

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 1/39	
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03	

RELATÓRIO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA

DISPOSIÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A

Outubro/2018

Rev.	DATA	POR	TE	Aprov.	Descrição de Revisões
------	------	-----	----	--------	-----------------------

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 3/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

SUMÁRIO

RESUMO	5
1.0 INTRODUÇÃO	6
2.0 OBJETIVO.....	6
3.0 INFORMAÇÕES BÁSICAS	7
3.1 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	7
3.2 TOPOGRAFIA E IMAGEAMENTO	7
4.0 DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	8
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	8
4.2 ARRANJO GERAL	11
4.3 CURVA COTA-VOLUME DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM DO RIO VACARIA.....	11
4.3.1 Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria.....	13
5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS.....	14
5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA	14
5.2 CENÁRIO DE SIMULAÇÃO	14
5.3 HIDROGRAMAS DE RUPTURA	14
5.3.1 Hipóteses de Ruptura e Modo de Falha	14
5.3.2 Definição do Volume de Material Mobilizado.....	14
5.3.3 Parâmetros da Brecha	15
5.3.4 Desenvolvimento da Brecha e do Hidrograma de Ruptura	16
5.4 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	16
5.4.1 Descrição do Trecho de Propagação	16
5.4.2 Parâmetros de Resistência.....	16
5.4.3 Condições Iniciais e de Contorno	17
5.4.4 Definição do Critério de Parada.....	17
5.4.5 Zona de autossalvamento	21
5.4.6 Modelo Matemático-Computacional	22
5.4.7 Modelo Matemático-Computacional	22
5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO.....	23
5.5.1 Seções Transversais de Referência	23
5.5.2 Parâmetros de Inundação Mapeados.....	25
6.0 RESULTADOS	25
6.1 HIDROGRAMAS DE RUPTURA	25



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 4/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

6.2	PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	27
6.3	REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA	35
6.4	DESCRIÇÃO RESUMIDA DO POTENCIAL DE INUNDAÇÃO	35
6.5	MAPAS DE INUNDAÇÃO.....	35
7.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
8.0	REFERÊNCIAS.....	38
9.0	APÊNDICES.....	39

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 5/39	
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03	

RESUMO

São apresentadas neste relatório as informações consideradas para os estudos hidrológicos e hidráulicos associados à ruptura hipotética da barragem do Rio Vacaria, bem como as premissas utilizadas, o cenário de análise e os resultados encontrados.

De acordo com os resultados apresentados no item 6.0 do presente relatório, podem ser elencadas as seguintes constatações:

- Para a barragem do Rio Vacaria adotou-se a hipótese de ruptura considerando-se o nível de água como no NA normal da barragem, para o cenário de ruptura.
- Na avaliação da propagação do hidrograma de ruptura da barragem do Rio Vacaria pelo vale a jusante, verificou-se que a mancha se propaga por aproximadamente 191 km a jusante da barragem.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 6/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

1.0 INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentado o estudo de ruptura hipotética da barragem do Rio Vacaria, de propriedade da empresa Sul Americana de Metais S.A. (SAM), tendo como foco a caracterização da propagação da onda de cheia e delimitação das áreas potencialmente inundáveis à jusante.

2.0 OBJETIVO

Os objetivos desse relatório técnico do estudo de ruptura hipotética da barragem do Rio Vacaria consistem em:

- Caracterizar a área de estudo com a apresentação da região a jusante da barragem;
- Apresentar a metodologia adotada;
- Definir os cenários de ruptura hipotética da barragem;
- Determinar os hidrogramas de ruptura da barragem;
- Apresentar a propagação dos hidrogramas defluentes da barragem ao longo da região a jusante; e
- Apresentar o mapeamento das áreas potencialmente inundáveis a jusante da barragem.

Assim, para melhor compreensão, além deste item introdutório, este documento está estruturado da seguinte maneira:

- **Item 3:** no qual são apresentados os dados básicos utilizados para a elaboração deste estudo;
- **Item 4:** no qual é apresentada a caracterização da área do empreendimento;
- **Item 5:** no qual são apresentadas as metodologias, premissas e critérios utilizados;
- **Item 6:** no qual são apresentados os resultados das modelagens;
- **Item 7:** no qual são feitas as conclusões e recomendações finais;
- **Item 8:** no qual são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração dos estudos; e
- **Item 9:** no qual são apresentados os apêndices, contendo os desenhos da mancha de inundação.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 7/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

3.0 INFORMAÇÕES BÁSICAS

3.1 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

A seguir são apresentados uma lista com os dados que subsidiaram a elaboração do presente estudo.

- MINA_BLC8007-1010-O-24-00 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia – Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem Vacaria – Arranjo Geral – Planta e Seção Típica. Elaborado pela WALM Engenharia em 29/06/2018;
- MINA_BLC8007-1010-O-21-00 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia – Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem Vacaria – Sistema Extravasador – Planta, Perfil e Detalhes. Elaborado pela WALM Engenharia em 27/06/2018;
- BSU-C-BV-RE-009-3 – Barragem do Rio Vacaria – Estudos Complementares e Esclarecimentos Solicitados sobre o Projeto Conceitual – elaborado pela DAM Engenharia em dezembro de 2015;
- BSU-C-BV-DE-401-12 – Barragem do Rio Vacaria – Projeto Conceitual – Curvas CotaxÁreaxVolume do Reservatório – 2ª Etapa na Normal 634 – Planta e Gráfico – Fl. 02/02.
- Sistema de Fases de Lavra e Sequenciamento – Documento fornecido pela SAM em 29/05/2018.

3.2 TOPOGRAFIA E IMAGEAMENTO

A topografia utilizada no estudo foi definida por curvas de nível, obtidas por meio de aerolevanteamento por perfilhamento a laser (ALS - *Airborne LASER Scanning*), fornecido pela SAM na porção da planta, em resolução de metro em metro. Foi necessário realizar o complemento da topografia, fora da área levantada, no caso um MDE (Modelo Digital de Elevação) oriundo do projeto Topodata que é elaborado a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponível no site <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. O MDE original foi trabalhado com o objetivo de dar maior consistência hidrológica ao terreno, retirando depressões espúrias e representando o traçado do talvegue conforme imagens de satélite, além de viabilizar a sua união com a topografia disponibilizada pela SAM. Foi determinado um MDT (Modelo Digital de Terreno) com cinco metros de resolução como resultado final. A Figura 4.2 ilustra a topografia utilizada no estudo. A Figura 3.1 ilustra um dos MDTs utilizado no estudo.

		<p align="center">PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p align="center">MINA_BLC8007-1010-G-RE-17</p>	<p align="center">Folha 8/39</p>
	<p align="center">WBH28-17-SAM-RTE-0017</p>	<p align="center">Revisão 03</p>

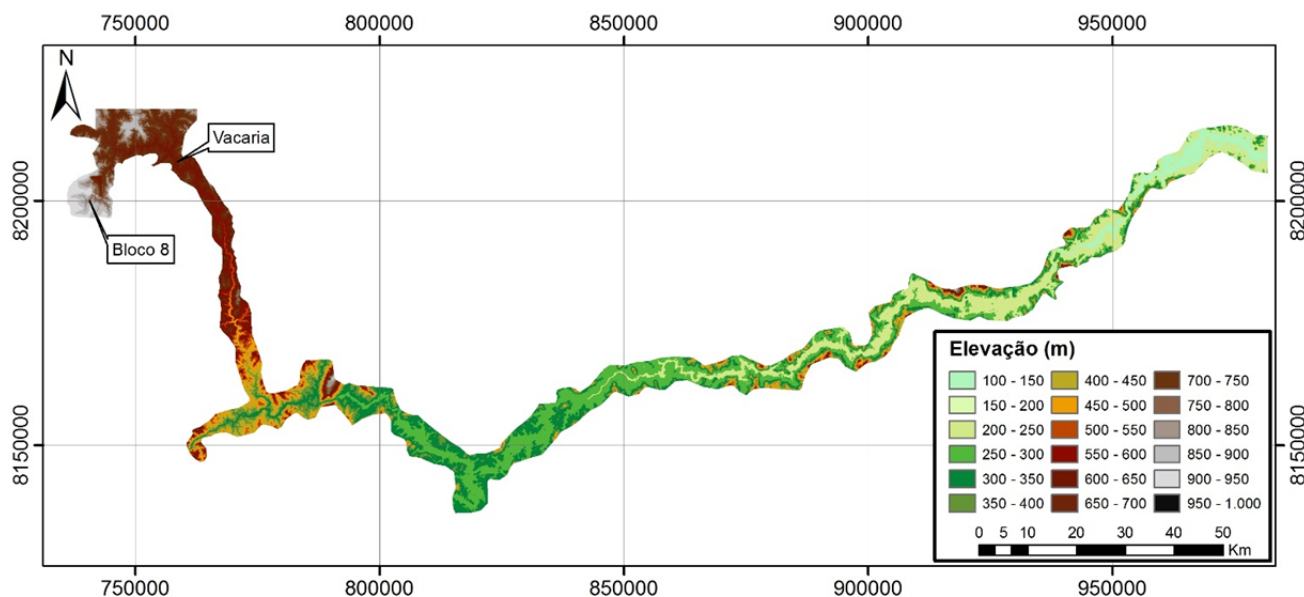


Figura 3.1 – Topografia utilizada no estudo.

