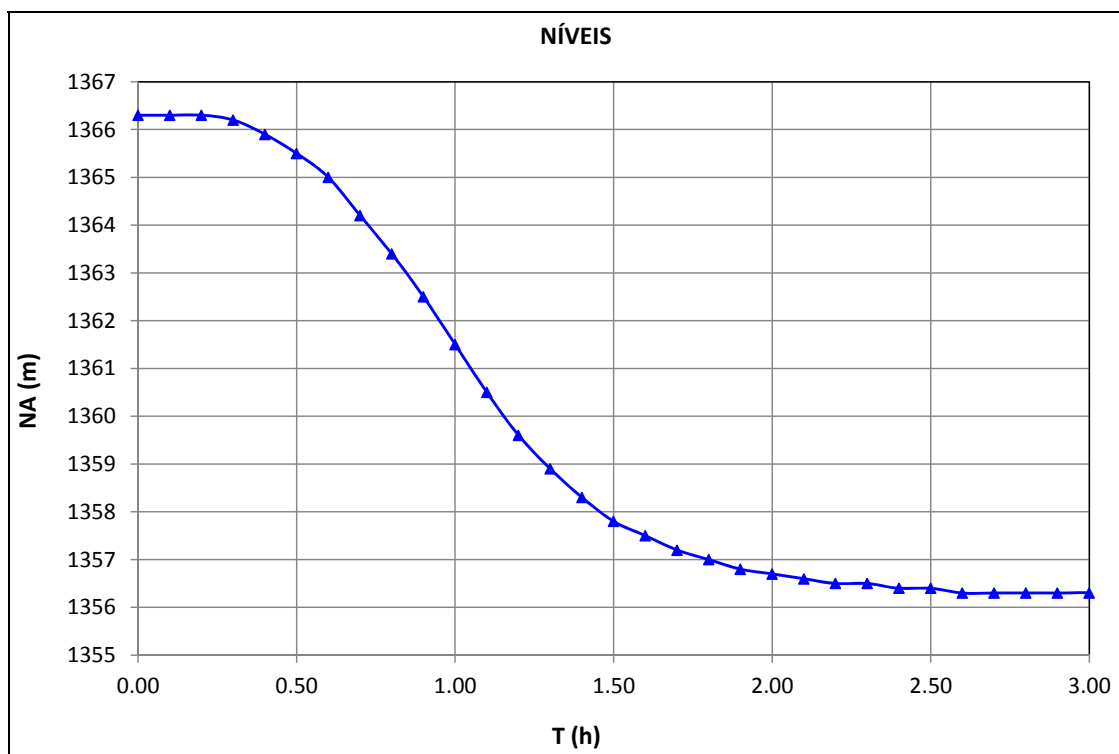


Figura 6.8 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por *Piping* (70%) (Cenário 3)

Para esta hipótese a vazão de pico efluente da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha por *piping* seria $Q=193,00 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando o reservatório na El. 1.366,30 m. A vazão efluente resultante da consequente ruptura do Dique Lisa por erosão regressiva seria da ordem de $Q=117,70 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Tabela 6.3 apresenta os resultados obtidos na simulação de ruptura a jusante da Barragem Cachoeirinha para esta hipótese.



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 41/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 6.3 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 3)

Seção	Distância da Barragem (m)	Q máx. (m³/s)	Elevação do Fundo (m)	N.A. máx. (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade Máxima da Onda (m) ⁽²⁾	Tempo de Chegada da Onda (hh:mm) (h _{min} , < 0,5 m) ⁽³⁾
Eixo ⁽¹⁾	0	193,00	1356,00	1366,30	16,00	10,3	00:00
100	134	189,96	1326,84	1336,18	13,79	9,3	00:02
90	312	14223	1307,03	1313,38	6,87	6,4	00:03
80	447	139,86	1291,10	1304,61	2,88	13,5	00:06
70	593	136,04	1289,86	1295,54	1,92	5,7	00:09
60	722	126,63	1279,00	1282,32	1,27	3,3	00:10
50	1.479	117,89	1255,27	1258,64	0,72	3,4	00:11
45	2.004	93,20	1245,00	1246,71	1,23	1,7	00:13
40	2.887	77,04	1202,98	1205,14	1,00	2,2	00:17
30	3.390	58,37	1198,54	1208,58	1,35	-	00:18

⁽¹⁾ Seção no eixo da Barragem Cachoeirinha;

⁽²⁾ Profundidade máxima atingida na seção topobatimétrica;

⁽³⁾ Tempo de chegada da onda correspondente à uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

Na Figura 6.9 são apresentados os hidrogramas da onda de cheia de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem Cachoeirinha para essa hipótese de ruptura.

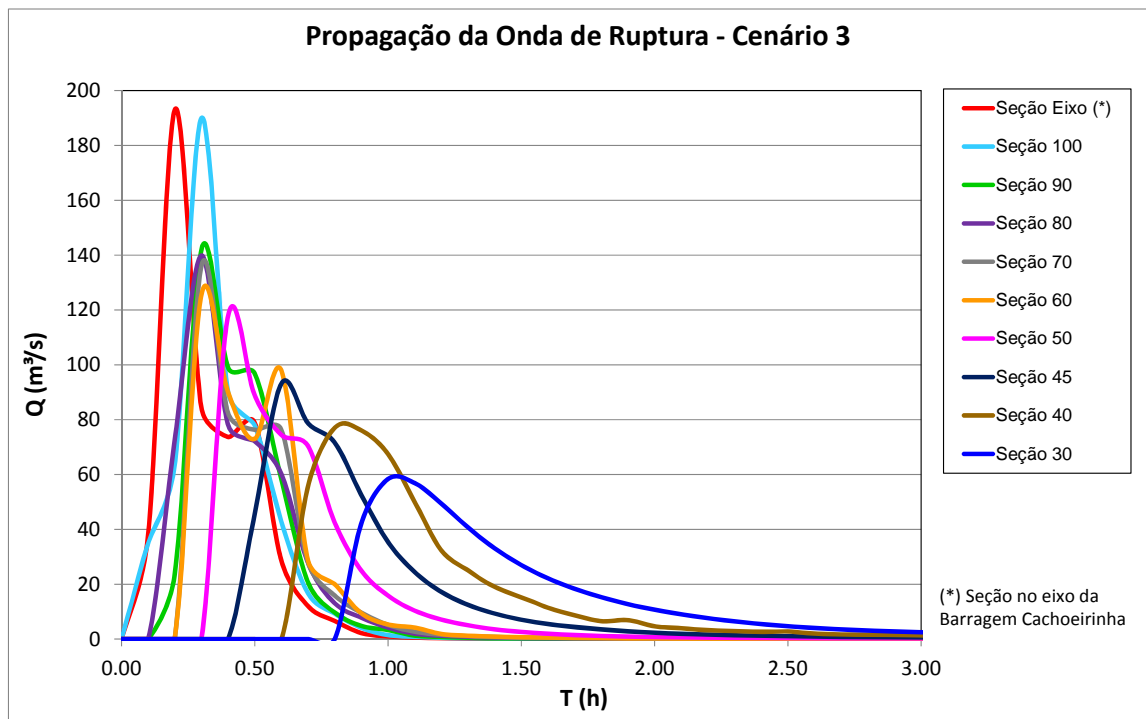


Figura 6.9 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por *Piping* (70%) (Cenário 3)

6.4 CENÁRIO 4 - RUPTURA POR *PIPING* (50%)

Nas respectivas Figuras 6.10 e 6.11, são apresentados os hidrogramas efluentes e a depleção do reservatório da Barragem Cachoeirinha, considerando o reservatório com a capacidade de 70% de armazenamento e a ruptura por *piping*.

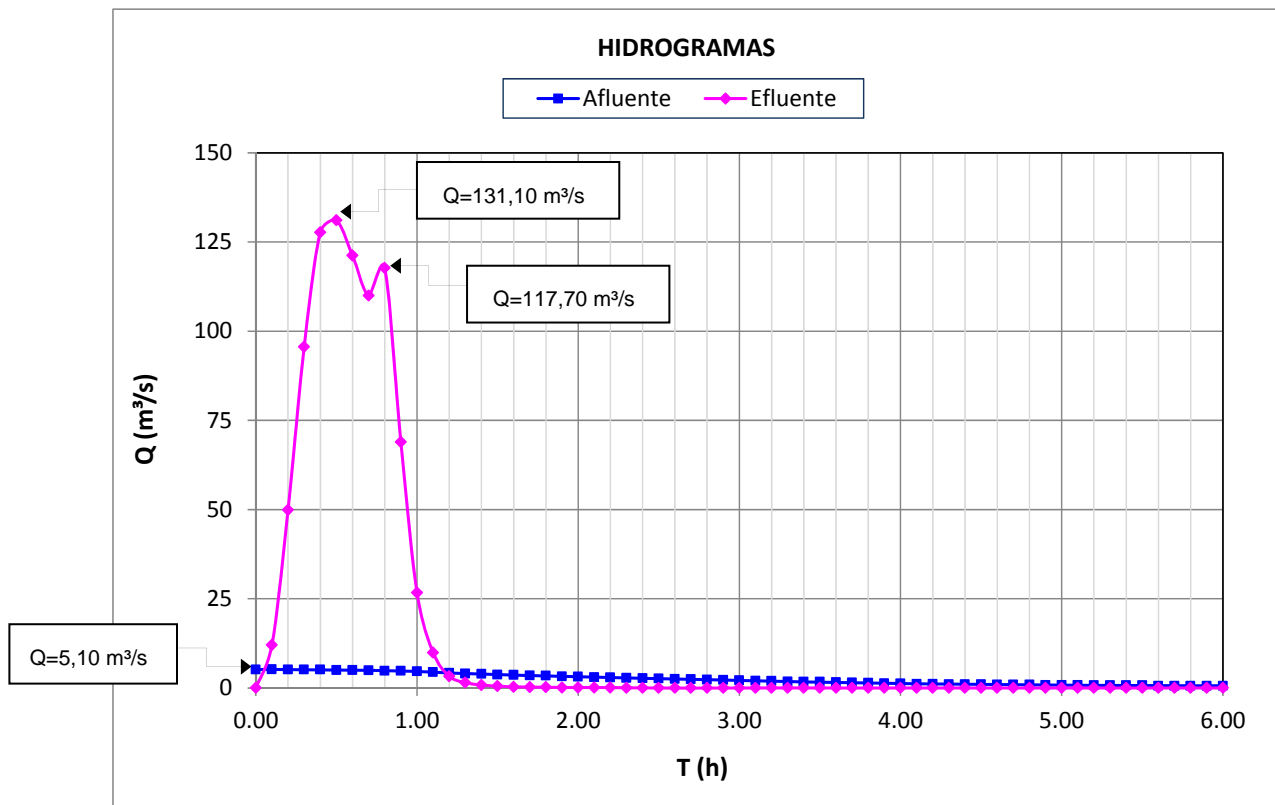


Figura 6.10 – Hidrogramas de Cheia - Ruptura por *Piping* (50%) (Cenário 4)

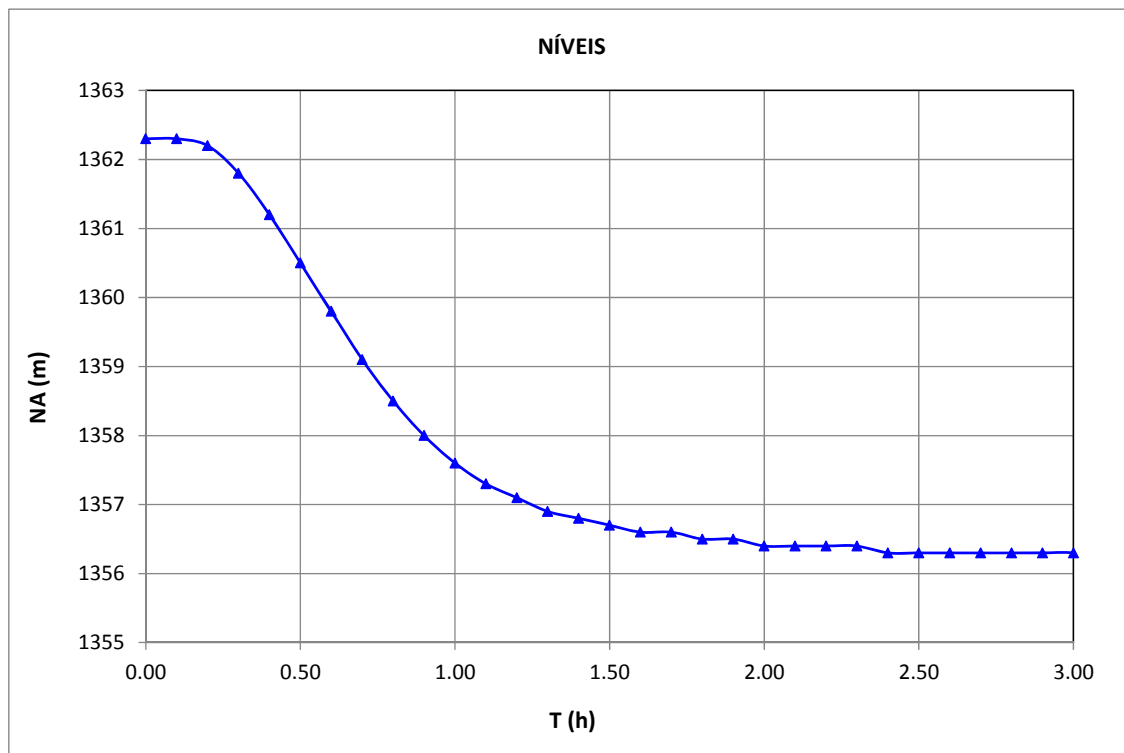


Figura 6.11 – Depleção do Reservatório ao Longo do Tempo - Ruptura por *Piping* (50%) (Cenário 2)

Para esta hipótese a vazão de pico efluente da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha por *piping* seria $Q=131,10 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando o reservatório na El. 1.362,30 m. Assim como nos cenários anteriores, a vazão efluente resultante da ruptura conjunta do Dique Lisa por erosão regressiva seria da ordem de $Q=117,70 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Tabela 6.4 apresenta os resultados obtidos na simulação de ruptura a jusante da Barragem Cachoeirinha para esta hipótese.



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 45/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 6.4 – Resultados da Simulação de Ruptura da Barragem Cachoeirinha – (Cenário 4)

Seção	Distância da Barragem (m)	Q máx. (m³/s)	Elevação do Fundo (m)	N.A. máx. (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade Máxima da Onda (m) ⁽²⁾	Tempo de Chegada da Onda (hh:mm) (h _{min} , < 0,5 m) ⁽³⁾
Eixo (1)	0	193,00	1356,00	1362,30	16,00	6,3	00:00
100	134	189,96	1326,84	1336,39	15,67	9,6	00:02
90	312	142,23	1307,03	1313,25	2,39	6,2	00:03
80	447	139,86	1291,10	1304,26	3,39	13,2	00:05
70	593	136,04	1289,86	1295,48	1,90	5,6	00:08
60	722	126,63	1279,00	1281,96	0,84	3,0	00:09
50	1.479	117,89	1255,27	1258,53	2,82	3,3	00:11
45	2.004	93,20	1245,00	1246,37	0,84	1,4	00:12
40	2.887	77,04	1202,98	1204,79	1,86	1,8	00:17
30	3.390	58,37	1198,54	1208,51	0,94	-	00:18

⁽¹⁾ Seção no eixo da Barragem Cachoeirinha;

⁽²⁾ Profundidade máxima atingida na seção topobatimétrica;

⁽³⁾ Tempo de chegada da onda correspondente à uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

Na Figura 6.12 são apresentados os hidrogramas da onda de cheia de ruptura ao longo do vale a jusante da Barragem Cachoeirinha.