4.0 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Projeto Bloco 8 localiza-se entre os municípios de Grão Mogol e Padre Carvalho, estado de Minas Gerais, a aproximadamente 600 km a norte de Belo Horizonte, capital do estado. O acesso a partir de Belo Horizonte é realizado pela BR-135 até o município de Montes Claros (MG). A partir deste ponto o acesso até o projeto é realizado pela BR-251 (Rodovia Júlio Garcia) por 136 km até as proximidades do distrito de Vale das Cancelas. O acesso à área do Projeto do Bloco 8 é realizado pela estrada vicinal não pavimentada, conforme pode ser observado na Figura 4.1.

O Projeto Bloco 8 conta com 5 barramentos, sendo três barragens de água (Barragem Industrial, Barragem do Vale e barragem do Rio Vacaria) e duas barragens de rejeito (Barragem 1 e Barragem 2). A Figura 4.2 ilustra o arranjo geral do bloco 8.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
9/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

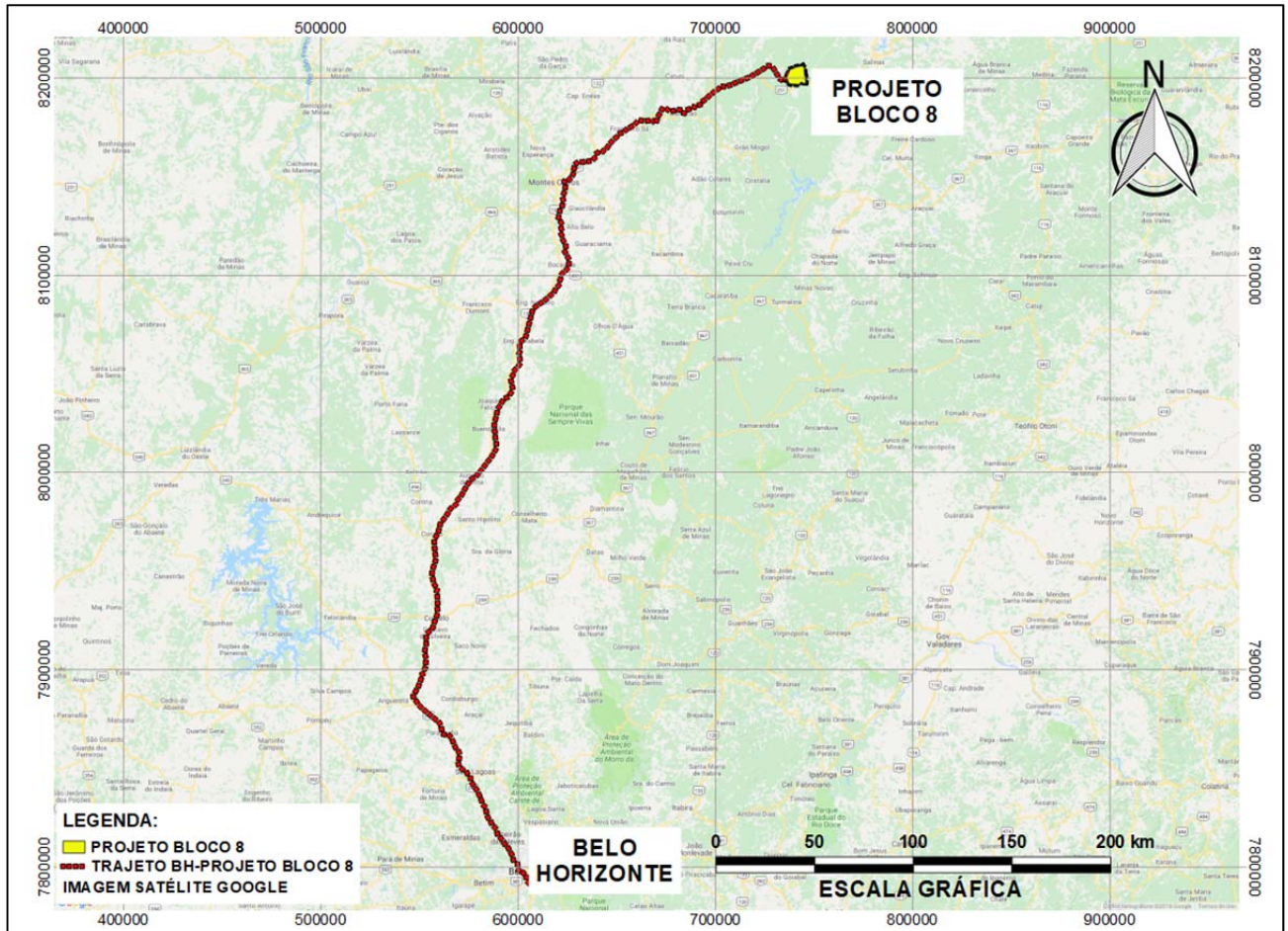


Figura 4.1 – Barragem do Rio Vacaria – Acessos.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
10/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

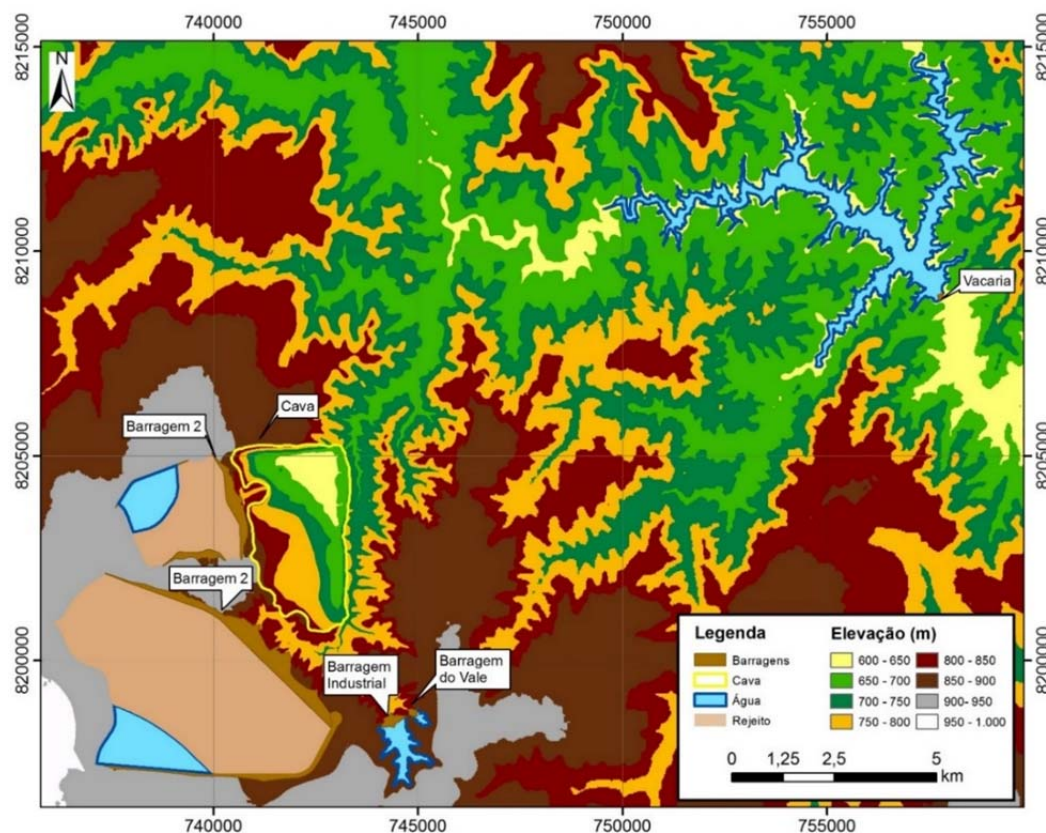


Figura 4.2 – Arranjo geral do Bloco 8 e topografia utilizada.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 11/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

4.2 ARRANJO GERAL

A Barragem do Rio Vacaria possui como finalidade formar um reservatório de água estratégico para suprir as necessidades hídricas do sistema. A barragem do Rio Vacaria será instalada no rio Vacaria nas coordenadas 757.780,705 E e 8.208.904,681 N.

As principais características da estrutura estão resumidas na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Dados Gerais da Barragem do Rio Vacaria.

Dados Gerais		
Localização	Latitude	8.208.904,68
	Longitude	757.780,70
Finalidade	Reservatório de água	
Cota Final da Crista (m)	639,00	
NA normal (m)	634,00	
Altura Máxima da Barragem (m)	41,00	
Comprimento da Crista da Barragem (m)	307,90	
Tipo de Seção	Homogênea	
Estrutura Vertente	Canal retangular escavado em rocha, posicionado na ombreira esquerda. A soleira está na El. 634,00 m, com largura de 65 m e 4 m de lâmina d'água. No final do vertedouro, a dissipação é natural, com um trecho horizontal de 20 m de comprimento, com fundo plano na El.598,00 m, para recuperação do nível.	

A área a jusante da Barragem do Rio Vacaria delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo rio Vacaria e pelo rio Jequitinhonha, pertencentes a bacia federal do Jequitinhonha.

4.3 CURVA COTA-VOLUME DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM DO RIO VACARIA

Na **Figura 4.3 – Curva cota x volume da barragem do Rio Vacaria** e na Tabela 4.2 são apresentadas a curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria, obtida por meio do arquivo "MINA_BLC8007-1010-O-17-00.dwg", nas suas formas gráfica e tabular, respectivamente.

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
 (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
 VACARIA
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
12/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
 03

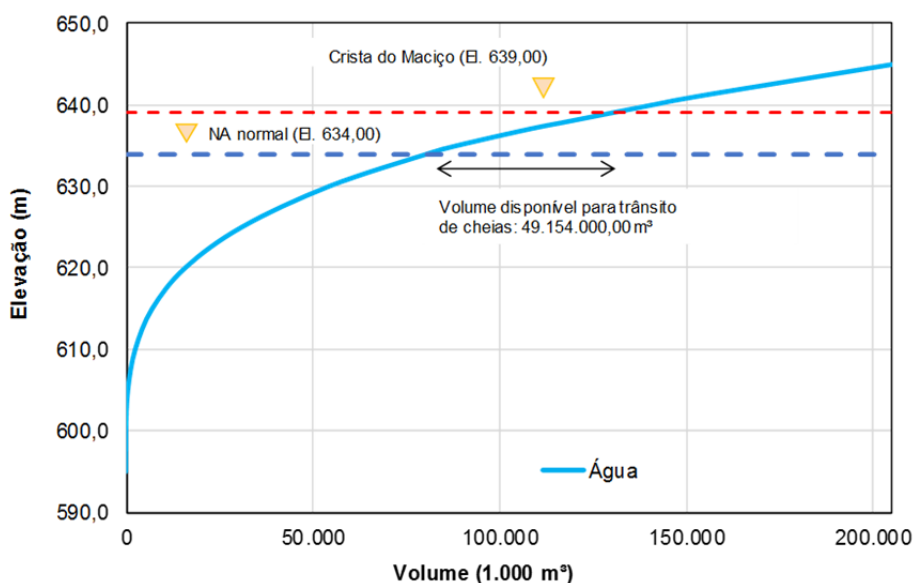


Figura 4.3 – Curva cota x volume da barragem do Rio Vacaria

Tabela 4.2 – Curva cota x volume da barragem do Rio Vacaria

Cota	Volume Total (m³)
595	-
600	40.000,00
605	560.999,88
610	2.550.917,37
615	7.074.653,44
620	15.897.250,25
625	31.030.436,14
630	54.391.856,80
634	80.775.000,00
635	88.604.000,00
637	107.730.000,00
638	118.829.000,00
640	141.029.000,00
641	152.495.000,00
645	205.725.000,00

O croqui apresentado na Figura 4.4 ilustra o reservatório considerado no estudo de ruptura hipotética da Barragem do Rio Vacaria.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 13/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

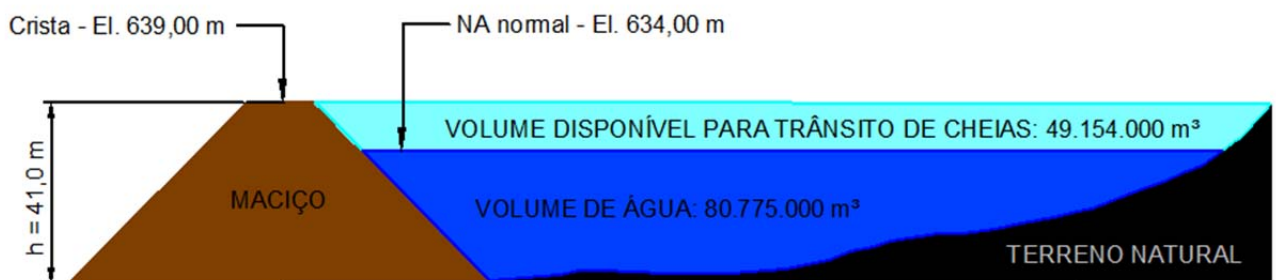


Figura 4.4 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da barragem do Rio Vacaria (sem escala).

4.3.1 Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria

O vertedouro será constituído por um canal retangular escavado em rocha, posicionado na ombreira esquerda. A soleira do vertedouro foi fixada na El. 634,0 m, com largura de 65,0 m e 4,0 m de lâmina d'água. No final do vertedouro, a dissipação será natural, feita com um trecho horizontal de 20 m de comprimento, com fundo plano na El.598,00 m, para recuperação do nível.

A Equação 6.1 foi usada para determinar a curva cota descarga, enquanto a Tabela 4.3 ilustra os valores em forma tabular.

$$Q = C_d LH^{1,5}$$

Equação 6.1

Em que:

- Q = Vazão passante pelo vertedouro, em m³/s;
- C_d = Coeficiente de descarga, adimensional;
- L = Comprimento do vertedouro, em m; e
- H = Altura de lâmina d'água no vertedouro, em m.

Tabela 4.3 – Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria

Elevação (m)	Vazão (m ³ /s)
634,00	0,00
635,00	111,15
636,00	314,38
637,00	577,55
638,00	889,20
639,00	1242,69

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 14/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS

5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA

A metodologia utilizada para o estudo de ruptura hipotética da barragem do Rio Vacaria pode ser resumida em quatro etapas, a saber:

- Definição dos parâmetros da brecha;
- Determinação do hidrograma de ruptura;
- Propagação da onda de ruptura; e
- Mapeamento de áreas potencialmente inundáveis.

Nos tópicos a seguir são descritas as metodologias utilizadas.

5.2 CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

Para a determinação do cenário de simulação, foi adotada a metodologia de estudo de ruptura simplificado, como recomendado no documento “*Dam Safety Guidelines – Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification*”, elaborado pelo *Washington State Department of Ecology* em julho de 1992 e posteriormente revisado em outubro de 2007.

De acordo com o documento supracitado, a utilização do nível de água no NA normal do barramento, apresenta resultados aceitáveis para estudos dessa magnitude, como o da Barragem do Rio Vacaria. Dessa forma o cenário determinado para a ruptura hipotética foi:

Ruptura da barragem, considerando o nível de água do reservatório fixado no NA normal do barramento no momento da ruptura

5.3 HIDROGRAMAS DE RUPTURA

5.3.1 Hipóteses de Ruptura e Modo de Falha

A definição da hipótese de ruptura foi realizada com base na verificação da possibilidade de falha por instabilização da estrutura.

5.3.2 Definição do Volume de Material Mobilizado

A rupturas das barragens de água, diferentemente das barragens de disposição de rejeito, mobilizam todo o volume disposto em seu reservatório, conforme ilustra a Figura 5.1. Como a barragem do Rio Vacaria tem como finalidade ser um reservatório de água, todo seu volume é mobilizado para a jusante em caso de uma ruptura.

 SAM Sul Americana de Metais S/A	 WALM	PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 15/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

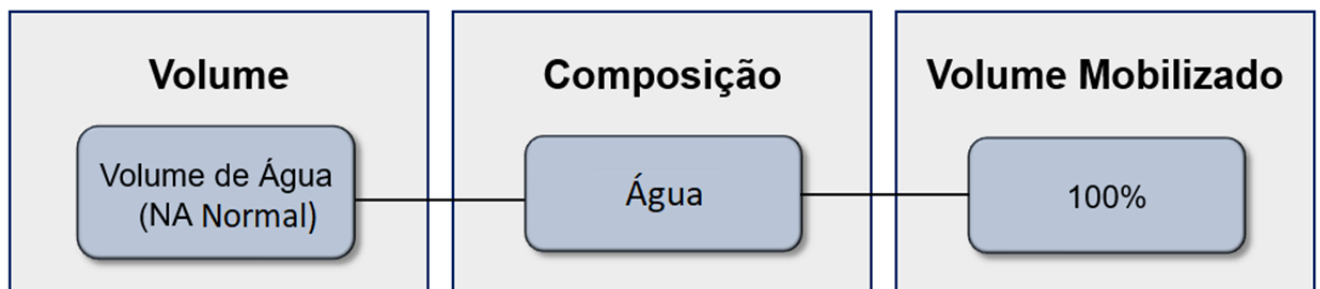


Figura 5.1 – Volume mobilizado pela ruptura da barragem do Rio Vacaria

5.3.3 Parâmetros da Brecha

Na ocorrência de uma ruptura em barragem de terra ou enrocamento, a forma final mais frequente das brechas ocasionadas é a trapezoidal, segundo dados históricos sobre o tema (FROEHLICH E TUFAL, 2004).

Uma variedade de ferramentas e métodos está disponível para a previsão de cenários de ruptura de barragens, caracterizando o desenvolvimento da brecha. Para tal é comumente utilizadas formulações matemáticas deduzidas de modo empírico a partir de casos históricos. Cabe ressaltar que as principais características, obtidas por meio dessas equações, referem-se ao tempo de formação da brecha e largura média da mesma.

Dentre as metodologias disponíveis na literatura aquela desenvolvida por Froehlich é bastante citada para previsão das características da brecha. A mesma foi desenvolvida com base em 63 casos de ruptura de barragens, em 1995. Em 2016 os estudos foram revisados considerando 111 casos de ruptura de barragens.