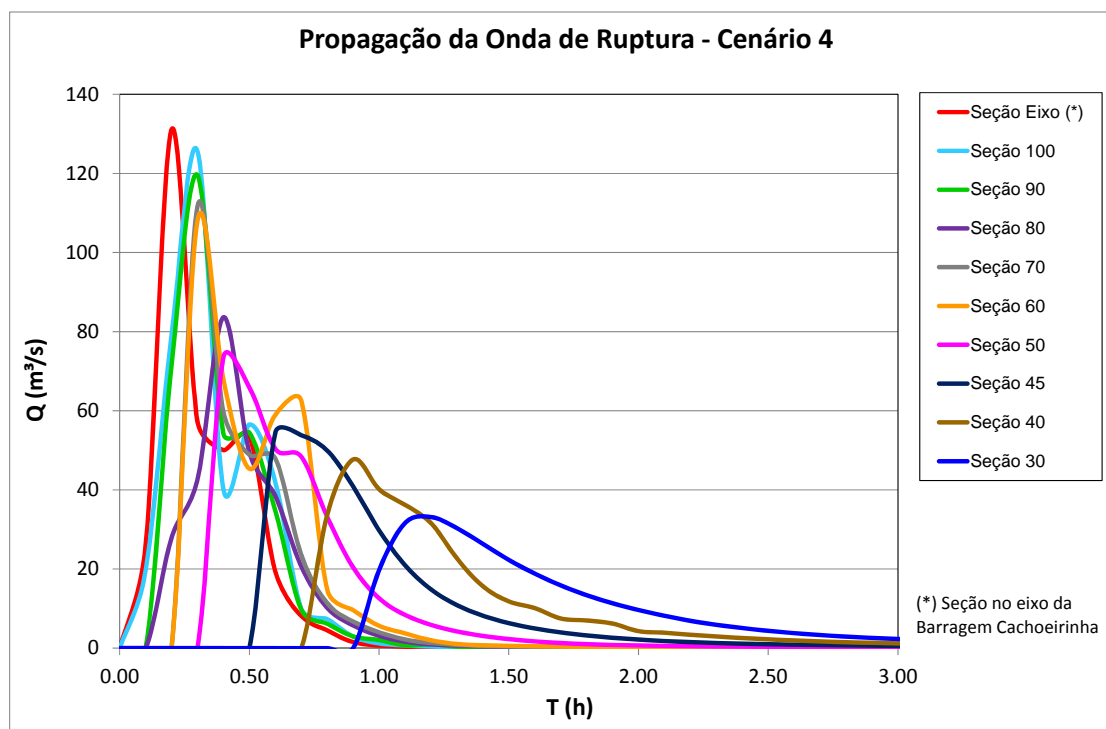


Figura 6.12 - Hidrogramas ao Longo do Vale – Hipótese de Ruptura da Barragem Cachoeirinha por *Piping* (50%) (Cenário 2)

6.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 6.5 apresenta uma síntese dos resultados dos hidrogramas de ruptura, parâmetros da brecha e a estimativa do número de edificações afetadas na área de abrangência da onda de cheia, para os diferentes cenários simulados para a Barragem Cachoeirinha.



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 47/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 6.5 - Comparativa para os Cenários de Ruptura Simulados para Barragem Cachoeirinha

Cenário	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Hipótese de Ruptura	Galgamento (<i>overtopping</i>)	<i>Piping</i>	<i>Piping</i>	<i>Piping</i>
N.A. Reservatório (m)	El. 1.375,00	El. 1.371,50	El. 1.366,30	El. 1.362,30
Largura da Base da Brecha - B_{base} (m)	15,00	10,00	15,00	29,80
Tempo de Formação da Brecha - T_f (h)	1,25	1,0	1,0	1,0
Vazão de Pico de Ruptura (m^3/s)	288,10	270,12	193,00	131,10
Número de Edificações Afetadas ⁽¹⁾	2	2	2	2
Extensão da Cheia Máxima (km) ⁽²⁾	5,30	5,30	5,30	5,30
Área Total da Macha de Inundação (<i>ha</i>)	124,20	120,90	117,90	115,40

⁽¹⁾ Estimativa do número de edificações afetadas na área de abrangência da mancha de inundação;

⁽²⁾ Extensão total do alcance da onda de cheia máxima nos principais trechos fluviais, até o eixo da Barragem do Miguelão.



7 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONSEQUÊNCIAS DAS RUPTURAS OBTIDAS

A análise da propagação da onda de ruptura foi feita em uma extensão de aproximadamente 5,30 km a partir do eixo da Barragem Cachoeirinha, até o reservatório da Barragem do Miguelão.

Conforme resultados obtidos e analisados a seguir, o sistema extravasor da Barragem do Miguelão possui capacidade suficiente para amortecer a onda proveniente de uma eventual ruptura da Barragem Cachoeirinha.

7.1 CENÁRIO 1 - RUPTURA POR GALGAMENTO

A seguir apresenta-se um resumo analítico dos resultados obtidos nas simulações de ruptura da Barragem Cachoeirinha por galgamento, com ruptura conjunta do Dique Lisa.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 48/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Para esta hipótese de ruptura, o pico da onda de ruptura efluente no vale principal do córrego Cachoeirinha é de 288,10 m³/s. Na Seção 100, situada no pé de jusante da barragem, este pico é de 275,67 m³/s.

Na Seção 90, situada no pé de jusante do Dique Lisa, cerca de 0,31 km a jusante da barragem, o pico da onda de cheia equivale 265,63 m³/s.

Na Seção 80, situada a montante da galeria na rodovia BR-040, cerca de 0,45 km a jusante da barragem, este pico equivale 210,63 m³/s. Na Seção 70, situada a jusante desta galeria, cerca de 0,59 km a jusante da barragem, este pico equivale 200,94 m³/s.

Na Seção 45, situada no córrego Cachoeirinha, na região do IBAMA, cerca de 2,00 km a jusante da barragem, o pico da onda de cheia equivale 138,81 m³/s.

E finalmente, na Seção 30, cerca de 3,40 km a jusante da barragem, no remanso do reservatório de Miguelão, a vazão máxima de ruptura é reduzida para 110,23 m³/s. A partir da propagação desta cheia artificial no reservatório de Miguelão, nota-se que a mesma é amortecida pelo sistema extravasor, conforme apresentado no item 7.3.

A Tabela 7.1 apresenta um resumo das elevações máximas atingidas e uma estimativa do número de edificações afetadas pela propagação da onda de ruptura nos pontos críticos, para o caso de ruptura da Barragem Cachoeirinha por galgamento (cenário 1). São apresentados também as velocidades médias da onda de ruptura e o tempo decorrido entre o início da ruptura e a passagem da cheia por estes mesmos pontos. Ressalta-se que o tempo apresentado corresponde ao tempo de chegada da cheia de ruptura com uma altura mínima de 0,50 m nas áreas de maior risco.



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 49/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 7.1 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por Galgamento (Cenário 1)



Local	N.A. máx. (m)	Tempo (hh:mm)	Profundidade Máxima da Onda (m)	Seção Referência
Pé de jusante da barragem / Acesso	1.340,59	00:02	13,80	100
Dique Lisa	1.315,93	00:04	8,90	90
Montante da galeria / BR-040	1.305,02	00:06	13,90	80
Jusante da galeria / BR-040	1.295,73	00:09	5,90	70
IBAMA	1.248,60	00:12	3,60	45
Reservatório da Barragem do Miguelão	1.208,70	00:16	-	30

(1) Os resultados apresentados correspondem aos resultados obtidos nas seções analisadas;

(2) O tempo de chegada da onda corresponde a uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

Na sequência, apresenta-se um resumo das principais consequências associadas à ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha por galgamento, com ruptura conjunta do Dique Lisa:

- a onda de ruptura atingiria a região de jusante da barragem Cachoeirinha (Seção 100), cerca de 00h:02min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 13,80 metros. Neste local seriam afetados os acessos operacionais da Mina Pau Branco, situado no pé da barragem no vale do córrego Cachoeirinha;
- a onda de ruptura atingiria o Dique Lisa (Seção 90), cerca de 00h:04min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 8,90 metros. A passagem da onda neste local provocaria o processo de erosão regressiva no maciço do dique, na região do contato do talude de jusante com a ombreira direita, comprometendo a estabilidade do maciço.
- a onda de ruptura atingiria a região de montante da galeria situada na rodovia BR-040 (Seção 80), cerca de 00h:06min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 13,90 metros. A galeria existente no local possui seção de 2,00 x 2,00 m, 47,50 m de comprimento e declividade de $i=4,0\%$, com capacidade máxima de vazão de 39,4 m³/s. A vazão afluyente da onda de ruptura no local equivale a 210,63 m³/s. Sendo assim, a passagem da onda no local provocaria galgamento no aterro da rodovia, com uma altura máxima da ordem de 3,35 metros.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 50/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

- a onda de ruptura atingiria a região de jusante da galeria (BR-040) (Seção 70), cerca de 00h:09min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 5,90 metros.
- a área do IBAMA (Seção 45) seria afetada cerca de 00h:12min após o início da ruptura, com uma altura máxima de 3,60 metros. A passagem da onda neste local provocaria inundações em casas, benfeitorias e nos acessos situados na área de influência da macha de inundação. Neste mesmo local seria afetada também a região da mata situada no fundo do vale do córrego Cachoeirinha.
- e finalmente, cerca de 3,40 km a jusante da barragem, a onda de ruptura atingiria a o reservatório da Barragem do Miguelão, em aproximadamente 00h:16min após o início da ruptura. A cheia provocada pela onda de ruptura no reservatório de Miguelão seria amortecida pelo sistema extravasor, conforme apresentado no item 7.3. Portanto, a partir desse trecho, as cheias provocadas pela ruptura hipotética da Barragem de Cachoeirinha estariam condicionadas à operação da Barragem do Miguelão.



7.2 CENÁRIOS 2, 3 E 4 - RUPTURA POR *PIPING*

A seguir apresenta-se um resumo analítico dos resultados obtidos nas simulações de ruptura da Barragem Cachoeirinha por *piping*, considerando o nível do reservatório nas elevações El. 1.371,50 m, El. 1.366,30 m e El. 1.362,30 m. Ressalta-se que em todas as hipóteses de ruptura por *piping* foi avaliada a ruptura conjunta com do Dique Lisa.

Para a hipótese mais crítica de ruptura da Barragem Cachoeirinha por *piping*, considerando o nível do reservatório na El. 1.371,50 m (Cenário 1), o pico da onda de ruptura efluente no vale principal do córrego Cachoeirinha é de 270,12 m³/s. Na Seção 100, situada no pé de jusante da barragem, este pico é de 199,32 m³/s.

Na Seção 90, situada no pé de jusante do Dique Lisa, cerca de 0,31 km a jusante da barragem, o pico da onda de cheia equivale 191,89 m³/s.

Na Seção 80, situada a montante da galeria na rodovia BR-040, cerca de 0,45 km a jusante da barragem, este pico equivale 196,37 m³/s. Na Seção 70, situada a jusante desta galeria, cerca de 0,59 km a jusante da barragem, este pico equivale 189,91 m³/s.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 51/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Na Seção 45, situada no córrego Cachoeirinha, na área do IBAMA, cerca de 2,00 km a jusante da barragem, o pico da onda de cheia equivale 158,24 m³/s.

Na Seção 30, cerca de 3,40 km a jusante da barragem, no remanso do reservatório do Miguelão, a vazão máxima de ruptura é reduzida para 97,79 m³/s. Assim como na hipótese de ruptura por galgamento, a onda de ruptura é amortecida pelo sistema extravasor, provocando sobrelevações de 0,27 m, conforme apresentado no item 7.3.

A Tabela 7.2 apresenta um resumo das elevações máximas atingidas e uma estimativa do número de edificações afetadas pela propagação da onda de ruptura nos pontos críticos, para o caso de ruptura da Barragem Cachoeirinha por *piping* (Cenário 2). São apresentados também as velocidades médias da onda de ruptura e o tempo decorrido entre o início da ruptura e a passagem da cheia por estes mesmos pontos. Ressalta-se que o tempo apresentado corresponde ao tempo de chegada da cheia de ruptura com uma altura mínima de 0,50 m nas áreas de maior risco.



Tabela 7.2 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por *Piping* (Cenário 2)

Local	N.A. máx. (m)	Tempo (hh:mm)	Profundidade Máxima da Onda (m)	Seção Referência
Pé de jusante da barragem / Acesso	1.337,75	00:02	10,90	100
Dique Lisa	1.313,40	00:05	6,40	90
Montante da galeria / BR-040	1.304,99	00:06	13,90	80
Jusante da galeria / BR-040	1.296,59	00:08	6,70	70
IBAMA	1.246,94	00:13	1,90	45
Reservatório da Barragem do Miguelão	1.208,73	00:15	-	30



(¹) Os resultados apresentados correspondem aos resultados obtidos nas seções analisadas;

(²) O tempo de chegada da onda corresponde a uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

Na sequência, apresenta-se um resumo das principais consequências associadas à ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha por *piping*, considerando o nível do reservatório na El. 1.371,50 m, com ruptura conjunta do Dique Lisa:

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 52/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

- a onda de ruptura atingiria a região de jusante da barragem Cachoeirinha (Seção 100), cerca de 00h:02min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 10,90 metros. Neste local seriam afetados os acessos operacionais da Mina Pau Branco, situado no pé da barragem no vale do córrego Cachoeirinha;
- a onda de ruptura atingiria o Dique Lisa (Seção 90), cerca de 00h:05min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 6,40 metros. A passagem da onda neste local provocaria o processo de erosão regressiva no maciço do dique, na região do contato do talude de jusante com a ombreira direita, comprometendo a estabilidade do maciço.
- a onda de ruptura atingiria a região de montante da galeria situada na rodovia BR-040 (Seção 80), cerca de 00h:06min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 13,90 metros. Assim como na hipótese de ruptura por galgamento, a passagem da onda no local provocaria inundações na rodovia, com uma altura máxima da ordem de 3,00 metros;
- a onda de ruptura atingiria a região de jusante da galeria (BR-040) (Seção 70), cerca de 00h:08min após o início da ruptura, com uma altura máxima da ordem de 6,70 metros.
- a área do IBAMA (Seção 45) seria afetada cerca de 00h:12min após o início da ruptura, com uma altura máxima de 3,60 metros. A passagem da onda neste local provocaria inundações em casas, benfeitorias e nos acessos situados na área de influência da macha de inundação. Neste mesmo local seria afetada também a região da mata situada no fundo do vale do córrego Cachoeirinha;
- e finalmente, cerca de 3,40 km a jusante da barragem, a onda de ruptura atingiria a o reservatório da Barragem do Miguelão, em aproximadamente 00h:15min após o início da ruptura. A cheia provocada pela onda de ruptura no reservatório de Miguelão seria amortecida pelo sistema extravasor, conforme apresentado no item 7.3. Portanto, a partir desse trecho, as cheias provocadas pela ruptura hipotética da Barragem de Cachoeirinha estariam condicionadas à operação da Barragem do Miguelão.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
		BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO	Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB-0219
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Para a hipótese de ruptura da Barragem Cachoeirinha por *piping*, considerando a variação do nível do reservatório na El. 1.366,30 m (Cenário 2) e El. 1.362,30 m (Cenário 3) seriam afetados os mesmos locais apresentados nas hipóteses anteriores. Os resultados obtidos nos pontos mais críticos para ambas as hipóteses são apresentados nas Tabelas 7.3 e 7.4, respectivamente.

Tabela 7.3 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por *Piping* (Cenário 3)

Local	N.A. máx. (m)	Tempo (hh:mm)	Profundidade Máxima da Onda (m)	Seção Referência
Pé de jusante da barragem / Acesso	1.336,18	00:02	9,30	100
Dique Lisa	1.313,38	00:03	6,40	90
Montante da galeria / BR-040	1.304,61	00:06	13,50	80
Jusante da galeria / BR-040	1.295,54	00:09	5,70	70
IBAMA	1.246,71	00:13	1,70	45
Reservatório da Barragem do Miguelão	1.205,14	00:18	-	30

(1) Os resultados apresentados correspondem aos resultados obtidos nas seções analisadas;



(2) O tempo de chegada da onda corresponde a uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

Tabela 7.4 - Elevação Máxima e Tempo Decorrido entre a Ruptura e a Passagem da Onda pelos Pontos Críticos – Ruptura por *Piping* (Cenário 4)

Local	N.A. máx. (m)	Tempo (hh:mm)	Profundidade Máxima da Onda (m)	Seção Referência
Pé de jusante da barragem / Acesso	1.326,84	00:02	9,60	100
Dique Lisa	1.307,03	00:03	6,20	90
Montante da galeria / BR-040	1.291,10	00:05	13,20	80
Jusante da galeria / BR-040	1.289,86	00:08	5,60	70
IBAMA	1.245,00	00:12	1,40	45
Reservatório da Barragem do Miguelão	1.202,98	00:18	-	30

(1) Os resultados apresentados correspondem aos resultados obtidos nas seções analisadas;

(2) O tempo de chegada da onda corresponde a uma inundação com altura mínima de 0,5 m.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 54/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

7.3 EFEITOS DA RUPTURA DA BARRAGEM CACHOEIRINHA NA BARRAGEM DO MIGUELÃO

A barragem do Miguelão de propriedade da AngloGold Ashanti, é parte integrante do Sistema de Pequenas Centrais Hidrelétricas Rio de Peixe, situada no córrego Capitão da Mata, cerca de 5,30 km a jusante da Barragem Cachoeirinha. A barragem é constituída por um maciço de terra compactada, com núcleo impermeável em concreto armado, interligado ao maciço rochoso das fundações através de diafragma de concreto. A crista encontra-se na El. 1.210,59 m, com uma altura máxima da ordem de 32 m. O sistema extravasor é composto por um vertedouro constituído por 6 vãos de soleira livre, com El. 1208.40 m, um sifão e duas adufas. De acordo com levantamento topobatimétrico realizado pela AGACSM em janeiro/2017, o volume disponível no reservatório atual é da ordem de 6,24 Mm³ (El. 1.208,40 m).