Neste sentido, por meio das Equações 5.1 e 5.2 pode-se estimar a largura média da brecha e o tempo de formação, respectivamente (FROEHLICH, 2016).

$$B_{ave} = 0,23k_0V_w^{1/3} \quad \text{Equação 5.1}$$

Em que:

- B_{ave} : Largura média da brecha (m);
- V_w : Volume do reservatório no momento da ruptura (m^3);
- K_0 : Constante equivalente a 1,5 para casos de rompimento por galgamento.

$$T_f = 60 \sqrt{\frac{V_w}{gH_b^2}} \quad \text{Equação 5.2}$$

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 16/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

Em que:

- T_f : Tempo de formação da brecha (s);
- V_w : Volume do reservatório no momento da ruptura (m^3);
- H_b : Altura da brecha (m);
- g : Aceleração da gravidade (m/s^2).

Cabe destacar que, para simular a ruptura do maciço principal por instabilização, foi utilizada a formulação de galgamento prevista por Froehlich para obtenção da geometria da brecha, já que a mesma é considerada conservadora.

5.3.4 Desenvolvimento da Brecha e do Hidrograma de Ruptura

Para a geração do hidrograma resultante da ruptura da barragem foi utilizado o *software* HEC-HMS 3.5, inserindo, como dados de entrada, a curva cota-volume do reservatório da barragem do Rio Vacaria, além dos parâmetros de formação da brecha.

5.4 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

5.4.1 Descrição do Trecho de Propagação

A área a jusante da barragem do Rio Vacaria delimitada para o desenvolvimento do estudo (*Dam Break*) é definida pelo rio Vacaria e pelo rio Jequitinhonha por, aproximadamente, 219 km de curso de água.

Os trechos inundados são caracterizados como terreno natural, sendo estas áreas de campo ou de mata, ao longo da calha dos rios, além de áreas antropizadas. Ao longo desses rios algumas vias, acessos (BR-341, BR-251, BR-367, BR-116 e MG-342, MG_105), pontes, travessias e benfeitorias isoladas são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura. Além desses pontos, dois pequenos aglomerados urbanos são parcialmente atingidos. São eles, Coronel Murta, localizado na MG-342, e Itinga, localizado na MG-367, Itaobim, localizado no cruzamento da MG-367 com a BR-116.

5.4.2 Parâmetros de Resistência

Adotou-se como premissa de projeto a variação do coeficiente de Manning na área a jusante da barragem. Os valores de Manning adotados foram considerando o escoamento apenas como água. Este critério foi adotado visando um estudo conservador do ponto de vista do tempo de chegada da onda, quando comparado a estudos que corrigem o valor do Manning de acordo com a concentração volumétrica do material escoado e, conseqüentemente, obtém maiores valores para este coeficiente. Maiores valores de Manning implicam em menores velocidades para o fluxo, aumentando o tempo de chegada da onda na área a jusante, parâmetro importante para planejamento da evacuação da área afetada.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17		Folha 17/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017		Revisão 03

A Tabela 5.1 apresenta os valores para o coeficiente de Manning para cada tipo de cobertura do solo.

Tabela 5.1 – Coeficiente de rugosidade de Manning.

Cobertura	n
Calha Menor	0,025
Área Urbana	0,070
Mata	0,080
Campo	0,045
Solo Exposto	0,035
Água	0,010

5.4.3 Condições Iniciais e de Contorno

Para a simulação do cenário de simulação foi considerada como condição de contorno de montante o hidrograma de ruptura da barragem e como condição de contorno de jusante foi utilizada a profundidade normal referente à declividade do trecho final.

5.4.4 Definição do Critério de Parada

Foi utilizada como premissa para o fim do mapeamento de inundação a seção em que a vazão do hidrograma de ruptura propagado fosse menor que a vazão com TR de 2 anos do rio Jequitinhonha, que é uma vazão recorrente. À vista disto, foi desenvolvido o estudo de análise de frequência de três estações fluviométricas, pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA), no rio Jequitinhonha. O procedimento adotado para esse estudo está descrito a seguir:

- Análise de consistência dos registros diários de vazão das estações fluviométricas do rio Jequitinhonha, descartando os anos com falhas nos meses de cheia.
- Construção de uma série de vazões máximas anuais;
- Ajuste de uma distribuição de frequência teórica à série;
- A partir da distribuição estudada, estimou-se a vazão com período de retorno de 2 anos.

Seguindo esses critérios, as estações analisadas foram Itaobim (54580000), Jequitinhonha (54710000) e Jacinto (54780000) no período comum entre as duas estações. Os dados dessa análise estão apresentados na Tabela 5.2. As vazões extremas utilizadas nos ajustes encontram-se dispostas na Tabela 5.3.

PROJETO CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
18/39

MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03



Figura 5.2 Localização das estações utilizadas para o cálculo da vazão pela análise de frequência.

Tabela 5.2 Vazões máximas anuais

Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto	Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto
Ano	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Ano	Q(m³/s)	Q(m³/s)	Q(m³/s)
1940	774	655	-	1978	1300	873	10049
1941	777	1081	4216	1979	784	920	3140
1942	1067	620	7920	1980	1057	737	4855
1943	1242	557	8129	1981	936	739	5625
1944	896	725	4521	1982	672	523	3035
1945	1138	871	6758	1983	747	438	4698
1946	453	612	1598	1984	802	735	4895
1947	648	622	2977	1985	876	815	4100
1948	875	774	3659	1986	493	1300	1508
1949	758	777	1830	1987	559	784	2136
1950	564	1067	1982	1988	581	1057	3125
1951	706	1242	2702	1989	890	936	9529
1952	672	896	2583	1990	572	672	2307

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO

VACARIA

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
19/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto	Estação	Itaobim	Jequitinhonha	Jacinto
Ano	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	Ano	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)
1953	599	1138	3078	1991	953	747	7304
1954	730	453	3346	1992	771	802	4698
1955	854	648	4.485	1993	536	876	1.597
1956	776	875	4.304	1994	448	493	998
1957	516	758	1.862	1995	560	559	1.709
1958	512	564	1.541	1996	714	581	3.080
1959	987	706	5.498	1997	471	890	1.252
1960	747	672	3.438	1998	575	572	3.310
1961	592	599	2.032	1999	638	953	2.663
1962	640	730	2.354	2000	643	771	2.690
1963	990	854	6.366	2001	738	536	5.935
1964	491	776	1.636	2002	520	448	1.460
1965	562	516	2.202	2003	716	560	4.011
1966	648	512	3.676	2004	571	714	1.882
1967	1.073	987	7.462	2005	654	471	2.608
1968	680	747	3.627	2006	666	575	2.608
1969	854	592	4.263	2007	318	638	619
1970	873	640	4.468	2008	530	643	1.871
1971	920	990	4.172	2009	648	738	2541
1972	737	491	3.405	2010	348	520	1.070
1973	739	562	3.958	2011	525	716	1.441
1974	523	648	1.849	2012	360	571	682
1975	438	1.073	1.217	2013	768	654	3.502
1976	735	680	3.279	2014	370	666	832
1977	815	854	3.700				

Em 2006 foi inaugurada a usina hidrelétrica Irapé, pertencente à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), localizada no rio Jequitinhonha, 23,8 km a montante da junção do rio Vacaria com o rio Jequitinhonha. Essa usina tem potência instalada de 399MW e é a barragem mais alta do Brasil com 208 metros de altura.

A análise dos dados de vazão do rio Jequitinhonha antes e depois da construção da barragem Irapé mostrou que a implantação da mesma alterou o regime fluviométrico desse rio (Tabela 5.3). A esses dados foram aplicadas diferentes distribuições estatísticas (Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Pearson Tipo III, GEV, LogNormal, Log Pearson tipo III) para obtenção da vazão máxima com diferentes tempos de retorno (TR). A partir de uma análise das distribuições calculadas, adotou-se a distribuição estatística Gumbel, ajuste que melhor representou estes dados para extrapolação de

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO

VACARIA

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

 Folha
20/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

 Revisão
 03

análise de eventos para os dois casos (antes e após a construção da barragem). A Figura 5.3 apresenta as curvas da distribuição aplicadas aos dados após a construção da barragem e a Tabela 5.3 apresenta as vazões para o Tempo de Retorno de 2,33 anos.

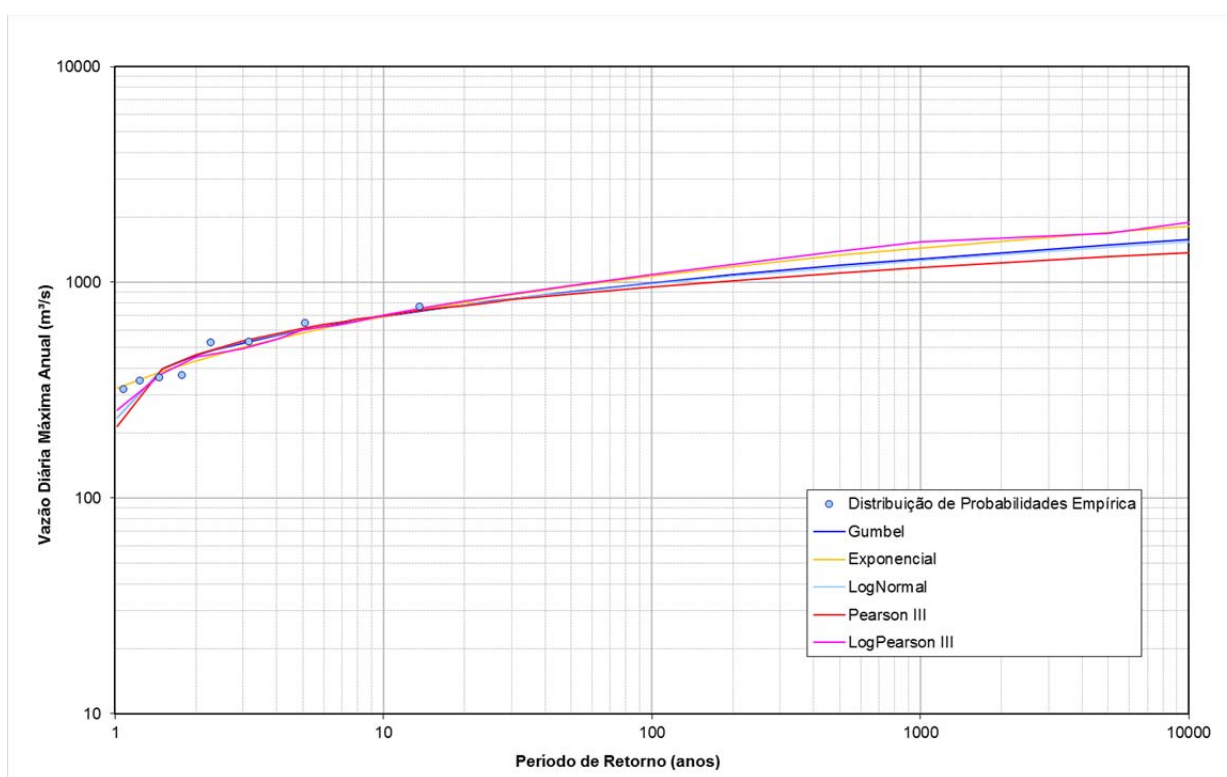


Figura 5.3 Análise de Frequência com dados de 2007 a 2014 da estação Itaobim (54580000).

Tabela 5.3 Resultado da Análise de Frequência

Código	Nome	Periodo	TR(anos)	Gumbel
				Q(m³/s)
54580000	Itaobim	1940 - 2014	2,33	780,9
		1940 - 2006	2,33	775,3
		2007 - 2014	2,33	483,6
54710000	Jequitinhonha	1940 - 2014	2,33	797,4
		1940 - 2006	2,33	785,5
		2007 - 2014	2,33	643,3
54780000	Jacinto	1941 - 2014	2,33	4.083,0
		1941 - 2006	2,33	4.038,7
		2007 - 2014	2,33	1.570,9

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 21/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

A partir dessa metodologia, foram consideradas as vazões de cada estação com um tempo de retorno de 2,33 anos, equivalente à média de uma variável da distribuição Gumbel, a fim de determinar, a partir do par ordenado área de drenagem – vazão, uma equação regional que define o comportamento das vazões para diferentes áreas de drenagem. De maneira conservadora, optou-se por utilizar as vazões calculadas com os dados após o ano de 2006.

Em seguida, utilizou-se do método “*index flood*”, que assume, em uma região homogênea, que as vazões adimensionais (razão entre máxima e fator de adimensionalização) obedecem a uma distribuição de probabilidades única, ou seja, uma mesma distribuição de frequência para os dados avaliados, a menos de um fator de escala local denominado *index-flood* ou fator de adimensionalização.

A definição da curva adimensional regional foi realizada pela estimação dos parâmetros da curva regional paramétrica, sendo os mesmos determinados pelas médias dos parâmetros da distribuição adotada para a região, ponderando pelos respectivos comprimentos das séries de cada estação, ou seja, quantidade de dados amostrais (máximos anuais). Destaca-se que, para o presente estudo a distribuição adotada foi a Gumbel conforme mencionado anteriormente.

Para determinação da vazão relacionada a diferentes tempos de retorno das sub-bacias traçadas, foram multiplicados os quantis regionais adimensionais pelo fator de adimensionalização ($Q_{med-máx}$) calculado para cada área de drenagem por meio da equação regional. As vazões calculadas estão apresentadas na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Vazões com 2 anos de Tempo de Retorno

Estação	Área de Drenagem (km ²)	Vazão com TR de 2 anos (m ³ /s)
Itaobim	45.600	336,5
Jequitinhonha	50.500	494,3
Jacinto	62.700	1.116,6

5.4.5 Zona de autossalvamento

De acordo com a Portaria no 70.389/2017 do DNPM, a zona de autossalvamento é definida como a região a jusante da barragem que se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente. De acordo com os critérios da Portaria, a zona de autossalvamento pode ser definida como a maior entre as distâncias atingidas pela mancha hipotética de ruptura da barragem: 30 (trinta) minutos ou 10 (dez) quilômetros.

A distância atingida pela mancha hipotética de ruptura da barragem do Rio Vacaria nos primeiros 30 (trinta) minutos após o início da propagação do hidrograma é de aproximadamente 3,6 km, dessa forma a zona de autossalvamento é definida como 10 km a jusante da barragem.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 22/39	
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03	

5.4.6 Modelo Matemático-Computacional

Para a propagação de cheias de ruptura (tempo x espaço) e conseqüente definição de áreas potencialmente inundáveis, utilizou-se o software HEC-RAS (*River Analysis System*), em sua versão 5.0.5, desenvolvido pelo HEC-USACE (*Hydrologic Engineering Center – U. S. Army Corps of Engineers*), o qual efetua cálculos de progressão bidimensional do escoamento. Sendo assim, esse software é capaz de determinar as elevações de nível de água e descarga em locais específicos ao longo de um curso de água, baseado na solução das equações de Saint-Venant.

Como dados básicos para o funcionamento do modelo, foi considerada a base topográfica, assim como os hidrogramas calculados.

Para simular a propagação da onda de ruptura, adotou-se uma malha de 15 x 15 para o talvegue do rio e uma malha de 30 x 30 m para das demais áreas e intervalo de tempo computacional (Δt) variando de acordo com o coeficiente de Courant, sendo esse um parâmetro que visa analisar a estabilidade da simulação computacional realizada. Para uma simulação mais estável é indicado que tal coeficiente não ultrapasse 1 (USACE, 2018).

O modelo HEC-RAS necessita da determinação de uma faixa de valores possíveis do coeficiente para a realização da simulação, como sugerido por USACE (2018) foi adotada a faixa entre 0,40 e 1,00 para tal coeficiente. O software ainda necessita da inserção de uma faixa de valores possíveis para o intervalo de tempo para cálculo, sendo essa adotada entre 1,25 e 20 segundos para as regiões mais próximas a Barragem 1, onde as velocidades são maiores, e entre 2,5 e 40 segundos para as áreas mais afastadas.

O cálculo do coeficiente de Courant pode ser realizado pela Equação 5.3 a seguir.

$$C = \frac{v \cdot dt}{l} \quad \text{Equação 5.3}$$

Em que:

- C = Coeficiente de Courant, adimensional;
- v = Velocidade no ponto analisado, em m/s;
- dt = Intervalo de tempo adotado para cálculo, em s, e;
- l = Comprimento da face da célula adotada na simulação, e, m.

5.4.7 Modelo Matemático-Computacional

Em inundações rápidas, como no caso da ruptura de barragens, a velocidade da frente da onda pode ser suficientemente elevada para provocar danos às pessoas, arrastar edificações e estruturas de construção reforçadas. Os principais parâmetros para se classificar os danos são: a área atingida, a profundidade da cheia (H) e a sua velocidade de propagação (V). A ameaça provocada por esses fatores combinados corresponde ao risco hidrodinâmico, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, dado em m²/s, ilustrando o grau de perigo de uma cheia.

$$\text{Risco Hidrodinâmico} = H \times V \quad \text{Equação 5.3}$$

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 23/39	
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03	

5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

5.5.1 Seções Transversais de Referência

Foram traçadas seções transversais representativas a jusante da Barragem do Rio Vacaria, para detalhamento dos resultados obtidos na modelagem hidráulica. A Figura 5.4 a seguir ilustra as seções adotadas.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
24/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