As curvas de descarga dos dispositivos extravasores da barragem do Miguelão e a cota x área são apresentadas nas Tabelas 7.5 e 7.6 a seguir.

Tabela 7.5 – Curvas de Descarga dos Dispositivos Extravasores

Vazões (m ³ /s)			
N.A. (m)	Vertedouro	Adufas	Total
1208,40	0,00	61,36	61,36
1208,80	8,09	63,87	81,06
1209,20	22,38	66,30	98,08
1209,60	40,22	68,63	118,55
1210,00	60,55	70,89	141,43
1210,40	82,70	73,08	166,04
1210,80	106,19	75,20	191,92
1211,20	130,63	77,27	218,69
1212,20	193,93	82,21	287,57
1213,20	257,44	86,87	356,34
1214,20	318,20	91,29	422,09



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 55/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Tabela 7.6 – Curva Cota x Área



NA (m)	A (m ²)
1208,40	759.400
1208,80	774.700
1209,20	790.000
1209,60	805.300
1210,00	820.600
1210,40	835.900
1210,80	851.100
1211,20	866.400
1212,20	904.600
1213,20	942.900
1214,20	981.100

Para avaliação dos efeitos da onda de impacto proveniente da ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha no reservatório de Miguelão, foi utilizada o modelo HEC-HMS, desenvolvido pelo U.S Corps of Engineers, considerando o N.A. normal do reservatório e desconsiderando a operação das adufas. Os resultados são apresentados na Tabela 7.7.

Tabela 7.7 - Níveis no Reservatório de Miguelão

	Cenário 1 (galgamento)	Cenário 2 (<i>piping</i>)	Cenário 3 (<i>piping</i> 70%)	Cenário 4 (<i>piping</i> 50%)
N.A.	1.208,70	1.208,67	1.208,58	1.208,51

A cheia efluente da ruptura da Barragem Cachoeirinha, em se propagando até a Barragem do Miguelão, chegaria com uma vazão menor do que a capacidade do vertedouro existente, com soleira na El. 1.208,40 m, em estrutura de concreto, vazão esta sendo restituída para jusante em condições de segurança adequadas. O nível máximo obtido no reservatório de Miguelão, para o cenário de ruptura mais crítico (Cenário 1), corresponde a El. 1.208,70 m, portanto não provocaria galgamento na estrutura.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 56/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Ressalta-se que os níveis obtidos nas análises realizadas neste estudo, devem ser considerados apenas como aproximados, dadas as inúmeras variáveis inerentes à ruptura e à propagação do escoamento considerado nas simulações.

Salienta-se que na avaliação dos efeitos da onda de ruptura no reservatório de Miguelão não foi considerada a operação das adufas. Sendo assim, para minimizar os impactos da onda de cheia no reservatório de Miguelão, em caso de uma eventual ruptura da Barragem Cachoeirinha, as adufas deverão ser acionadas por medidas de segurança.

7.4 ÁREAS AFETADAS PELA ONDA DE CHEIA MÁXIMA

A área potencialmente atingida corresponde à área interna da Mina Pau Branco, a rodovia BR-040 e a área do IBAMA sendo, o CRAS – Centro de Reabilitação de Animais Silvestres - o clube da ASIBAMA e uma edificação residencial no mesmo local. Seriam afetadas também áreas de florestas situadas na região de abrangência da onda de ruptura.

O número de edificações e benfeitorias potencialmente atingidas situadas na área de abrangência da onda de ruptura, na zona rural do município de Nova Lima, foram levantadas *in loco* pela CDM - Cooperação para o Desenvolvimento e Morada Humana – em novembro de 2018, conforme o documento “Relatório Preliminar Cadastro Físico-Ambiental IBAMA - Nova Lima/MG” – fornecido pela Vallourec, apresentado no Anexo 11.5. De acordo com o referido documento, seriam atingidas 02 (duas) edificações, nas quais 06 (seis) pessoas trabalham e residem no local, e 02 (duas) pessoas apenas trabalham, totalizando 08 (oito) pessoas.

Ressalta-se que é de responsabilidade da Vallourec manter a base de dados atualizada de toda população situada na ZAS.

Os pontos críticos considerados neste estudo e os mapas com as envoltórias da mancha de inundação, tempos de chegada da onda de cheia, profundidade e velocidade máximas para cada cenário são apresentados nas Figuras 7.1 a 7.8.

Os mapas de inundação foram gerados a partir da interface entre os programas HEC-RAS 5.0.3 e o ARCGIS 10.5 no sistema geodésico SIRGAS2000 e apresentados nos desenhos CBV-C-BC-DE-101-0 ao CBV-C-BC-DE-119-0 (ANEXO 11.4).

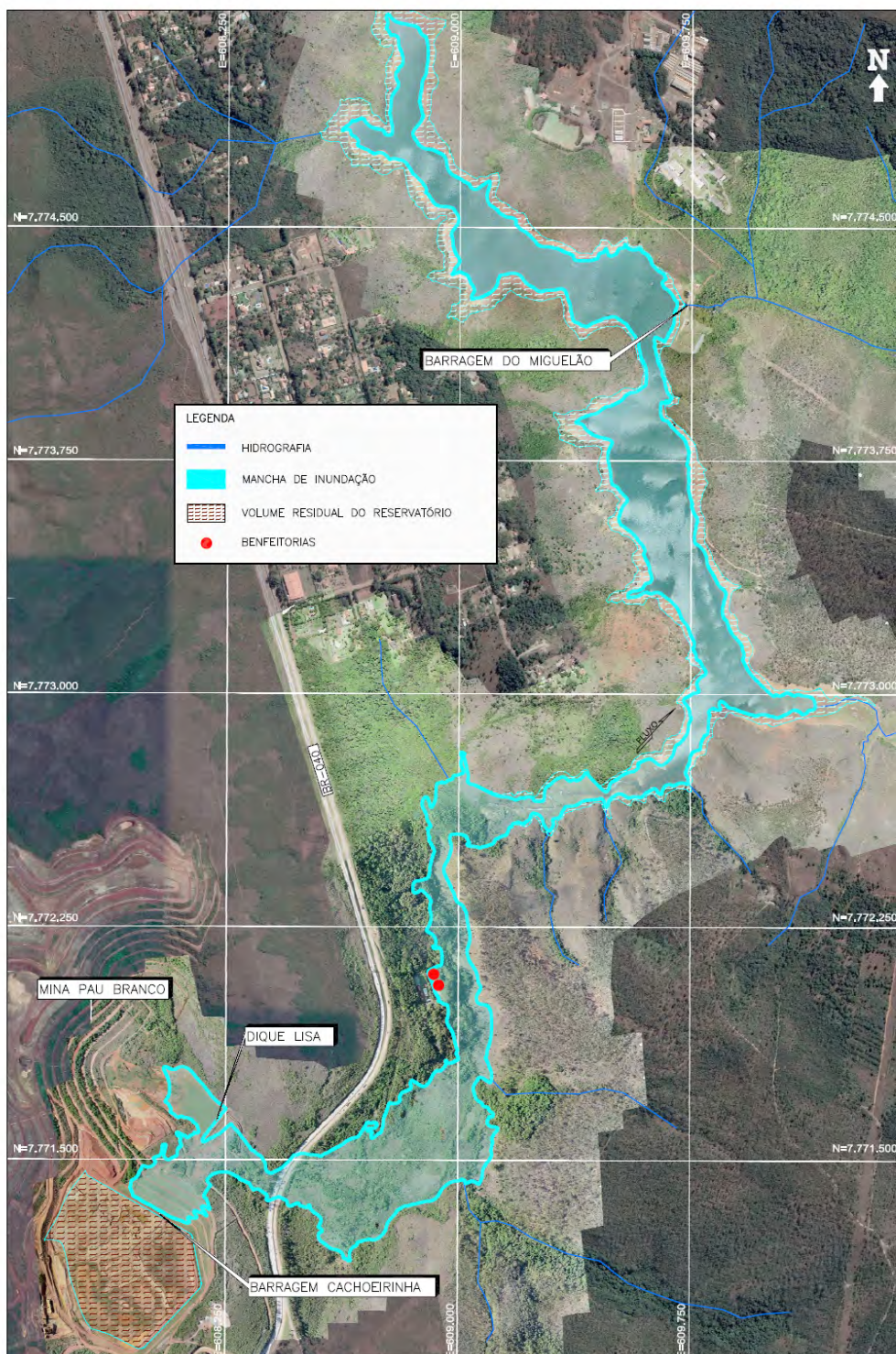


Figura 7.1 - Área de Inundação - Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1)

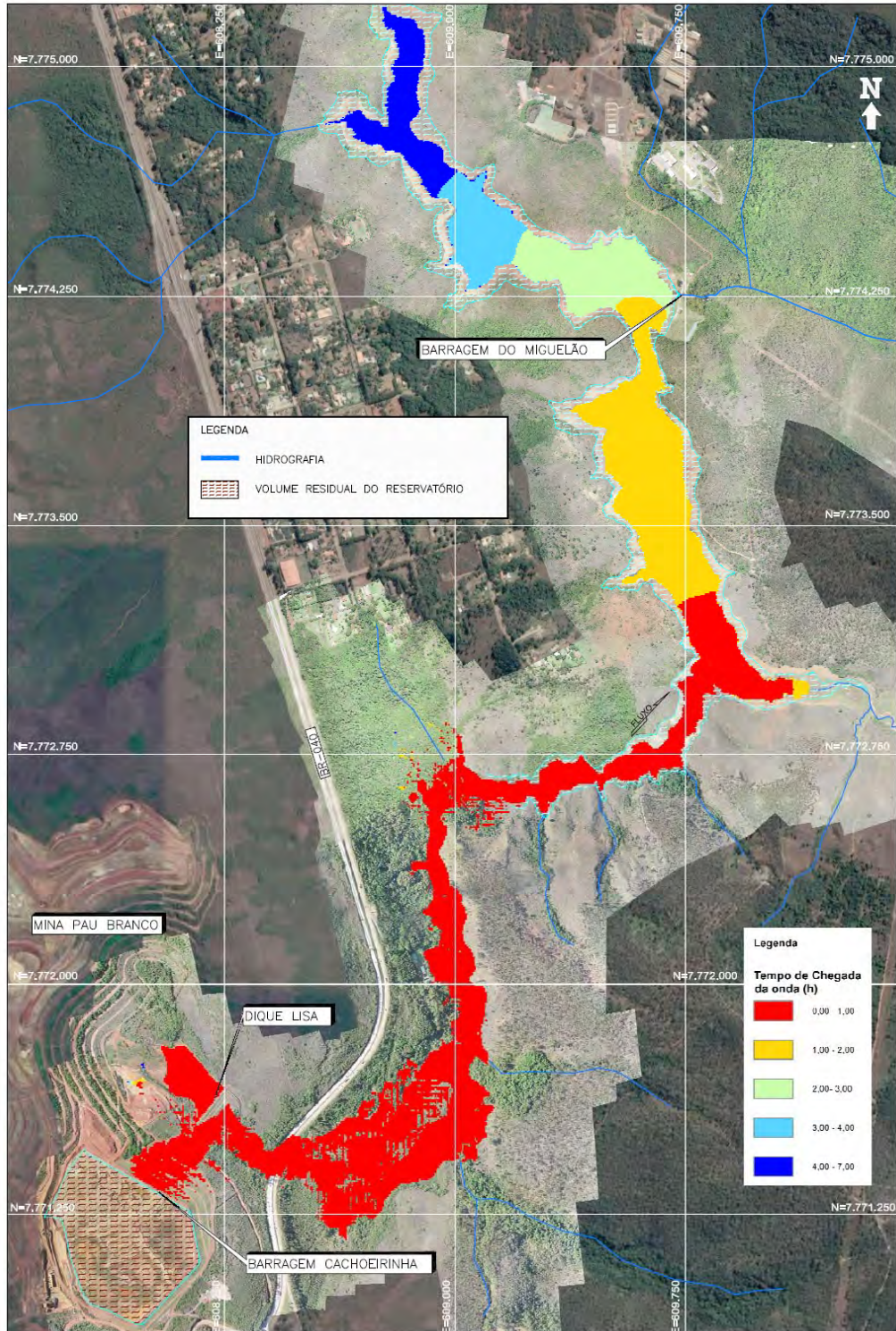


Figura 7.2 - Tempo de Chegada da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1)

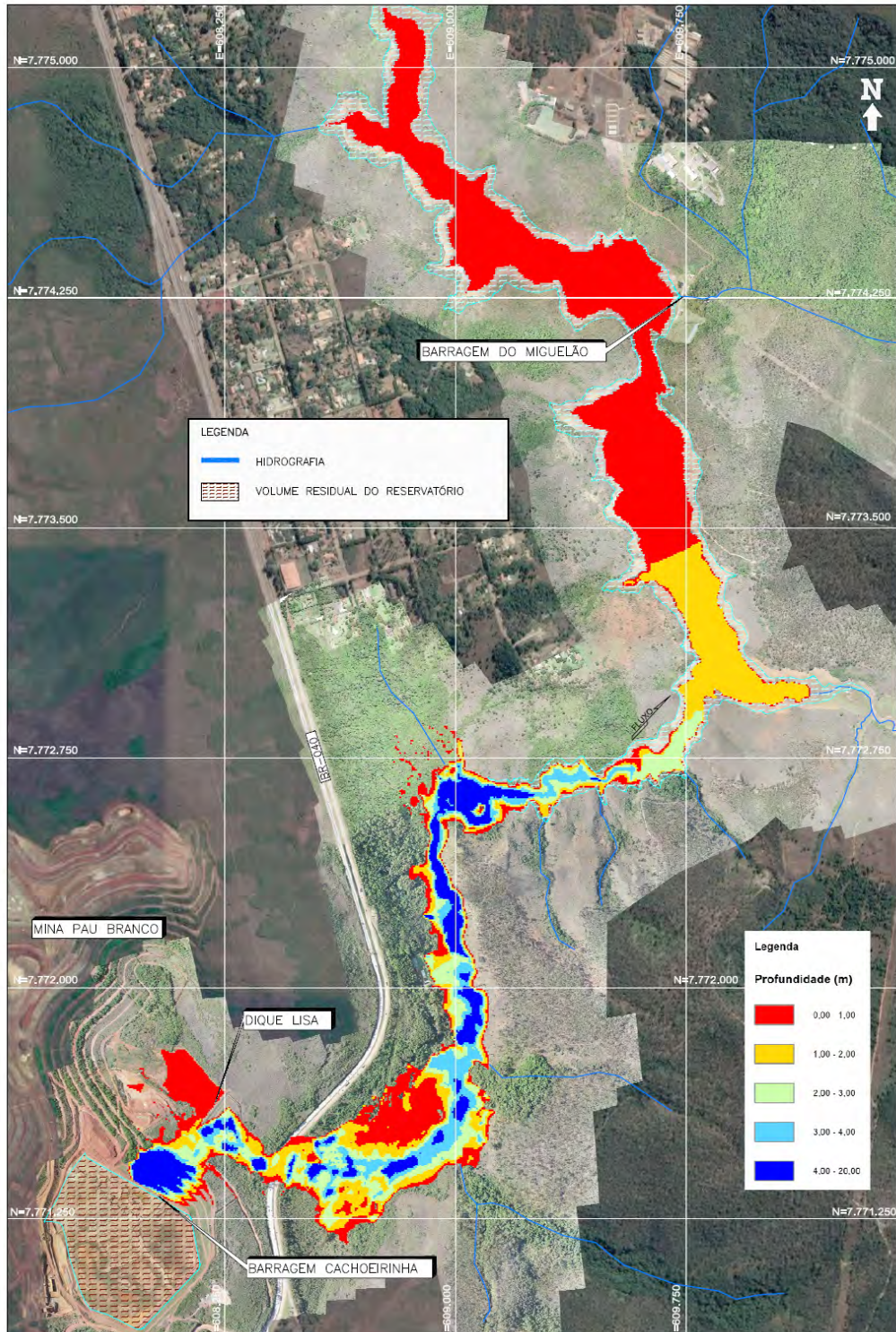


Figura 7.3 - Profundidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1)