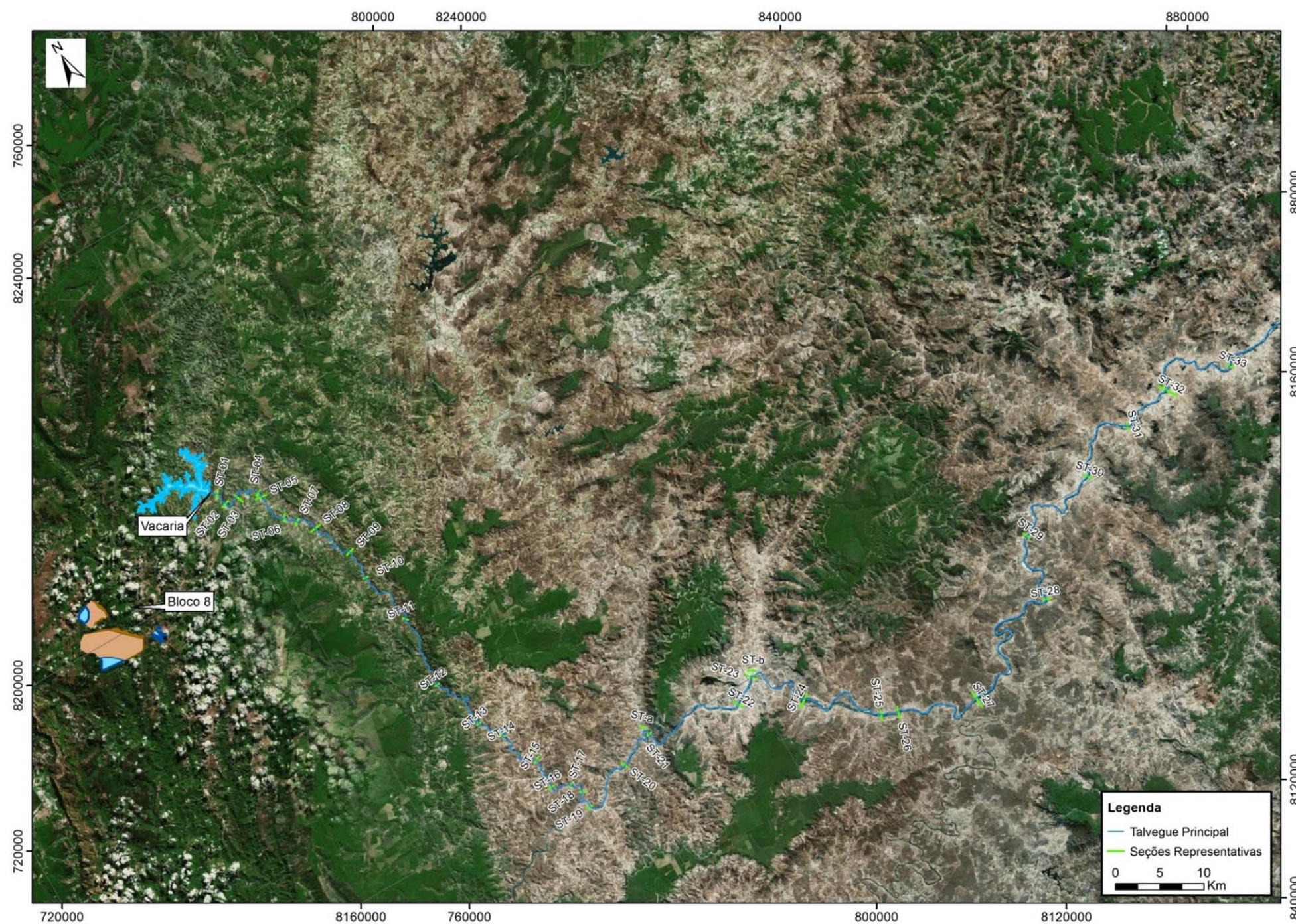


Figura 5.4 – Seções transversais representativas

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 25/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

5.5.2 Parâmetros de Inundação Mapeados

Uma vez que o estudo aqui apresentado visa subsidiar o Plano de Ação Emergencial, são ilustrados nos mapas de inundação provenientes das modelagens hidráulicas da onda de ruptura, os quais contêm dados de envoltória máxima atingida.

6.0 RESULTADOS

6.1 HIDROGRAMAS DE RUPTURA

Neste item são apresentados os resultados encontrados para os hidrogramas de ruptura defluentes da brecha formada na barragem do Rio Vacaria, cujo volume no NA normal é de 80.775.000 m³. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta uma síntese dos resultados obtidos no cálculo do volume escoado para jusante da barragem 1.

Tabela 6.1 – Composição dos volumes para a etapa de propagação

Parâmetros	Cenário 3
Volume de Água (m ³)	80.775.000,00
Volume total escoado para jusante (m ³)	80.775.000,00

Os parâmetros de formação da brecha inseridos no modelo hidrológico HEC-HMS para determinação do hidrograma da barragem do Rio Vacaria são apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Parâmetros de formação da brecha para determinação do hidrograma de ruptura da barragem do Rio Vacaria.

Parâmetros da Brecha	Barragem do Rio Vacaria
Elevação do topo da brecha (m)	639,00
Elevação do fundo da brecha (m)	598,00
NA máximo atingido (m)	634,00
H _d (m)	41,00
H _b (m)	41,00
H _w (m)	36,00
V _w (m ³)	80.775.000
k ₀	1,5
z	1,00000
B _{ave} (m)	149,13
B _b (m)	108,1345
B _t (m)	190,13

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 26/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

Parâmetros da Brecha	Barragem do Rio Vacaria
t_f calculado (h)	1,17
t_f adotado (min)	69,99

Na Figura 6.1 é apresentado os parâmetros da brecha para o cenário simulados para a barragem do Rio Vacaria.

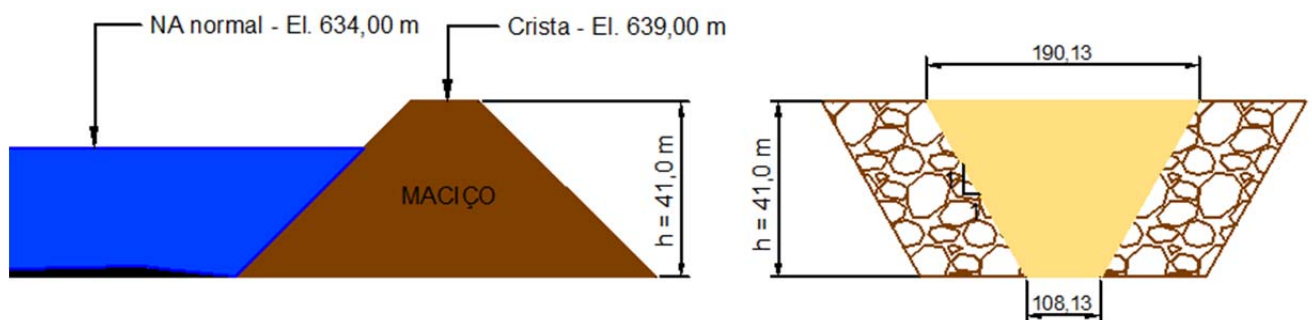


Figura 6.1 – Croqui da brecha – Barragem do Rio Vacaria

Para obtenção do hidrograma defluente da ruptura hipotética da barragem do Rio Vacaria foram realizadas a simulação das rupturas no *software* HEC-HMS.

O hidrograma resultante dessa simulação está apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Conforme pode ser observado, o valor máximo de vazão de pico defluente, no instante da ruptura, é de 29.045,60 m³/s.

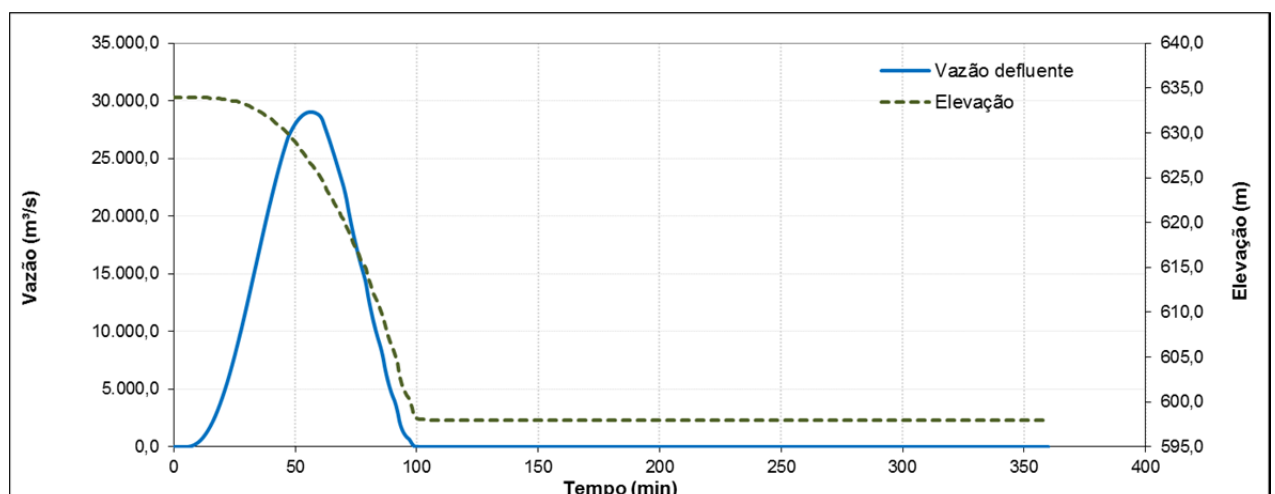


Figura 6.2 – Hidrograma defluente

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 27/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

6.2 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

Os principais resultados da modelagem hidráulica nas seções transversais representativas a jusante para o cenário simulado estão apresentados na Tabela 6.3 e entre a Figura 6.3 e Figura 6.8.