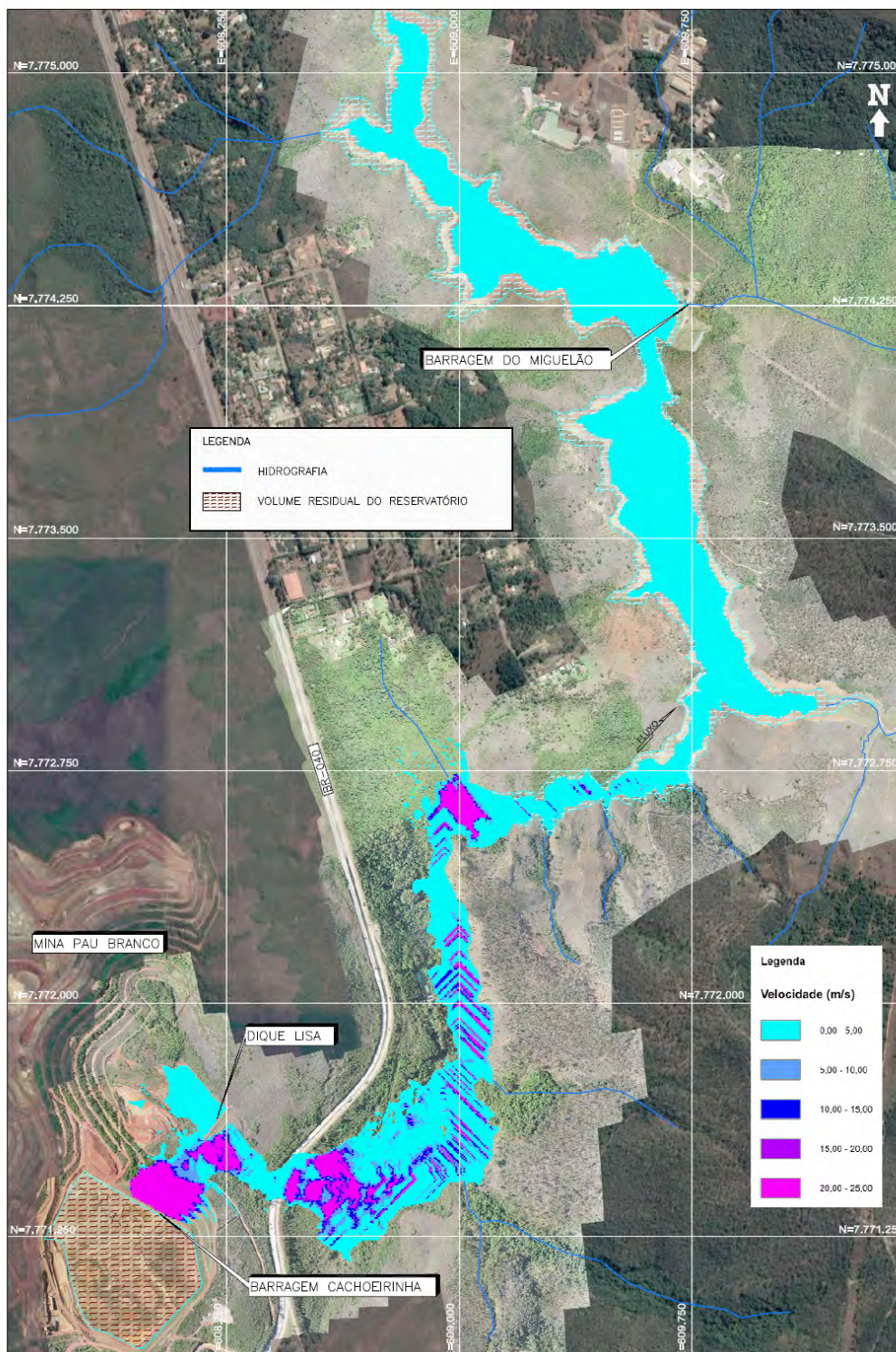
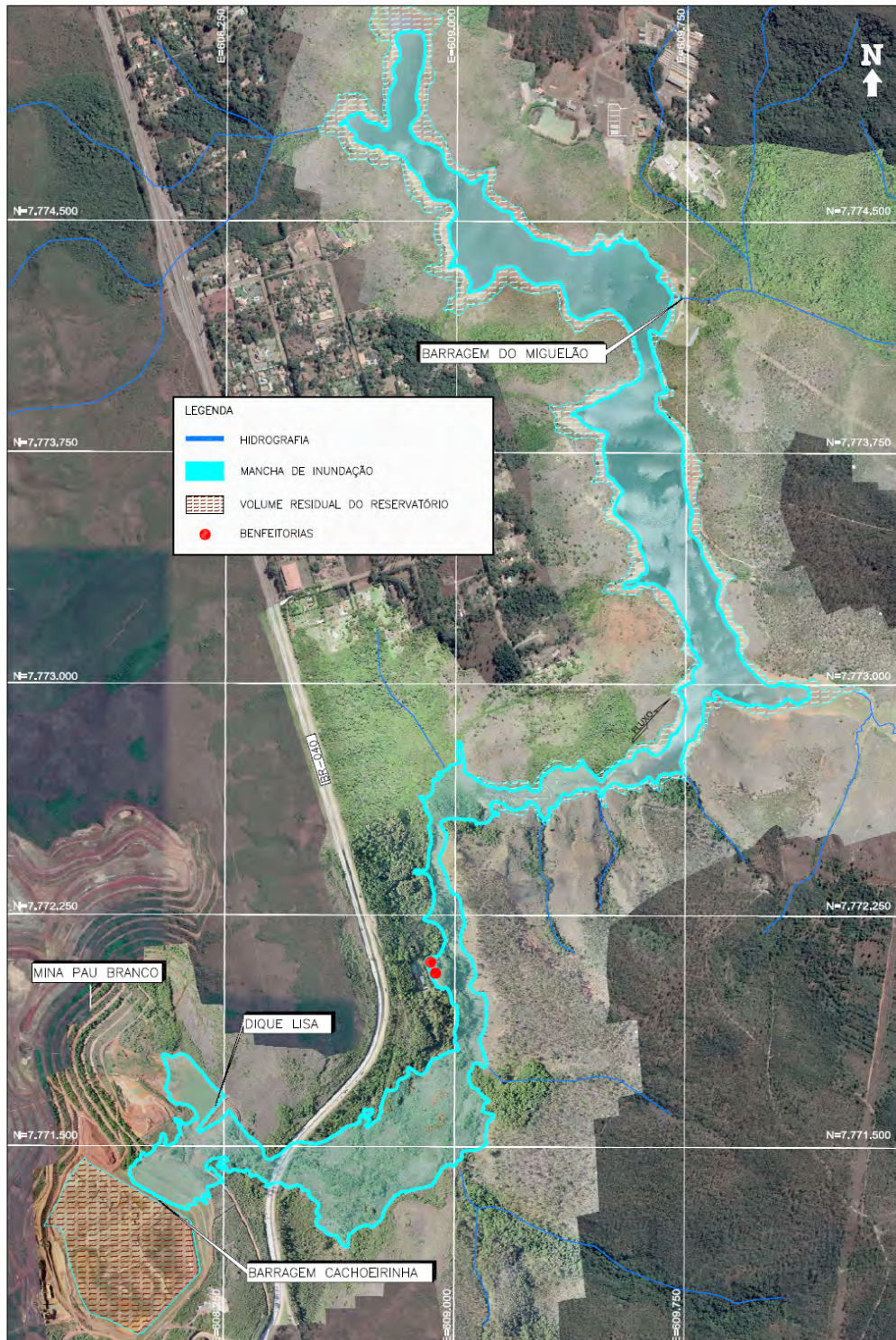


Figura 7.4 - Velocidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por Galgamento (Cenário 1)

Figura 7.5 - Área de Inundação - Ruptura da Barragem Cachoeirinha por *Piping* (Cenário 2)

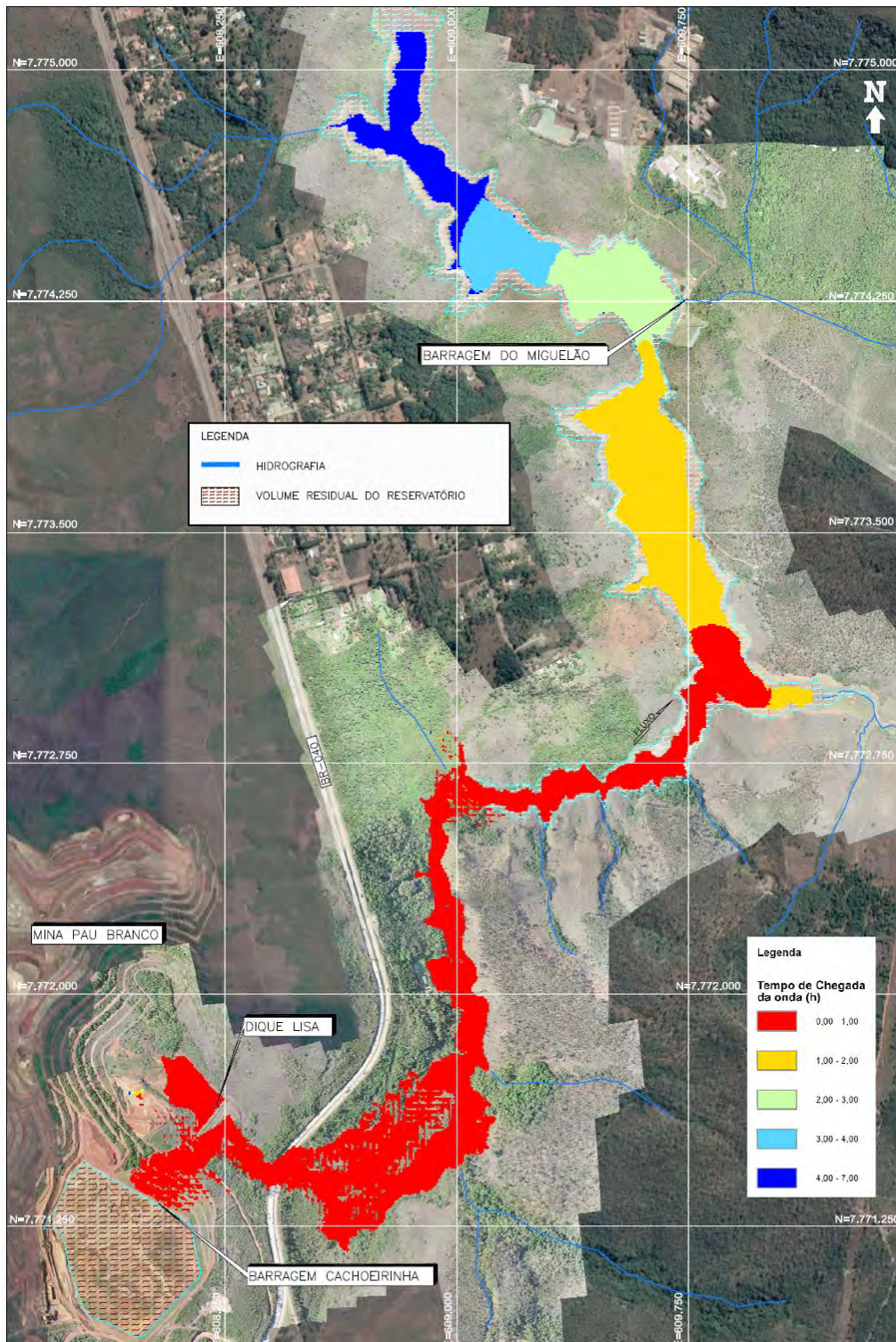


Figura 7.6 - Tempo de Chegada da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por *Piping* (Cenário 2)

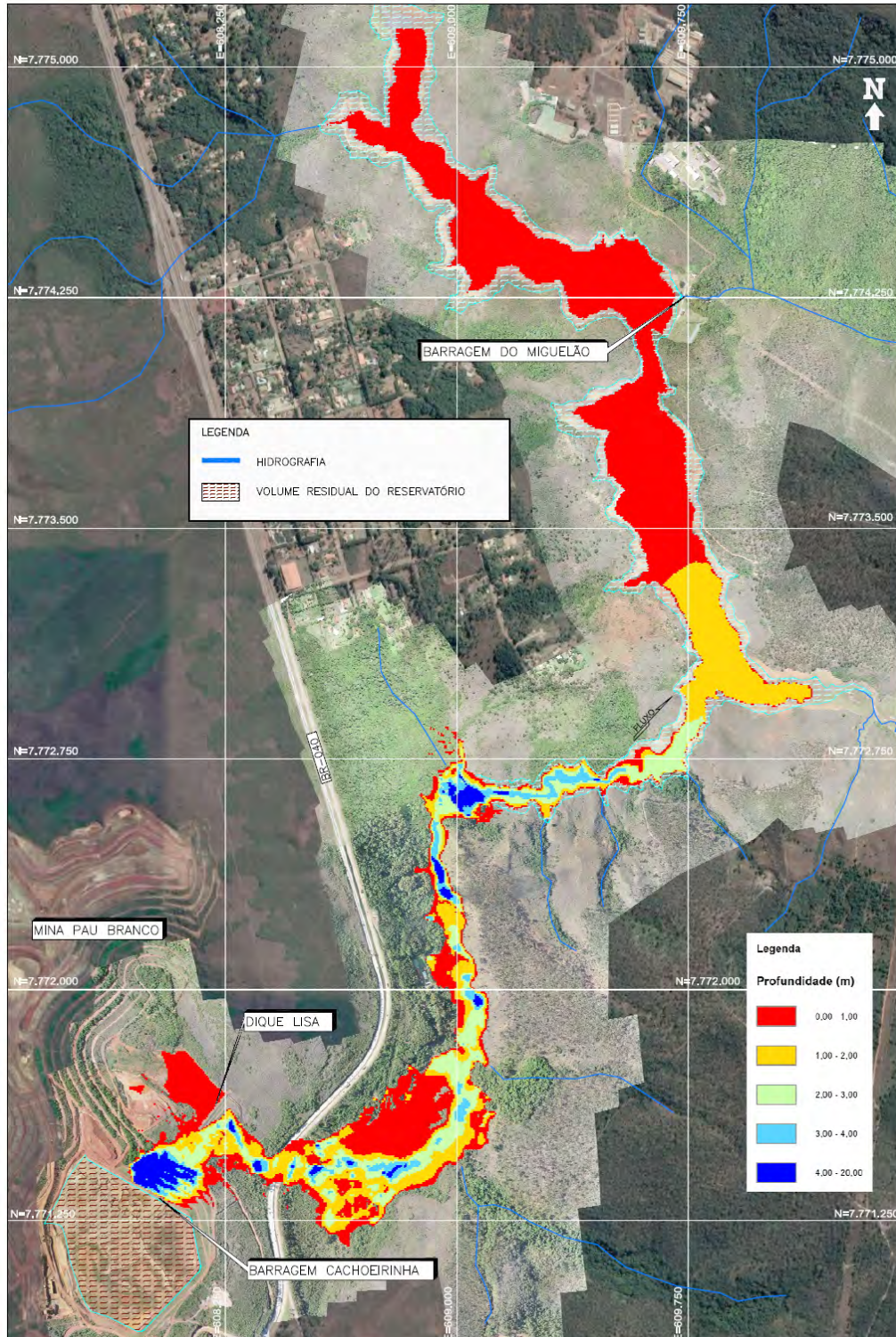


Figura 7.7 - Profundidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por *Piping* (Cenário 2)