Tabela 6.3 – Principais resultados da modelagem hidráulica

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Final						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-01	0.9	30.2	636	28050	0:15:00	1:00:00	5.9	167.5
ST-02	2.8	27.9	632	26074	0:25:00	1:05:00	6.2	142.3
ST-03	5.2	24.2	626	22792	0:40:00	1:10:00	7.1	157.5
ST-04	9.4	19.0	617	18442	1:0:00	1:25:00	9.0	144.0
ST-05	10.0	22.0	616	17351	1:0:00	1:25:00	8.3	140.0
ST-06	14.3	23.8	601	14084	1:15:00	1:45:00	8.0	142.9
ST-07	16.1	22.5	592	13630	1:25:00	1:55:00	7.6	147.6
ST-08	18.9	23.4	582	12710	1:35:00	2:05:00	8.6	149.8
ST-09	25.8	22.9	570	10016	2:0:00	2:40:00	4.9	83.5
ST-10	29.7	19.4	556	9585	2:20:00	2:55:00	9.8	142.1
ST-11	37.8	22.8	532	8579	2:55:00	3:30:00	5.4	100.9
ST-12	47.3	27.5	488	7234	3:35:00	4:20:00	7.2	89.4
ST-13	58.1	11.7	450	6073	4:30:00	5:20:00	9.0	104.2
ST-14	63.0	12.3	424	6025	4:50:00	5:35:00	6.2	76.0
ST-15	69.4	19.2	377	5944	5:15:00	5:55:00	5.3	77.1
ST-16	73.5	11.8	351	5844	5:40:00	6:10:00	6.0	66.6
ST-17	76.4	16.5	342	5740	5:50:00	6:25:00	4.3	53.7
ST-18	78.3	14.7	333	5674	6:0:00	6:35:00	4.6	54.9
ST-19	81.2	12.3	321	4306	6:15:00	7:15:00	3.0	34.4
ST-20	88.9	15.4	316	3377	7:10:00	8:10:00	3.3	33.9
ST-21	95.5	14.2	314	2206	8:5:00	9:15:00	2.1	17.7

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
28/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Final						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m ³ /s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m ² /s)
ST-22	108.6	6.0	294	1886	11:10:00	13:00:00	1.7	9.8
ST-23	112.1	10.5	294	1419	11:50:00	120:00:00	2.7	7.9
ST-24	121.1	7.1	288	1273	14:25:00	17:25:00	1.7	4.0
ST-25	133.0	2.9	278	1128	18:0:00	21:00:00	1.2	2.2
ST-26	135.0	5.2	277	1064	18:45:00	20:50:00	1.1	3.6
ST-27	146.9	5.1	273	623	24:0:00	26:25:00	1.0	1.8
ST-28	168.0	4.8	267	354	40:15:00	43:30:00	1.1	2.1
ST-29	177.5	3.5	258	293	48:55:00	53:45:00	1.3	3.5
ST-30	190.9	4.7	252	235	57:45:00	63:45:00	1.3	1.8
ST-a	94.1	11.0	314	356	8:5:00	9:55:00	1.2	3.4
ST-b	112.8	3.4	293	25	13:5:00	13:40:00	0.4	0.7



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
29/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

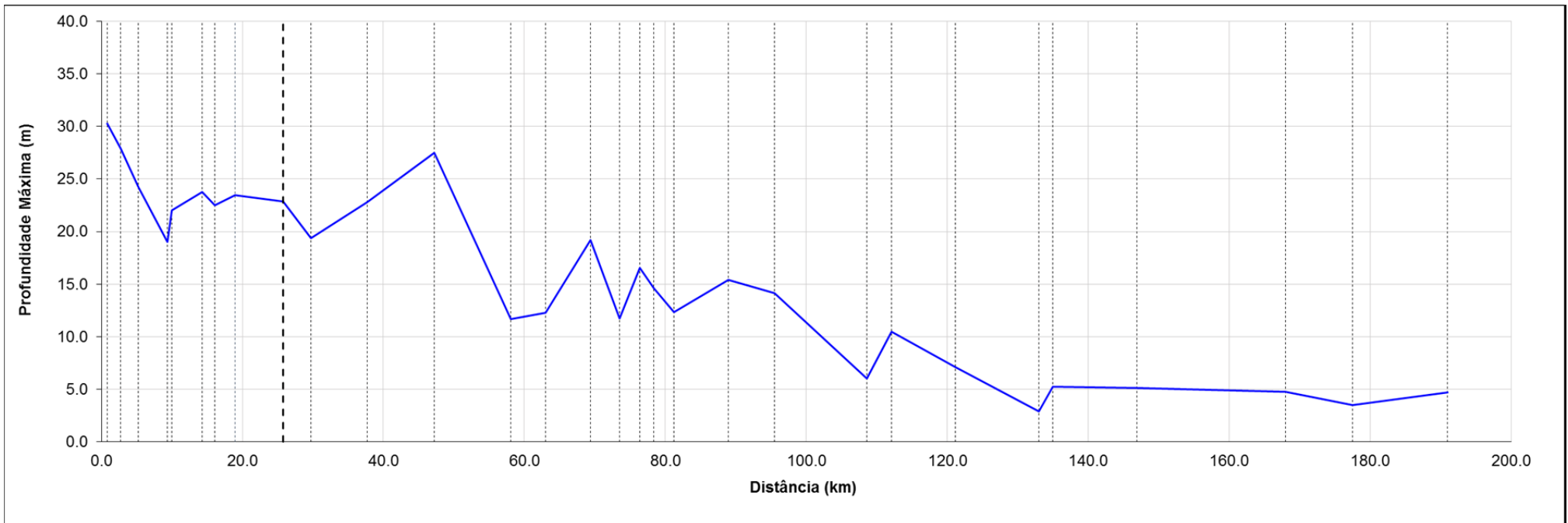


Figura 6.3 – Profundidades máximas encontradas



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
30/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

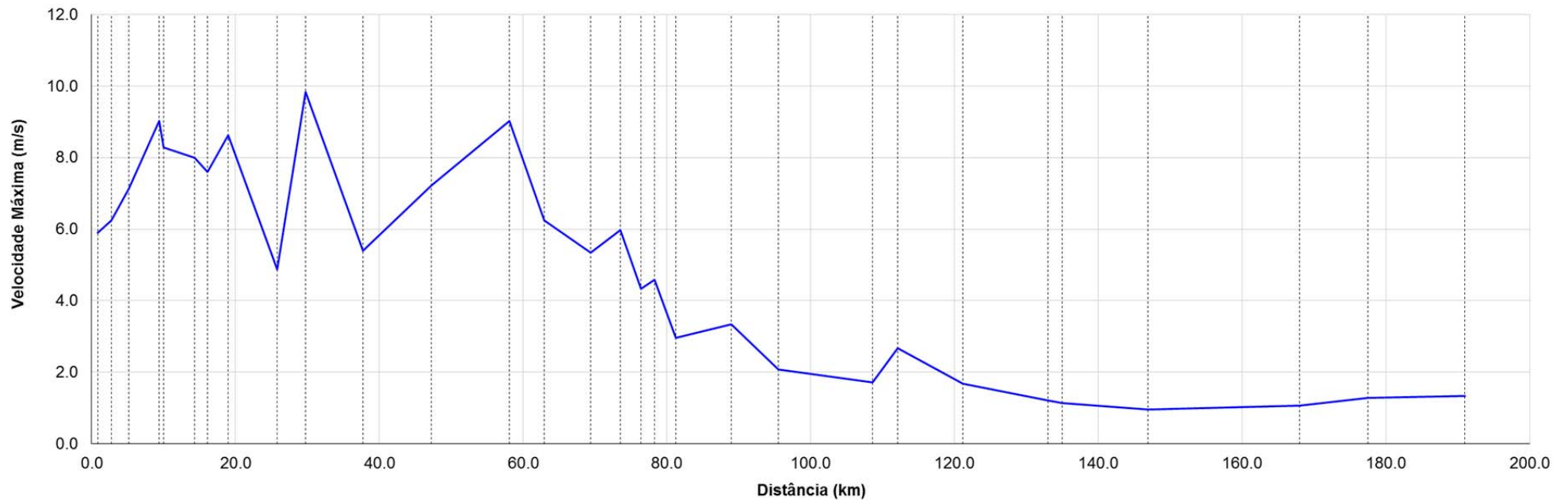


Figura 6.4 – Velocidades máximas encontradas



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
31/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