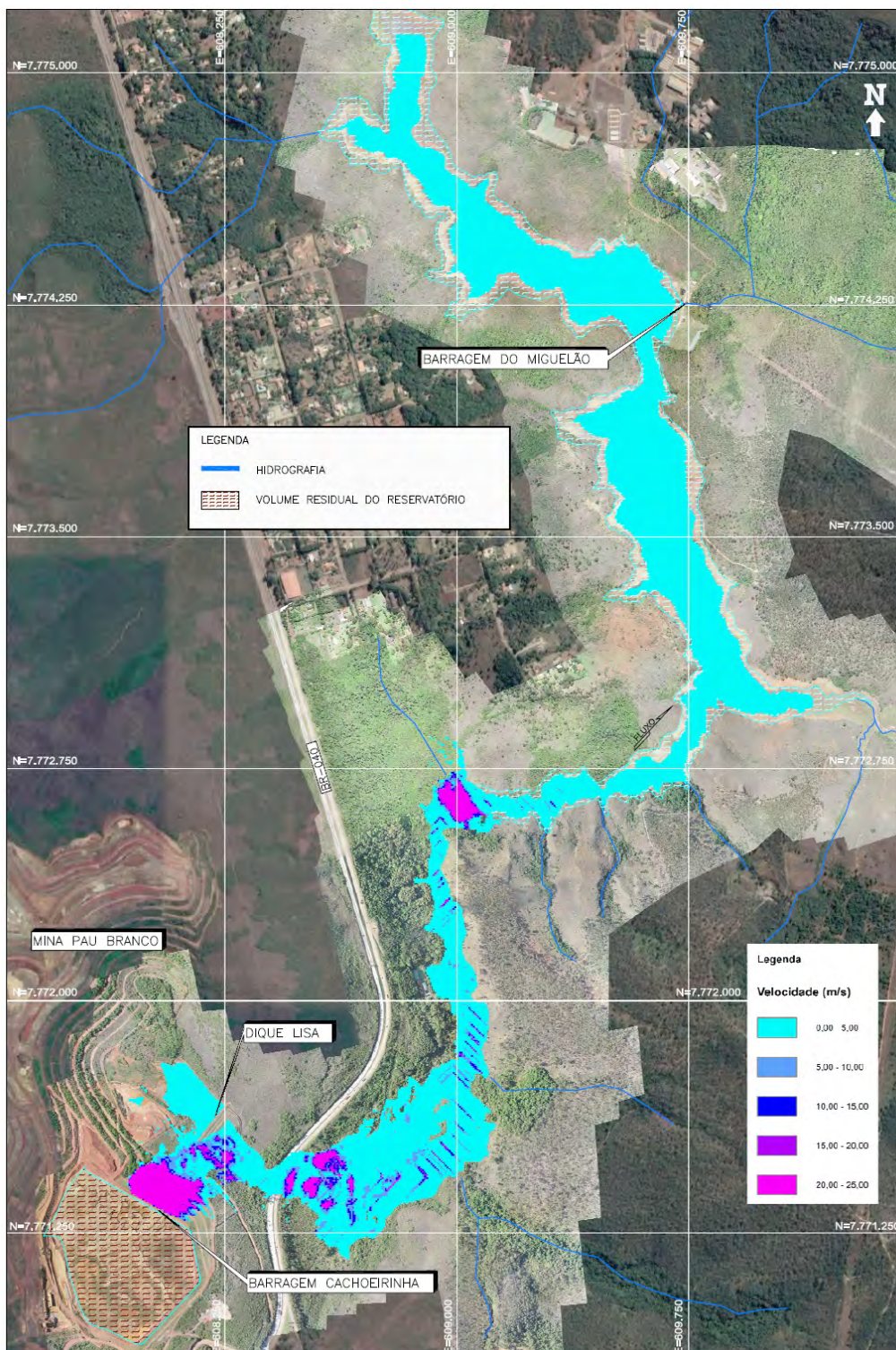




Figura 7.8 - Velocidade Máxima da Onda – Ruptura da Barragem Cachoeirinha por *Piping* (Cenário 2)

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 65/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

8 ÁREA DE AUTOSSALVAMENTO

Conforme a Portaria Nº 70.389, de 17 de maio de 2017, a Zona de Autossalvamento é definida como a região a jusante da barragem onde se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente, cabendo ao empreendedor da barragem alertar a população potencialmente afetada nessa região.

Neste estudo adotou-se como critério para escolha da zona de autossalvamento (ZAS) a região em que a onda de inundação tenha percorrido um trecho de 5,3 km a partir do eixo da Barragem Cachoeirinha ao longo dos vales do córrego Cachoeirinha e córrego Capitão da Mata, até a Barragem do Miguelão.

Ressalta-se que, na definição da ZAS foi considerado o cenário de ruptura de maior impacto na região, caracterizada como área de maior risco, conforme recomendado pelo DNPM/ANM.

A Figura 8.1 apresenta a localização da ZAS definida em caso de uma eventual ruptura da Barragem Cachoeirinha. Nota-se que a onda de impacto afetaria a área da Mina Pau Branco, a rodovia BR-040 e a Barragem do Miguelão. Por se tratar de uma região de tráfego rápido e intenso de veículos, a área da ZAS foi extrapolada nas rodovias BR-040 e BR-356, visando uma maior abrangência dos sistemas de alerta nas áreas de maior risco.

Em decorrência de rupturas recentes de barragens de rejeitos, no presente estudo considerou-se a área total do reservatório inserida na zona de autossalvamento.

O limite da ZAS apresenta um tempo de chegada da onda em torno de 00h:50min, correspondente ao tempo de propagação da cheia até o vertedouro da Barragem de Miguelão, para a hipótese de ruptura mais crítica (Cenário 1).

A localização da ZAS é apresentada nos respectivos desenhos CBV-C-BC-DE-113-0, CBV-C-BC-DE-114-0 e CBV-C-BC-DE-115-0.

A área potencialmente atingida corresponde à área interna da Mina Pau Branco, a rodovia BR-040 e a área do IBAMA sendo, o CRAS, o clube da ASIBAMA e uma casa existente no mesmo local. Seriam afetadas também áreas de florestas situadas na região de abrangência da onda de ruptura.

Ressalta-se que o número de edificações e benfeitorias potencialmente atingidas situadas na área de abrangência da onda de ruptura, na zona rural do município de Nova Lima, foram

levantadas *in loco* pela CDM - Cooperação para o Desenvolvimento e Morada Humana – em novembro de 2018, conforme o documento “Relatório Preliminar Cadastro Físico-Ambiental IBAMA - Nova Lima/MG” – fornecido pela Vallourec.

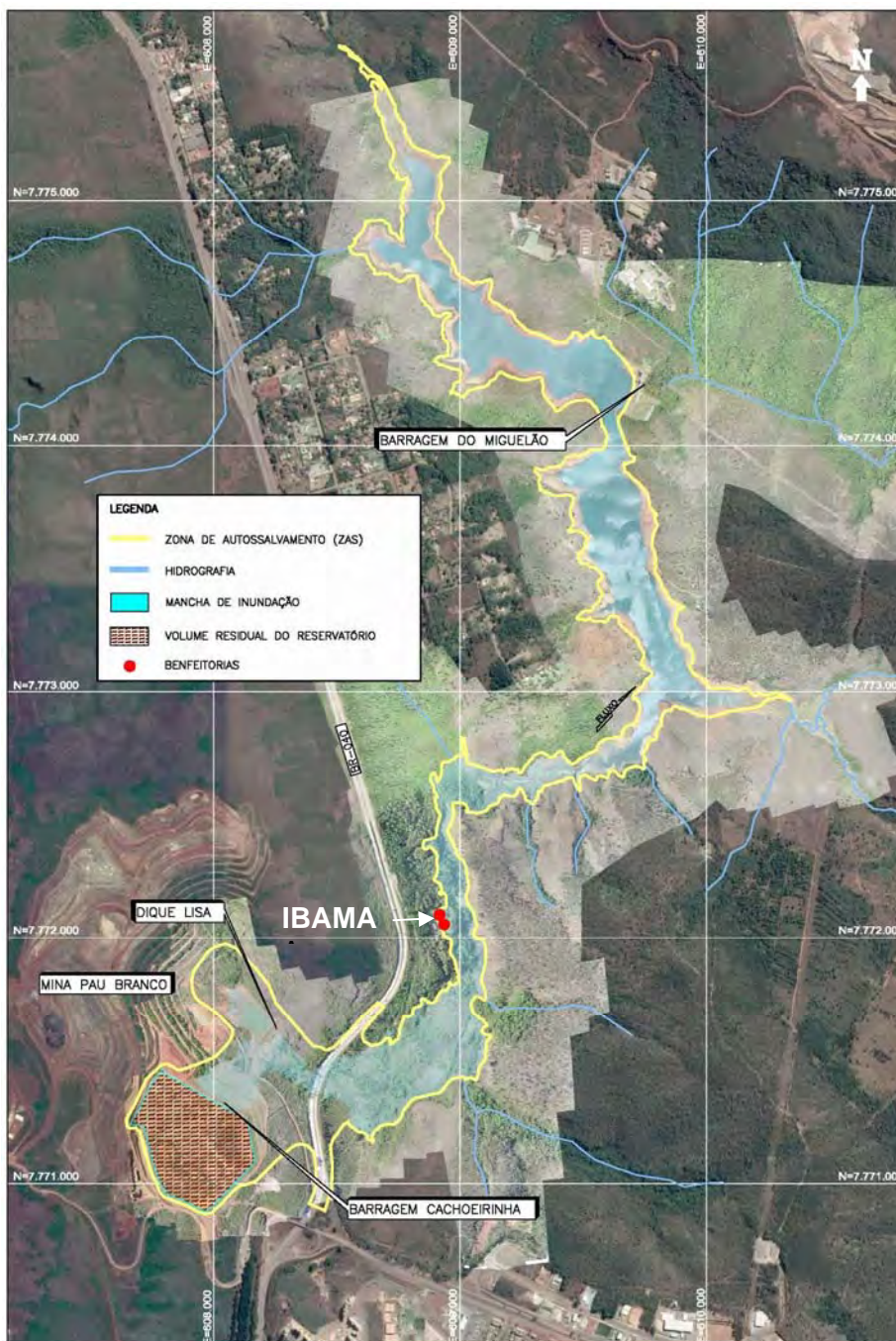




Figura 8.1 – Localização da Zona de Autossalvamento (ZAS)

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 67/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

9 CONCLUSÕES



Na hipótese de ruptura da Barragem Cachoeirinha por galgamento (Cenário 1), seriam afetados os acessos operacionais na Mina Pau Branco e provocaria instabilidade nos taludes do Dique Lisa. Seriam atingidas também a rodovia BR-040 e instalações, edificações e benfeitorias na área do IBAMA. Além disso, a passagem da onda de ruptura provocaria carreamento de carga sólida para o reservatório de Miguelão e provocaria o assoreamento do mesmo. A área de inundação seria da ordem de 125,0 ha, com uma extensão total de aproximadamente 5,30 km, compreendido nos talwegues naturais do córrego Cachoeirinha e o reservatório de Miguelão.

Para uma eventual ruptura da Barragem Cachoeirinha por *piping* (Cenários 2, 3 e 4), seriam afetados os acessos operacionais na Mina Pau Branco e provocaria instabilidade nos taludes do Dique Lisa. Assim como no cenário anterior, seriam atingidas também a rodovia BR-040 e instalações, edificações e benfeitorias na área do IBAMA. Além disso, a passagem da onda de ruptura provocaria carreamento de carga sólida para o reservatório de Miguelão, e por consequência o assoreamento do mesmo. Considerando a condição mais crítica de ruptura por *piping*, a área de inundação seria da ordem de 121,0 ha, com uma extensão total de aproximadamente 5,30 km, compreendido nos talwegues naturais do córrego Cachoeirinha e o reservatório de Miguelão.

A passagem da onda de ruptura na área do IBAMA afetaria edificações e benfeitorias existentes, sendo: 2 (duas) edificações, nas quais 06 (seis) pessoas trabalham e residem neste local, e; 02 (duas) pessoas apenas trabalham no local, totalizando 08 (oito) pessoas, conforme o cadastro da CDM realizado em outubro de 2018. Seriam afetadas também áreas de florestas situadas na região de abrangência da onda de ruptura.

Ressalta-se que é de responsabilidade da Vallourec manter a base de dados atualizada de toda população situada na ZAS.

Conforme apresentado neste estudo, o cenário de ruptura de maior impacto representa o Cenário 1 correspondente à ruptura da Barragem Cachoeirinha por galgamento, considerando a ruptura conjunta da Dique Lisa.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 68/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

Conforme apresentado neste estudo, a onda de inundação provocada pela ruptura hipotética da Barragem Cachoeirinha seria amortecida pelo reservatório de Miguelão. Ressalta-se que a propagação dos rejeitos e sedimentos transportados pela água continuaria provocando impactos ambientais, sociais e econômicos nas regiões a jusante, em função da regra operacional do reservatório de Miguelão. Salienta-se que para a avaliação dos efeitos da onda de ruptura no reservatório de Miguelão não foi considerada a operação das adufas. Sendo assim, para minimizar os impactos da onda de cheia no reservatório de Miguelão, em caso de uma eventual ruptura da Barragem Cachoeirinha, as adufas deverão ser acionadas por medidas de segurança.



É importante frisar que as áreas a jusante da Barragem do Miguelão, ponto de parada da propagação da onda de ruptura, poderão estar sujeitas a cheias condicionadas à regra operacional da Barragem do Miguelão.

Ressalta-se que os níveis obtidos nas análises realizadas neste estudo, devem ser considerados apenas como aproximados, dadas as inúmeras variáveis inerentes à ruptura e à propagação do escoamento considerado nas simulações.

Em decorrência da passagem da onda de ruptura, haverá o acúmulo de sedimentos ao longo do vale. Para atenuar ou impedir a sobrelevação posterior dos níveis das cheias naturais, haverá necessidade de dragagem da calha fluvial.

Ressalta-se que o estudo de Dam Break deverá ser revisado quando houver alteração nas condições e premissas consideradas neste estudo.



A ruptura estudada no Dam Break é induzida e que a probabilidade de sua ocorrência é remota, tendo em vista os critérios de projeto adotados para implantação da estrutura e o atendimento às normas de segurança brasileiras e internacionais e às normas de operação adotadas para a barragem.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 69/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00



10 EQUIPE TÉCNICA

No quadro a seguir, apresenta-se a equipe técnica responsável pelo trabalho:

EQUIPE TÉCNICA		
PROFISSIONAL	ÁREA DE ATUAÇÃO	RESPONSABILIDADE
Paulo Cesar Parra	Geotecnia	Coordenação e Revisão do Relatório
Orlando Vignoli Filho	Hidráulica	Revisão do Relatório
Soraya Salatiel Sampaio	Geotecnia	Revisão do Relatório
Felipe Augusto Ribeiro de Matos	Hidrologia / Estruturas	Elaboração dos Estudos de Dam Break e Relatório
Hugo Anastasia Modenesi	Hidrologia / Hidráulica	Elaboração dos Estudos Hidrológico-Hidráulicos

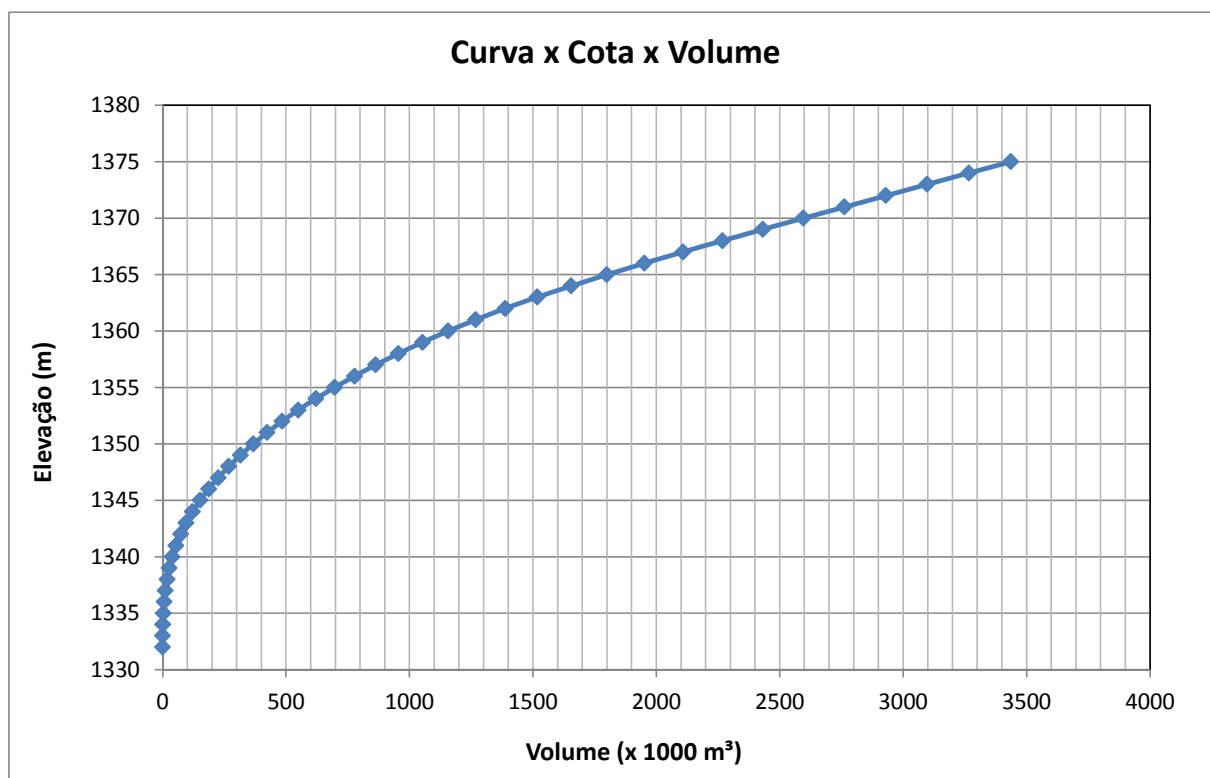
		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 70/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00



11 ANEXOS

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 71/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

11.1 CURVA COTA X VOLUME DO RESERVATÓRIO

11.1.1 - Curva Cota x Volume do Reservatório da Barragem Cachoeirinha



		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 73/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

11.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO DO SEDIMENTO



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO



BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
74/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

 GEOHRA GEOLOGIA & GEOTECNIA	CLIENTE:  PROJETOS DE ENGENHARIA	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
PROJETO VALLOUREC MINA PAU BRANCO ITABIRITO - MG ENSAIOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO			Nº (CONTRATADA) RT-GTR-1811	PÁGINA 16/18
			Nº (CONTRATANTE)	REV. 0

RESUMO

Registro	Identificação	Local de Coleta	Teor de Sólidos (%)
12632	H01	Barragem Santa Bárbara	78,71
12633	H01	Barragem Santa Bárbara	79,34
12634	H02	Barragem Lisa	71,24
12635	H02	Barragem Lisa	74,47
12636	H03	Barragem Cachoeirinha	74,80
12637	H03	Barragem Cachoeirinha	73,50
12638	H04	Barragem Cachoeirinha	66,81
12639	H04	Barragem Cachoeirinha	63,78
12640	H05	Barragem Cachoeirinha	67,70
12641	H05	Barragem Cachoeirinha	69,78
12642	H06	Barragem Cachoeirinha	67,41
12643	H06	Barragem Cachoeirinha	70,26



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO


BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
75/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

 GEOTHR GEOTECNIA & GEOTECNIA	CLIENTE:  PROJETOS DE ENGENHARIA	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
PROJETO VALLOUREC MINA PAU BRANCO ITABIRITO - MG ENSAIOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO			Nº (CONTRATADA)	PÁGINA
			RT-GTR-1811	15/18
			Nº (CONTRATANTE)	REV.
				0

ANEXO B – TEOR DE SÓLIDO



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
76/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

	GEOTHR GEOLOGIA & GEOTECNIA	CLIENTE: 	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
PROJETO VALLOUREC MINA PAU BRANCO ITABIRITO - MG ENSAIOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO			Nº (CONTRATADA) RT-GTR-1811	PÁGINA 14/18	
			Nº (CONTRATANTE)	REV. 0	

	GEOTHR GEOLOGIA & GEOTECNIA	MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO CILINDRO DE CRAVAÇÃO				
CLIENTE	DAM PROJETOS DE ENGENHARIA		OBRA	VALLOUREC - MINA PAU BRANCO		
MATERIAL	Rejeito	EST. COLETA	H05	CAMADA	HORIZONTE	LABORATORISTA
ESTACA / LOCAL	BARRAGEM CACHOEIRINHA		SERVIÇO	DATA	15/10/18	REGISTRO
MASSA ESPECÍFICA CAMPO			UMIDADE			
N.º DO CILINDRO	3	3	3	Umidade Higroscópica		
PESO DO SOLO + CILINDRO (g)	3.634,00	3.632,00	3.633,00	Cápsula nº	101	107
PESO DO CILINDRO (g)	1.664,90	1.664,90	1.664,90	Cápsula+solo+água	32,20	40,02
PESO DO SOLO (g)	1.969,10	1.967,10	1.968,10	Cápsula+solo	25,26	30,46
VOLUME DO CILINDRO (cm³)	1.044,29	1.044,29	1.044,29	Água	6,94	9,56
MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm³)	1,886	1,884	1,885	Tara	9,87	9,58
MASSA ESPECÍFICA SECA (g/cm³)	1,877	1,884	1,885	Solo	15,39	20,88
RESUMO DOS RESULTADOS				Umidade	45,09%	45,79%
MASSA ESPECÍFICA SECA. MÉDIA DA CAMADA DO CAMPO (g/cm³)			1,884	Umidade Média	45,44%	

	GEOTHR GEOLOGIA & GEOTECNIA	MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO CILINDRO DE CRAVAÇÃO				
CLIENTE	DAM PROJETOS DE ENGENHARIA		OBRA	VALLOUREC - MINA PAU BRANCO		
MATERIAL	Rejeito	EST. COLETA	H06	CAMADA	HORIZONTE	LABORATORISTA
ESTACA / LOCAL	BARRAGEM CACHOEIRINHA		SERVIÇO	DATA	15/10/18	REGISTRO
MASSA ESPECÍFICA CAMPO			UMIDADE			
N.º DO CILINDRO	3	3	3	Umidade Higroscópica		
PESO DO SOLO + CILINDRO (g)	3.722,00	3.720,00	3.720,00	Cápsula nº	36	62
PESO DO CILINDRO (g)	1.664,90	1.664,90	1.664,90	Cápsula+solo+água	38,41	33,87
PESO DO SOLO (g)	2.057,10	2.055,10	2.055,10	Cápsula+solo	29,99	26,90
VOLUME DO CILINDRO (cm³)	1.044,29	1.044,29	1.044,29	Água	8,42	6,97
MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm³)	1,970	1,968	1,968	Tara	9,87	9,58
MASSA ESPECÍFICA SECA (g/cm³)	1,962	1,968	1,968	Solo	20,12	17,32
RESUMO DOS RESULTADOS				Umidade	41,85%	40,24%
MASSA ESPECÍFICA SECA. MÉDIA DA CAMADA DO CAMPO (g/cm³)			1,968	Umidade Média	41,05%	



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
77/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

	GEOTHR GEOLOGIA & GEOTÉCNIA	CLIENTE: 	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
PROJETO VALLOUREC MINA PAU BRANCO ITABIRITO - MG ENSAIOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO			Nº (CONTRATADA) RT-GTR-1811	PÁGINA 13/18	
			Nº (CONTRATANTE)	REV. 0	

	GEOTHR GEOLOGIA & GEOTÉCNIA	MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO CILINDRO DE CRAVAÇÃO			
CLIENTE: DAM PROJETOS DE ENEGNHARIA		OBRA: VALLOUREC - MINA PAU BRANCO			
MATERIAL: Rejeito	EST. COLETA: H03	CAMADA:	HORIZONTE:	LABORATORISTA: Carlos Alexandre	
ESTACA / LOCAL: BARRAGEM CACHOEIRINHA	SERVIÇO:	DATA: 15/10/18		REGISTRO:	
MASSA ESPECÍFICA CAMPO			UMIDADE		
N.º DO CILINDRO	3	3	3	Umidade Higroscópica	
PESO DO SOLO + CILINDRO (g)	3.834,00	3.836,00	3.834,00	Cápsula nº	31 35
PESO DO CILINDRO (g)	1.664,90	1.664,90	1.664,90	Cápsula+solo+água:	35,61 36,72
PESO DO SOLO (g)	2.169,10	2.171,10	2.169,10	Cápsula+solo	28,94 29,77
VOLUME DO CILINDRO (cm³)	1.044,29	1.044,29	1.044,29	Água	6,67 6,95
MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm³)	2,077	2,079	2,077	Tara	9,26 8,98
MASSA ESPECÍFICA SECA (g/cm³)	2,070	2,079	2,077	Solo	19,68 20,79
RESUMO DOS RESULTADOS				Umidade	33,89% 33,43%
MASSA ESPECÍFICA SECA MÉDIA DA CAMADA DO CAMPO (g/cm³)		2,077		Umidade Média	33,66%

	GEOTHR GEOLOGIA & GEOTÉCNIA	MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO CILINDRO DE CRAVAÇÃO			
CLIENTE: DAM PROJETOS DE ENEGNHARIA		OBRA: VALLOUREC - MINA PAU BRANCO			
MATERIAL: Rejeito	EST. COLETA: H04	CAMADA:	HORIZONTE:	LABORATORISTA: Carlos Alexandre	
ESTACA / LOCAL: BARRAGEM CACHOEIRINHA	SERVIÇO:	DATA: 15/10/18		REGISTRO:	
MASSA ESPECÍFICA CAMPO			UMIDADE		
N.º DO CILINDRO	3	3	3	Umidade Higroscópica	
PESO DO SOLO + CILINDRO (g)	3.612,00	3.610,00	3.611,00	Cápsula nº	38 61
PESO DO CILINDRO (g)	1.664,90	1.664,90	1.664,90	Cápsula+solo+água:	33,64 38,13
PESO DO SOLO (g)	1.947,10	1.945,10	1.946,10	Cápsula+solo	24,98 27,85
VOLUME DO CILINDRO (cm³)	1.044,29	1.044,29	1.044,29	Água	8,66 10,28
MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm³)	1,865	1,863	1,864	Tara	9,76 8,89
MASSA ESPECÍFICA SECA (g/cm³)	1,854	1,863	1,864	Solo	15,22 18,96
RESUMO DOS RESULTADOS				Umidade	56,90% 54,22%
MASSA ESPECÍFICA SECA MÉDIA DA CAMADA DO CAMPO (g/cm³)		1,863		Umidade Média	55,56%



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
78/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

GEOTHRÁ GEOLÓGIA & GEOTÉCNICA	CLIENTE: PROJETOS DE ENGENHARIA	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
			Nº (CONTRATANTE)	REV. 0

GEOTHRÁ GEOLÓGIA & GEOTÉCNICA	MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO CILINDRO DE CRAVAÇÃO				
	CLIENTE: DAM PROJETOS DE ENGENHARIA			OBRA: VALLOUREC - MINA PAU BRANCO	
MATERIAL: Sedimento	EST. COLETA: H01	CAMADA:	HORIZONTE:	LABORATORISTA: Carlos Alexandre	
ESTACA/ LOCAL: BARRAGEM SANTA BÁRBARA	SERVIÇO:	DATA: 15/10/18	REGISTRO:		
MASSA ESPECÍFICA CAMPO			UMIDADE		
Nº DO CILINDRO	1	1	1	Umidade Higroscópica	
PESO DO SOLO + CILINDRO (g)	2.384,00	2.385,00	2.382,00	Cápsula nº 12	41
PESO DO CILINDRO (g)	1.742,20	1.742,20	1.742,20	Cápsula+solo+água	35,82
PESO DO SOLO (g)	641,80	642,80	639,80	Cápsula+solo	34,93
VOLUME DO CILINDRO (cm³)	1.021,13	1.021,13	1.021,13	Água	5,37
MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm³)	0,629	0,629	0,627	Tara	9,39
MASSA ESPECÍFICA SECA (g/cm³)	0,627	0,629	0,627	Solo	25,54
RESUMO DOS RESULTADOS				Umidade	25,78%
MASSA ESPECÍFICA SECA. MÉDIA DA CAMADA DO CAMPO (g/cm³)			0,627	Umidade Média	25,15%

GEOTHRÁ GEOLÓGIA & GEOTÉCNICA	MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO CILINDRO DE CRAVAÇÃO				
	CLIENTE: DAM PROJETOS DE ENGENHARIA			OBRA: VALLOUREC - MINA PAU BRANCO	
MATERIAL: Rejeito	EST. COLETA: H02	CAMADA:	HORIZONTE:	LABORATORISTA: Carlos Alexandre	
ESTACA/ LOCAL: BARRAGEM LISA	SERVIÇO:	DATA: 15/10/18	REGISTRO:		
MASSA ESPECÍFICA CAMPO			UMIDADE		
Nº DO CILINDRO	2	2	2	Umidade Higroscópica	
PESO DO SOLO + CILINDRO (g)	4.112,00	4.112,00	4.110,00	Cápsula nº 19	28
PESO DO CILINDRO (g)	1.735,40	1.735,40	1.735,40	Cápsula+solo+água	27,59
PESO DO SOLO (g)	2.376,60	2.376,60	2.374,60	Cápsula+solo	32,68
VOLUME DO CILINDRO (cm³)	1.023,15	1.023,15	1.023,15	Água	4,85
MASSA ESPECÍFICA ÚMIDA (g/cm³)	2,323	2,323	2,321	Tara	9,42
MASSA ESPECÍFICA SECA (g/cm³)	2,315	2,323	2,321	Solo	23,26
RESUMO DOS RESULTADOS				Umidade	35,43%
MASSA ESPECÍFICA SECA. MÉDIA DA CAMADA DO CAMPO (g/cm³)			2,321	Umidade Média	35,43%



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO



BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
79/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

 GEOETHRA <small>GRUPO DE PROJETOS DE ENGENHARIA</small>	CLIENTE:  <small>PROJETOS DE ENGENHARIA</small>	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
			Nº (CONTRATADA) RT-GTR-1811	PÁGINA 11/18
PROJETO VALLOUREC MINA PAU BRANCO ITABIRITO - MG ENSAIOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO			Nº (CONTRATANTE)	REV. 0

ANEXO A – MASSA ESPECÍFICA APARENTE IN SITU (CRAVAÇÃO DE CILINDRO)

 GEOTHRA GEOLOGIA & GEOTÉCNICA	CLIENTE:  PROJETO DE ENGENHARIA	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
PROJETO VALLOUREC MINA PAU BRANCO ITABIRITO - MG ENSAIOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO			Nº (CONTRATANTE)	REV. 0

UNIDADE	Registro:	2018.12638		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H4		
	nº capsula	10	103	296
	cap+solo úmido	124,67	128,24	116,67
	cap+solo seco	87,08	88,88	82,02
	água	37,59	39,36	34,65
	tara	11,03	10,24	12,06
	polpa	113,64	118,00	104,61
	solo seco	76,05	78,64	69,96
	umidade	49,43	50,05	49,53
	% sólidos	66,92	66,64	66,88
	média % sólidos	66,81		

UNIDADE	Registro:	2018.12639		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H4		
	nº capsula	28	63	66
	cap+solo úmido	138,23	138,62	126,57
	cap+solo seco	92,2	92,89	85,35
	água	46,03	45,63	41,22
	tara	11,10	12,86	12,69
	polpa	127,13	125,76	113,98
	solo seco	81,10	80,13	72,76
	umidade	56,76	56,94	56,65
	% sólidos	63,79	63,72	63,84
	média % sólidos	63,78		

UNIDADE	Registro:	2018.12640		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H5		
	nº capsula	50	102	118
	cap+solo úmido	128,14	133,43	110,71
	cap+solo seco	91,45	94,02	79,71
	água	36,69	39,41	31,00
	tara	14,66	11,93	14,25
	polpa	113,49	121,50	96,46
	solo seco	76,80	82,09	65,46
	umidade	47,77	48,01	47,36
	% sólidos	67,67	67,56	67,86
	média % sólidos	67,70		

UNIDADE	Registro:	2018.12641		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H5		
	nº capsula	73	110	113
	cap+solo úmido	134,46	127,94	128,12
	cap+solo seco	98,29	93,61	92,66
	água	36,17	34,33	35,46
	tara	14,32	14,46	11,07
	polpa	120,14	113,48	117,05
	solo seco	83,97	79,15	81,59
	umidade	43,07	43,37	43,46
	% sólidos	69,89	69,75	69,71
	média % sólidos	69,78		

UNIDADE	Registro:	2018.12642		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H6		
	nº capsula	19	32	106
	cap+solo úmido	140,17	139,69	156,22
	cap+solo seco	98,57	97,78	109,73
	água	41,00	41,31	46,49
	tara	12,46	12,04	13,96
	polpa	127,71	127,05	142,26
	solo seco	86,11	85,74	95,77
	umidade	48,31	48,18	48,54
	% sólidos	67,43	67,49	67,32
	média % sólidos	67,41		

UNIDADE	Registro:	2018.12643		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H6		
	nº capsula	59	90	240
	cap+solo úmido	141,33	172,78	155,79
	cap+solo seco	102,44	125,21	113,13
	água	38,89	47,57	42,66
	tara	10,67	12,28	12,70
	polpa	130,66	160,50	143,09
	solo seco	91,77	112,93	100,43
	umidade	42,38	42,12	42,46
	% sólidos	70,24	70,36	70,19
	média % sólidos	70,26		



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
81/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

	GEOTHRA GEOLOGIA & GEOTECNIA	CLIENTE: PROJETOS DE ENGENHARIA	CLASSIFICAÇÃO: FINAL	RELATÓRIO TÉCNICO	
				Nº (CONTRATADA) RT-GTR-1811	PAGINA 17/18
PROJETO VALLOUREC MINA PAU BRANCO ITABIRITO - MG ENSAIOS GEOTÉCNICOS RELATÓRIO TÉCNICO				Nº (CONTRATANTE)	REV. 0

UNIDADE	Registro:	2018.12632		
	Local:	Barragem Santa Barbara		
	Furo:	H1		
	nº capsula	64	70	112
	cap+solo úmido	121,51	121,24	130,41
	cap+solo seco	98,15	98,37	105,42
	água	23,36	22,87	24,99
	tara	11,77	13,50	13,42
	polpa	109,74	107,74	116,99
	solo seco	86,38	84,87	92,00
	umidade	27,04	26,95	27,16
	% sólidos	78,71	78,77	78,64
média % sólidos	78,71			



UNIDADE	Registro:	2018.12633		
	Local:	Barragem Santa Barbara		
	Furo:	H1		
	nº capsula	49	74	235
	cap+solo úmido	123,72	153,31	125,07
	cap+solo seco	101,27	124,04	102,03
	água	22,45	29,27	23,64
	tara	14,65	12,33	11,05
	polpa	109,07	140,98	114,62
	solo seco	86,62	111,71	90,08
	umidade	25,92	26,20	25,98
	% sólidos	79,42	79,24	79,38
média % sólidos	79,34			

UNIDADE	Registro:	2018.12634		
	Local:	Barragem Lisa		
	Furo:	H2		
	nº capsula	3	33	67
	cap+solo úmido	167,06	142,65	199,45
	cap+solo seco	122,23	105,33	145,21
	água	44,83	37,32	54,24
	tara	12,70	11,83	10,46
	polpa	154,36	130,82	188,99
	solo seco	109,53	93,50	134,75
	umidade	40,93	38,91	40,25
	% sólidos	70,96	71,47	71,30
média % sólidos	71,24			

UNIDADE	Registro:	2018.12635		
	Local:	Barragem Lisa		
	Furo:	H2		
	nº capsula	45	84	89
	cap+solo úmido	172,49	171,55	163,61
	cap+solo seco	131,35	130,88	125,15
	água	41,14	40,67	38,46
	tara	12,60	11,48	12,52
	polpa	159,89	160,07	151,09
	solo seco	118,75	119,40	112,63
	umidade	34,64	34,06	34,15
	% sólidos	74,27	74,59	74,54
média % sólidos	74,47			

UNIDADE	Registro:	2018.12636		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H3		
	nº capsula	5	85	100
	cap+solo úmido	111,98	125,06	122,34
	cap+solo seco	88,42	96,38	94,51
	água	25,56	28,68	27,83
	tara	10,34	11,45	11,93
	polpa	101,64	113,61	110,41
	solo seco	76,08	84,93	82,58
	umidade	33,60	33,77	33,70
	% sólidos	74,65	74,76	74,79
média % sólidos	74,80			

UNIDADE	Registro:	2018.12637		
	Local:	Barragem Cachoeirinha		
	Furo:	H3		
	nº capsula	14	26	91
	cap+solo úmido	111,92	122,71	121,97
	cap+solo seco	85,40	93,66	92,6
	água	26,52	29,05	29,37
	tara	11,27	13,06	11,82
	polpa	100,65	109,65	110,15
	solo seco	74,13	80,60	80,78
	umidade	35,77	36,04	36,36
	% sólidos	73,65	73,51	73,34
média % sólidos	73,50			

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
		BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO	Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB-0219
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

11.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO FLUXO HIPERCONCENTRADO

A Tabela 11.1 apresenta os valores de do coeficiente de *Manning* em função da concentração volumétrica (C_v).

Tabela 11.1 - Coeficiente de *Manning* para o Fluxo Hiperconcentrado

Concentração Volumétrica - C_v (%)	<i>Manning</i> – (n)			
0	0,015	0,02	0,025	0,03
10	0,018	0,024	0,030	0,036
20	0,023	0,030	0,038	0,045
30	0,029	0,039	0,048	0,058
40	0,035	0,047	0,059	0,071
50	0,045	0,060	0,075	0,090



Fonte: *Sediment/Debris Bulking Factors and Post-fire Hydrology for Ventura-County - Final Report - West Consultains, inc Ventura County Watershed Protection District* (2011), página 4-4.

A Tabela 11.2 apresenta os valores da viscosidade cinemática e os coeficientes de expansão e contração em função da concentração volumétrica (C_v).

Tabela 11.2 - Coeficientes de Expansão / Contração e Viscosidade Cinemática Computacional para Fluxo Hiperconcentrado

Concentração Volumétrica - C_v (%)	Viscosidade Cinemática (ft^2/s)	Coeficiente de Expansão/Contração			
0 (valor original)	0,0000141	0,1	0,3	0,5	0,7
10	0,000067	0,036	0,107	0,178	0,249
20	0,00058	0,008	0,025	0,042	0,059
30	0,0052	0,002	0,006	0,010	0,014
40	0,031	0,0006	0,002	0,003	0,004
50	0,28	0,0001	0,0004	0,0007	0,0009

Fonte: *Sediment/Debris Bulking Factors and Post-fire Hydrology for Ventura-County - Final Report - West Consultains, inc Ventura County Watershed Protection District* (2011), página 4-3.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 83/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

11.4 DESENHOS



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

**BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº VALLOUREC
**MGO-GB-BC-DAMB-
0219**

PÁGINA
84/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00

Barragem de Cachoeirinha	
Nº FORNECEDOR / Nº VALLOUREC	DESCRIÇÃO
CBV-C-BC-DE-101 (MGO-GB-BC-DAMB-101)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Galgamento (Cenário 1)
	Áreas Afetadas pela Onda de Cheia Máxima - Planta
CBV-C-BC-DE-102 (MGO-GB-BC-DAMB-102)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Galgamento (Cenário 1)
	Tempo de Chegada da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-103 (MGO-GB-BC-DAMB-103)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Galgamento (Cenário 1)
	Profundidades da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-104 (MGO-GB-BC-DAMB-104)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Galgamento (Cenário 1)
	Velocidades da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-105 (MGO-GB-BC-DAMB-105)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.371,50 (Cenário 2)
	Áreas Afetadas pela Onda de Cheia Máxima - Planta
CBV-C-BC-DE-106 (MGO-GB-BC-DAMB-106)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.371,50 (Cenário 2)
	Tempo de Chegada da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-107 (MGO-GB-BC-DAMB-107)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping N.A. El.1.371,50 (Cenário 2)
	Profundidades da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-108 (MGO-GB-BC-DAMB-108)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.371,50 (Cenário 2)
	Velocidades da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-109 (MGO-GB-BC-DAMB-109)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.366,30 (Cenário 3)
	Áreas Afetadas pela Onda de Cheia Máxima - Planta
CBV-C-BC-DE-110 (MGO-GB-BC-DAMB-110)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.366,30 (Cenário 3)
	Tempo de Chegada da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-111 (MGO-GB-BC-DAMB-111)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.366,30 (Cenário 3)
	Profundidades da Onda de Cheia - Planta



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

**BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO**



Nº VALLOUREC
**MGO-GB-BC-DAMB-
0219**

PÁGINA
85/107



Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



Barragem de Cachoeirinha	
Nº FORNECEDOR / Nº VALLOUREC	DESCRIÇÃO
CBV-C-BC-DE-112 (MGO-GB-BC-DAMB-112)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.366,30 (Cenário 3)
	Velocidades da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-113 (MGO-GB-BC-DAMB-113)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.362,30 (Cenário 4)
	Áreas Afetadas pela Onda de Cheia Máxima - Planta
CBV-C-BC-DE-114 (MGO-GB-BC-DAMB-114)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.362,30 (Cenário 4)
	Tempo de Chegada da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-115 (MGO-GB-BC-DAMB-115)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.362,30 (Cenário 4)
	Profundidades da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-116 (MGO-GB-BC-DAMB-116)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Ruptura por Piping - N.A. El.1.362,30 (Cenário 4)
	Velocidades da Onda de Cheia - Planta
CBV-C-BC-DE-117 (MGO-GB-BC-DAMB-117)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" -
	Zona de Autossalvamento (ZAS) - Localização - Planta
CBV-C-BC-DE-118 (MGO-GB-BC-DAMB-118)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK"
	Zona de Autossalvamento (ZAS) - Localização - Planta - FL.01/02
CBV-C-BC-DE-119 (MGO-GB-BC-DAMB-119)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK"
	Zona de Autossalvamento (ZAS) - Localização - Planta - FL.02/02
CBV-C-BC-DE-201 (MGO-GB-BC-DAMB-201)	Barragem Cachoeirinha - EL.1.375,00
	Estudos de "DAM BREAK" - Levantamento Topográfico
	Planta, Seções e Detalhe

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 86/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

11.5 CADASTRO DA POPULAÇÃO POTENCIALMENTE ATINGIDA NA ZAS - ZONA DE AUTOSSALVAMENTO

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 87/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

O relatório apresentado a seguir corresponde ao documento do cadastro realizado pela CDM - Cooperação para Desenvolvimento e Morada Humana, em novembro de 2018, fornecido pela equipe técnica da Vallourec.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 88/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00

11.5.1 Relatório Preliminar Cadastro Físico Ambiental – IBAMA – Nova Lima/MG



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
89/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



COOPERAÇÃO PARA O
DESENVOLVIMENTO E
MORADA HUMANA

Relatório Preliminar
Cadastro Físico-Ambiental
IBAMA, Nova Lima/MG
Novembro/2018

Rua Joventina da Rocha, 289 – Heliópolis – Belo Horizonte – MG | Cep 31.741-450
Tel.: (31) 2103-2700 | Email: contato@cdm.org.br | www.cdm.org.br



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
90/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

CDM COOPERAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO E MORADA HUMANA

CNPJ: 21.867.551/0001-27

Rua Joventina da Rocha, 289, Bairro Heliópolis, Belo Horizonte – MG. CEP 31741-450

Telefone: (31) 2103-2700

E-mail: contato@cdm.org.br

EQUIPE TÉCNICA

Martionei Gomes - Geógrafo / Mestre em Administração

Tatiane Maia - Economista Doméstico

Vivian Ramos - Publicitária



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
91/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



Sumário

Apresentação	1
Escopo	1
Metodologia	2
Área de estudo	2
Caracterização	2
Localização das edificações na área de risco	3
Identificação das pessoas que frequentam as edificações do IBAMA	4
Percepções dos moradores sobre a mineração	5
Perfil das edificações	5
Perfil das pessoas	6
Histórico de risco	9
Dificuldade de auto salvamento	9
Considerações e recomendações	10
Apêndices	11
Apêndice 01	12
Apêndice 02	13
Referencial Bibliográfico	14



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
92/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



Índice de Figuras

Figura 1 - Mapa de Nova Lima e a localização do IBAMA	2
Figura 2 - Localização das edificações - 01	3
Figura 3 - Localização das edificações - 02	3

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Estado Civil.....	6
Gráfico 2 - Sexo	7
Gráfico 3 - Escolaridade.....	7
Gráfico 4 - Situação Ocupacional	8
Gráfico 5 - Rendimento	8
Gráfico 6 - Problemas de Saúde	9

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Identificação de pessoas	4
---	---



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
93/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



Apresentação

Este documento apresenta o Relatório Preliminar da Atualização do Cadastro físico-ambiental das edificações do IBAMA, localizado em Nova Lima/MG, através do contrato estabelecido entre Vallourec Mineração e CDM Cooperação para o Desenvolvimento e Morada Humana.

As operações da Vallourec Mineração estão concentradas na Mina Pau Branco, localizada na Serra da Moeda, borda oeste do Quadrilátero Ferrífero, no limite entre os municípios de Brumadinho -bacia hidrográfica do Rio Paraopeba- e Nova Lima -bacia hidrográfica do Rio das Velhas- distante 30km da capital mineira Belo Horizonte.

Preocupada com os impactos que a mineração pode gerar tanto social quanto ambientalmente aos públicos vizinhos à Mina Pau Branco, principalmente em casos de emergência, e buscando por um relacionamento mais próximo, a Vallourec empreendeu e junto com a CDM idealizou um projeto voltado para as áreas de risco. Primeiramente a mineradora realizou um estudo de impacto a fim de verificar quais imóveis seriam atingidos em caso de catástrofe -objetos deste trabalho- e posteriormente o projeto foi desenhado, resultando no cadastro preventivo de edificações.

Trata-se da atualização do cadastro preventivo realizado em março de 2017. Sendo seu principal objetivo conhecer a realidade local, as pessoas que moram e/ou exercem atividades produtivas nessa região. É importante ressaltar que o cadastro prioriza a percepção dos moradores e trabalhadores em relação ao processo de mineração, os riscos existentes, as vidas das pessoas e animais, além de plantações, e por esse motivo muitas questões da pesquisa estão diretamente relacionadas a estes itens. Através do cadastro será possível conhecer o público vizinho da empresa, bem como levantar questões que poderão compor o Plano de Ação Emergencial (PAE) da Vallourec.

As atividades de atualização do cadastro foram planejadas e executadas com foco na BR 040 e no IBAMA, por se tratar de uma área de risco devido as atividades desenvolvidas pela mineradora, igualmente pela presença da barragem de rejeitos da Vallourec, segundo estudo de impacto.

A atualização do cadastro foi realizada em outubro de 2018 pela equipe CDM. Foram identificadas e registradas 02 edificações, sendo o IBAMA e a residência de um funcionário.

As atividades desenvolvidas atualmente no local referem-se ao Centro de Reabilitação de Animais Silvestres – CRAS, existindo uma grande rotatividade de animais, o clube da ASIBAMA – Associação dos Servidores do IBAMA, que é frequentado nos finais de semana pelos associados, suas famílias e amigos. Acrescenta-se que em 2004 houve a desativação do Posto de Fomento Ambiental – POFOM.

Este relatório está dividido em metodologia; área de estudo; identificação das pessoas; caracterização do cadastro; considerações e recomendações. O documento traz os resultados da atualização do cadastro preventivo de edificações e apresenta de forma descritiva e analítica as informações coletadas.

Escopo

O Cadastro físico-ambiental das edificações do IBAMA, Nova Lima/MG, tem como principal objetivo apresentar o perfil das edificações.

Especificamente pretende-se:

- Localizar e identificar os imóveis;
- Observar o perfil socioeconômico dos moradores e funcionários;
- Registrar a estrutura física dos imóveis;
- Examinar o risco físico-ambiental aparente.

Metodologia

Para a execução do Cadastro físico-ambiental dos imóveis do IBAMA, Nova Lima/MG, foram desenvolvidas duas etapas. O primeiro passo compreendeu o cadastro censitário das edificações e o registro fotográfico dos imóveis -perfil e acesso- e posteriormente foi realizado o georreferenciamento das informações coletadas.

Área de estudo

Nova Lima é um município do estado de Minas Gerais e localiza-se na região metropolitana de Belo Horizonte da qual dista-se cerca de 23km. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE a população estimada em 2016 era de 91.069 habitantes e a densidade demográfica era de 188,73 hab/Km² em 2010.

A figura abaixo mostra o mapa do município de Nova Lima e a localização do IBAMA.

Figura 1 - Mapa de Nova Lima e a localização do IBAMA



Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil

Caracterização

A atualização do cadastro preventivo de edificações foi realizada em outubro de 2018 pela equipe CDM, no IBAMA em Nova Lima, MG. Foi realizada uma visita às edificações localizadas na área de risco, sendo o CRAS, o clube da ASIBAMA – Associação dos Servidores do IBAMA e uma casa existente no mesmo local, ambos localizados na BR040.

Nos itens a seguir serão relatadas informações relativas às percepções dos moradores sobre a mineração; edificações; pessoas; histórico de risco; e dificuldade de auto salvamento.



Localização das edificações na área de risco

As figuras que seguem mostram a localização das edificações visitadas para a realização do cadastro e parte da Mina Pau Branco. O Ponto de número 039 corresponde a residência do funcionário responsável pelo IBAMA, que mora no local com sua família há 30 anos, e as marcações 040 mostram as edificações do IBAMA, sendo, mais à esquerda da imagem o clube da ASIBAMA e no ponto mais acima o CRAS.

Figura 2 - Localização das edificações - 01



Fonte: Acervo CDM – 2018

Figura 3 - Localização das edificações - 02



Fonte: Acervo CDM – 2018



Identificação das pessoas que frequentam as edificações do IBAMA

A tabela abaixo traz os dados das pessoas que frequentam as edificações do IBAMA em Nova Lima.

Tabela 1 - Identificação de pessoas

NOME	ENDEREÇO	CONTATO	OBS
Darmim Augusto de Almeida	BR040, KM561, Nova Lima, MG	(31) 99609-2891	Funcionário Responsável
Mirian Martins Santana	BR040, KM561, Nova Lima, MG	(31) 99581-0650	Cônjuge Darmim
Lucas Odony Santana de Almeida	BR040, KM561, Nova Lima, MG	(31) 98520-3087	Filho Darmim
Poliana Cristina de Paula Silva	BR040, KM561, Nova Lima, MG	(31) 98670-2805	Nora Darmim
Pedro Silva de Almeida	BR040, KM561, Nova Lima, MG	-	Neto Darmim
Lívia Silva de Almeida	BR040, KM561, Nova Lima, MG	-	Neta Darmim
Anderson Santos Sales	BR040, KM561, Nova Lima, MG	-	Funcionário IBAMA
Edgar Gonçalves Sena	BR040, KM561, Nova Lima, MG	(31) 99602-5930	Funcionário IBAMA

Fonte: CDM - 2018



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
97/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



Percepções dos moradores sobre a mineração

Para aprofundamento do trabalho realizado em campo e uma melhor compreensão das concepções culturais dos moradores e funcionários do IBAMA e suas percepções sobre o processo de mineração inicialmente foi abordado questões relativas as empresas minerárias.

Uma das questões refere-se ao conhecimento dos moradores e funcionários sobre a mineração, estes disseram não conhecer as atividades desempenhadas por uma empresa minerária. Este dado mostra que mesmo sendo vizinhos de uma mineradora, as pessoas que frequentam o local desconhecem o processo de mineração e sua importância para o desenvolvimento regional. Sobre os benefícios, malefícios, e riscos os entrevistados disseram desconhecer.

Ainda em relação a mineração foi questionado sobre a existência ou não de barragens na região e sua função, eles afirmaram a presença de uma barragem próxima as edificações do IBAMA, porém desconhecem sua utilidade.

Sobre a ocorrência de acidentes tentou entender a percepção dos moradores com referência ao que as empresas de mineração podem e devem fazer para evita-los. Os entrevistados responderam que as empresas podem agir para evitar emergências, mas não souberam especificar as ações necessárias por parte das empresas.

Em relação ao sistema de sirene para emissão de avisos em situações de emergência, acreditam ser importante e útil, sugeriram a implantação de um dispositivo em casa para garantir que os moradores sejam avisados em tempo hábil caso ocorra alguma emergência. Em relação ao apoio necessário em caso de acidentes precisariam de auxílio para retirada dos animais.

É extremamente importante entender a percepção dos moradores sobre a indústria de minério e seus riscos, pois assim será possível ter ampla comunicação e transparência, e envolver a comunidade nas ações de segurança e prevenção.

Perfil das edificações

Edificação - IBAMA

O espaço utilizado pelo IBAMA há cerca de 50 anos pertence à União e compreende uma área de 25 hectares dos quais 25% é ocupado e o restante é floresta nativa. O acesso ao local se dá pela BR040, sendo asfaltado até a parte interna. A água utilizada no espaço provém de mina própria do terreno e a energia elétrica utilizada é fornecida por distribuidora.

As atividades realizadas atualmente são direcionadas ao CRAS, e acontecem diariamente por se tratar dos cuidados dos animais silvestres. O funcionamento do IBAMA acontece de segunda-feira a sexta-feira, das 08h00min às 17h00min, o responsável pelo local é o Darmim Augusto de Almeida, que também mora com sua família no local. Além do responsável, o IBAMA conta com mais dois funcionários que trabalham em regime de 12/36 horas.

Na data da visita o CRAS contava com mais ou menos 890 animais em recuperação, sendo: 45 araras; 340 papagaios; 270 maritacas; 190 jabutis; 140 tartarugas; 01 cachorro do mato; 01 gato do mato; 04 macacos. Estes números mudam constantemente devido à chegada, saída e morte dos animais. Em caso de morte os bichos são enviados para Belo Horizonte para a realização de análise a fim de detectar a causa do óbito.

Edificação - Residencial

O imóvel utilizado pelo funcionário do IBAMA e sua família tem finalidade residencial e é caracterizado como multifamiliar, atualmente mora no local o casal responsável, com filho, nora e netos, além de dois cachorros de estimação. A edificação é alugada da União, e a família mora no local



há 30 anos. A água utilizada provém de mina própria do terreno, a energia elétrica utilizada é fornecida por distribuidora e o acesso é todo asfaltado. Contam com serviços de varrição de rua, coleta de lixo, transporte público, como ônibus e a família também possui um carro. No último ano -período entre o cadastro de 2017 e 2018- foram realizadas benfeitoras no sentido de manutenção e pintura do local.

Perfil das pessoas

Edificação - IBAMA

No local trabalham três pessoas, sendo o responsável -Darmim Augusto de Almeida- e dois funcionários que atuam em regime 12/36 horas -Anderson Santos Sales e Edgar Gonçalves Sena- responsáveis pelos cuidados dos animais, preparação da alimentação, limpeza dos viveiros, etc.

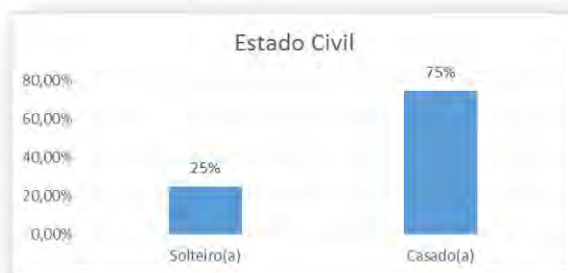
Edificação - Residencial

Na residência moram Darmim Augusto de Almeida, sua esposa Mirian Martins Santana, o filho do casal Lucas Odonys Santana de Almeida, sua esposa Poliana Cristina de Paula Silva e seus filhos Pedro Silva de Almeida e Livia Silva de Almeida.

Edificação - Geral

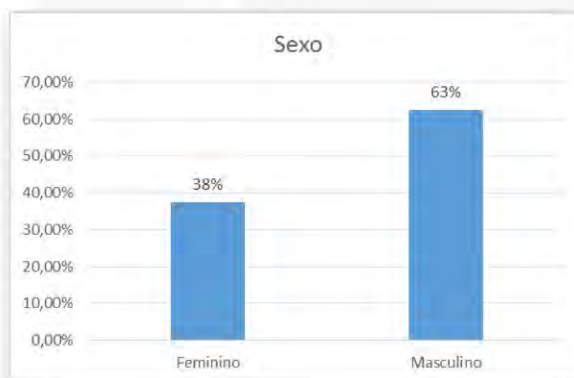
Foram realizados gráficos para ilustrar o perfil das pessoas que frequentam o local. Os dados são referentes aos funcionários do IBAMA e aos moradores do local, o responsável pelo IBAMA e pela residência, Darmim Augusto, aparece apenas uma vez. A família é composta por 06 pessoas, sendo 04 adultos casados e 02 crianças, e no IBAMA trabalham 02 pessoas casadas, totalizando 08 pessoas. Os gráficos que seguem mostram algumas informações.

Gráfico 1 - Estado Civil



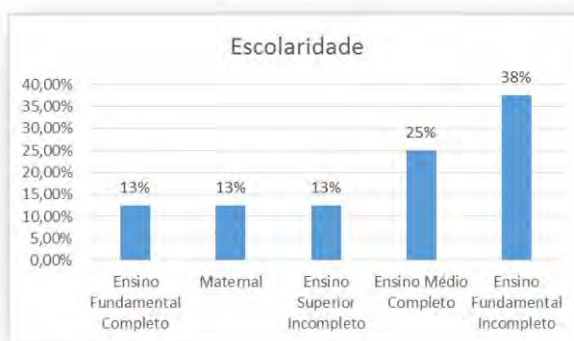
Fonte: CDM - 2018

Na residência moram 03 homens e 03 mulheres, no IBAMA trabalham 02 homens, totalizando 05 homens e 03 mulheres, este resultado está ilustrado no gráfico abaixo.

Gráfico 2 - Sexo


Fonte: CDM - 2018

Em relação a escolaridade 03 pessoas têm o ensino fundamental incompleto -02 pessoas interromperam os estudos e 01 estava cursando-; 01 completou o ensino fundamental; 02 têm o ensino médio completo e não estudam mais; 01 pessoa estava no 4º período de Engenharia Mecânica; e 01 estava matriculada no maternal. Estes dados estão representados no gráfico abaixo.

Gráfico 3 - Escolaridade


Fonte: CDM - 2018

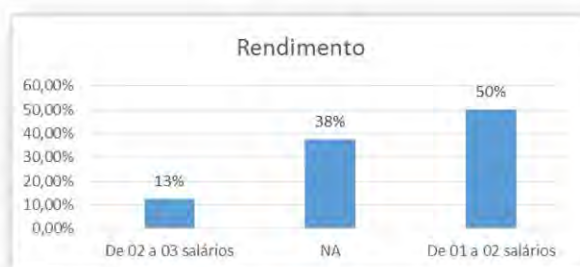
No que diz respeito a situação ocupacional 05 pessoas trabalham com carteira assinada (CLT), 01 é *Do lar* e 02 são estudantes -crianças-. O rendimento das pessoas que frequentam o local varia entre 01 e 03 salários mínimos, as pessoas sem rendimento aparecem no gráfico como *NA - Não se aplica*, representando a situação *Do lar* e as crianças. Nos gráficos abaixo pode-se visualizar os resultados.

Gráfico 4 - Situação Ocupacional



Fonte: CDM - 2018

Gráfico 5 - Rendimento



Fonte: CDM - 2018

No que concerne aos problemas de saúde as pessoas que moram e trabalham no local não apresentam nada, e também não fazem uso controlado de medicamentos e/ou uso de equipamento médico. O gráfico abaixo mostra este dado.

Gráfico 6 - Problemas de Saúde



Fonte: CDM - 2018

Histórico de risco

Edificação - IBAMA

Sobre a percepção do entrevistado em relação aos riscos que podem afetar o imóvel, os entrevistados citaram o rompimento de barragem, acrescentou ainda que no último ano não foi registrado nenhum caso de qualquer outro risco no local, como enchente, inundação, alagamento, entre outros.



Edificação - Residencial

No que concerne aos riscos ambientais efetivos, o rompimento da barragem da Vallourec foi a opção apontada. Acrescenta-se ainda que no último ano não foi registrado nenhum problema na região.

Dificuldade de auto salvamento

Edificação - Geral

É de extrema importância que as pessoas que frequentam a área de risco sejam orientadas sobre os possíveis riscos que uma empresa de mineração oferece para região, bem como, saber o que deve ser feito em casos de emergência, por isso, é importante avaliar a dificuldade de salvamento das pessoas que frequentam o local. Situações prioritárias, como presença de *gestantes, deficientes, crianças, idosos, pessoas com dificuldade ou impossibilidade de locomoção e com problemas de saúde, precisam* ser avaliados, tanto para pensar em uma estratégia de salvamento, como para posterior atendimento das vítimas no caso de algum acidente.

		VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO MINA PAU BRANCO	
BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA ESTUDOS DE DAM BREAK RELATÓRIO TÉCNICO		Nº VALLOUREC MGO-GB-BC-DAMB- 0219	PÁGINA 102/107
		Nº CONTRATADA CBV-C-BC-RE-001	REV. 00



Sobre a dificuldade de auto salvamento das pessoas que frequentam o local, nenhuma delas apresentam problemas de saúde ou deficiência, não fazem tratamento médico nem uso constante de medicamentos. Porém, tem-se 01 idoso e 02 crianças, nestes casos considera-se dificuldade e impossibilidade de locomoção, o primeiro caso justifica-se pela presença de 01 idoso e 01 criança de oito anos, pois ambos precisariam de algum apoio para deixar o local com agilidade, e no segundo, pela criança de dois anos, que não conseguiria deixar o local sozinha em caso de acidente.

Considerações e recomendações

Os dados apresentados mostram a importância de se conhecer as concepções culturais, a vivência e a percepção da população que vive/trabalha, na área de risco da Vallourec, bem como, para o estreitamento da relação entre comunidade e empresa. Através do levantamento realizado - cadastro preventivo de edificações e sua atualização- foi possível coletar informações cruciais e compreender a percepção que os entrevistados têm sobre a empresa de mineração e os riscos existentes.

O questionário aplicado em campo contava com itens, como, número de moradores, pessoas doentes, com dificuldade ou impossibilidade de locomoção, número de crianças e idosos em casa, pessoas que usam medicamentos constantemente e/ou faziam tratamento médico, são alguns exemplos coletados e que são cruciais para a composição dos procedimentos de prevenção, segurança e emergência da Mina Pau Branco.

A transparência nessas ações são de extrema importância para que a comunidade possa expor suas aflições, discutir e esclarecer suas dúvidas, e entender também os objetivos da empresa com o cadastro preventivo de edificações.

Por fim, sugerimos que o cadastro continue com as atualizações periódicas -neste caso anualmente-, para assim observar as mudanças que ocorrem no dia a dia dos moradores/trabalhadores; acompanhar o estado de saúde das pessoas, condição de extrema importância para salvamento destes; capacitá-los para o auto salvamento em eventos emergenciais, bem como, para a retirada de todos animais do local.



VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO

BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO

Nº VALLOUREC
MGO-GB-BC-DAMB-
0219

PÁGINA
103/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00



Apêndices

Apêndice 01

Código da edificação: 039	
Situação da pesquisa: REALIZADA	
Responsável: DARMIM AUGUSTO DE ALMEIDA	
Telefone fixo: -	Telefone celular: 99609-2891
Endereço: BR 040, KM 561	Nº: -
Distrito: -	Município: NOVA LIMA/MG
Uso/Tipo do imóvel: RESIDENCIAL / MULTIFAMILIAR	
Área produtiva: NÃO	Especificação: -
Acesso: ASFALTO	
Número total de pessoas: 06	Idosos: 01
Número de pessoas com dificuldade de locomoção: 00	Crianças: 02

Fachada com acesso



Fachada Frontal



Fachada Posterior



Fachada lateral direita



Fachada lateral esquerda



Apêndice 02

Código da edificação: 040	
Situação da pesquisa: REALIZADA	
Responsável: DARMIM AUGUSTO DE ALMEIDA	
Telefone fixo: 3581-0303	Telefone celular: -
Endereço: BR 040, KM 561	Nº: -
Distrito: -	Município: NOVA LIMA/MG
Uso/Tipo do imóvel: CRAS – Centro de Recuperação de Animal Silvestre - IBAMA	
Área produtiva: NÃO	Especificação: -
Acesso: ASFALTO	
Número total de pessoas: 02	Idosos: 00
Número de pessoas com dificuldade de locomoção: 00	Crianças: 00

Acesso principal



Vista Viveiros



Vista Viveiros



Vista ASIBAMA



Vista local de preparação de alimentos





Referencial Bibliográfico

Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Brumadinho/MG. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/brumadinho_mg>. Acesso em março de 2017.

Google Maps. Brumadinho/MG. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em maio de 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. IBGE Cidades@ Brumadinho, MG. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310900&search=minasgerais|brumadinho>>. Acesso em março de 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Sinopse por Setores IBGE, Piedade do Paraopeba, Brumadinho/MG. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>>. Acesso em março de 2017.

Lei nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12334.htm>. Acesso em novembro de 2018.

Prefeitura de Brumadinho. História. Disponível em: <http://portal1.brumadinho.mg.gov.br/?page_id=1727>. Acesso em março de 2017.

Relatório do Estudo de Percepção Socioambiental Externo a Mina Pau Branco. Compreender Consultoria em Responsabilidade Social, 2014.

Wikipédia a Enciclopédia Livre. Bandeirantes. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bandeirantes#As_Bandeiras_Iniciais>. Acesso em março de 2017.

Wikipédia a Enciclopédia Livre. Piedade do Paraopeba. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Piedade_do_Paraopeba>. Acesso em março de 2017.



**VALLOUREC - UNIDADE MINERAÇÃO
MINA PAU BRANCO**

**BARRAGEM DE REJEITOS CACHOEIRINHA
ESTUDOS DE DAM BREAK
RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº VALLOUREC
**MGO-GB-BC-DAMB-
0219**

PÁGINA
107/107

Nº CONTRATADA
CBV-C-BC-RE-001

REV.
00