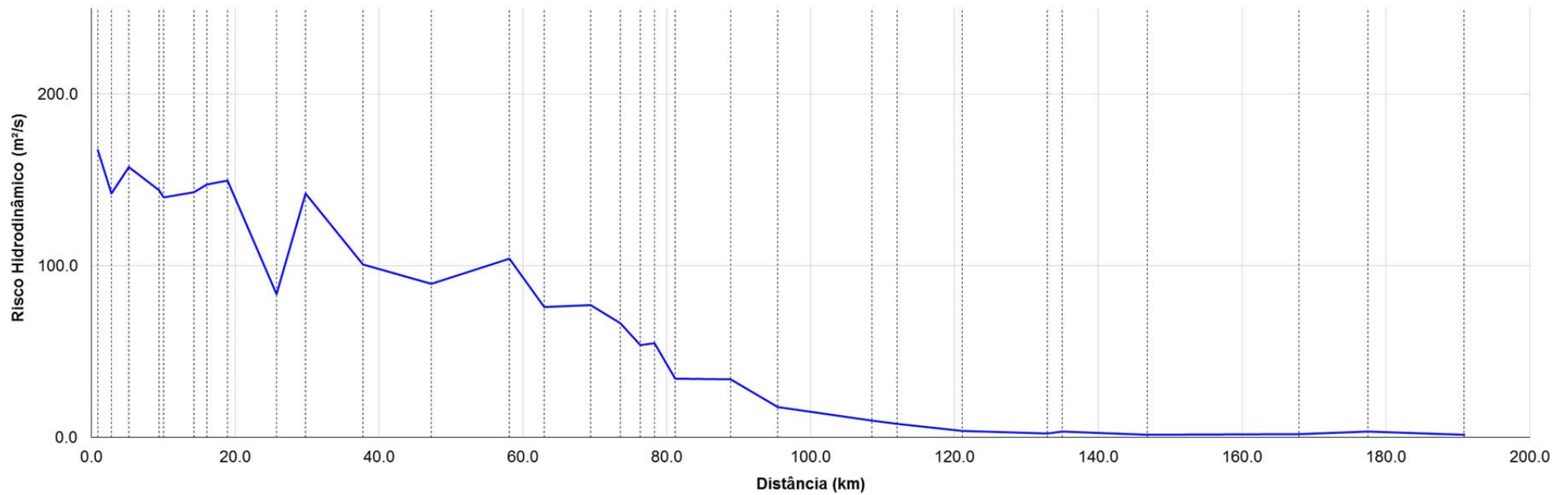


Figura 6.5 – Risco Hidrodinâmico máximo encontrado

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
32/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

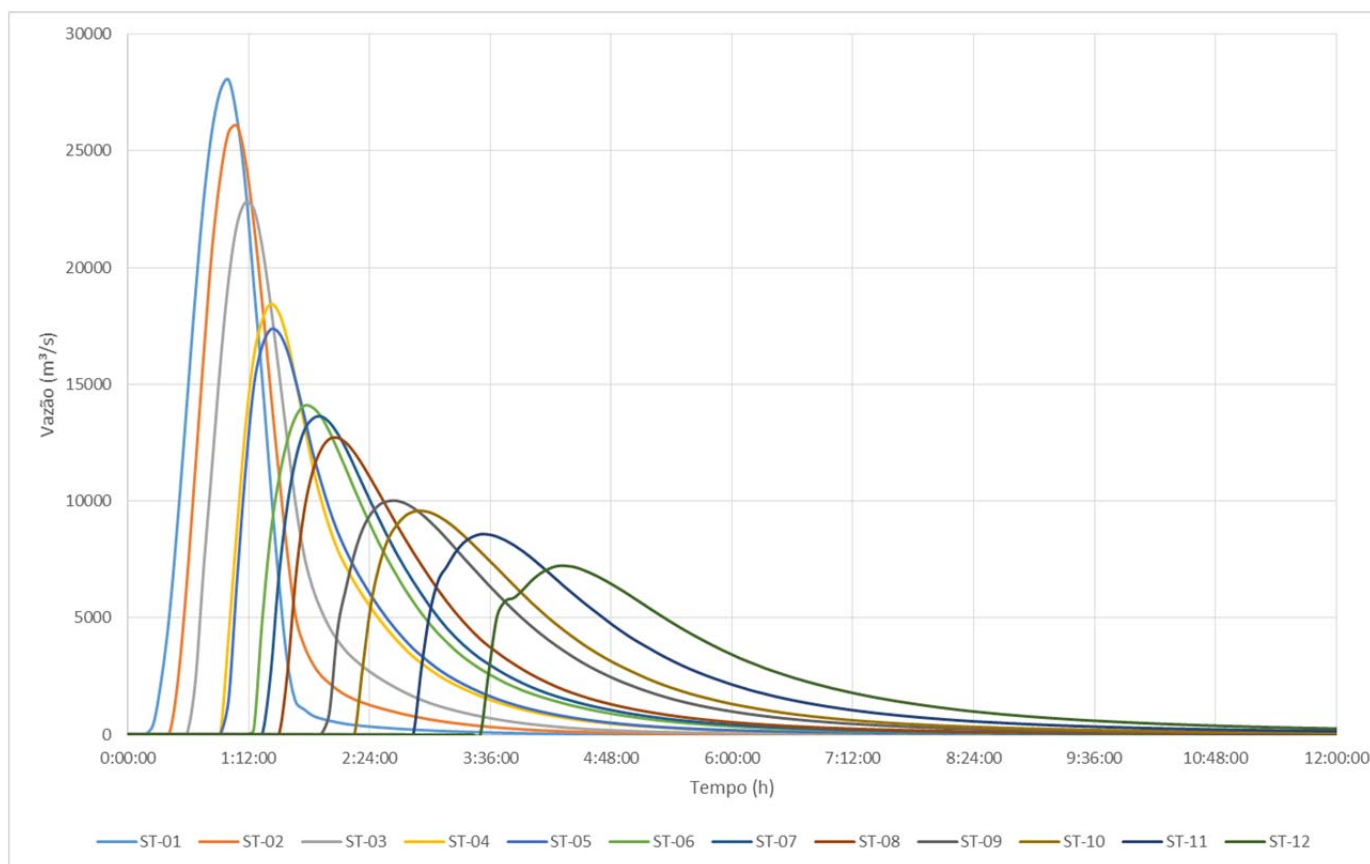


Figura 6.6 – Propagação da onda de ruptura, seções 1 a 12

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
33/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

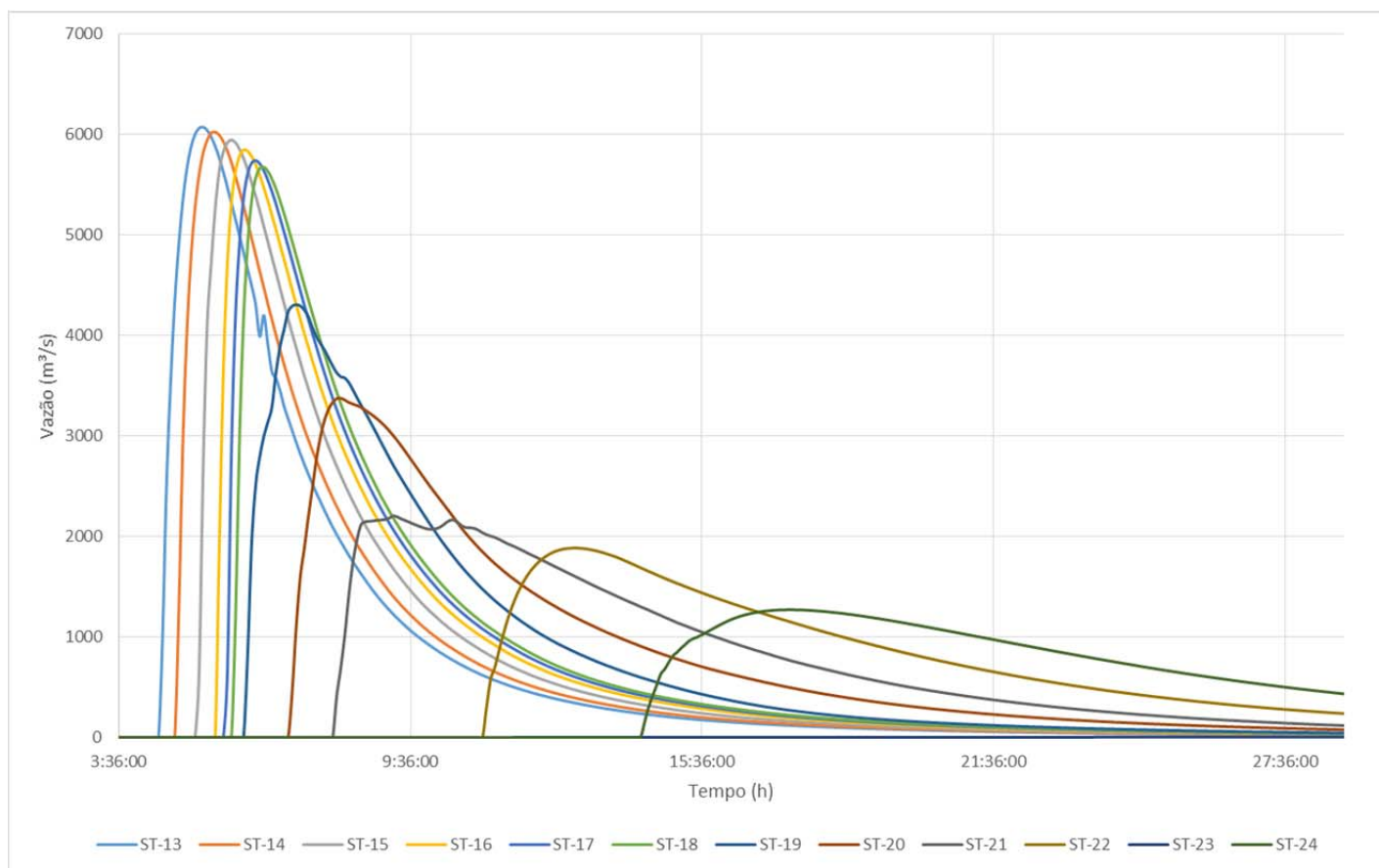


Figura 6.7 – Propagação da onda de ruptura, seções 13 a 24

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO
VACARIA
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-17

Folha
34/39

WBH28-17-SAM-RTE-0017

Revisão
03

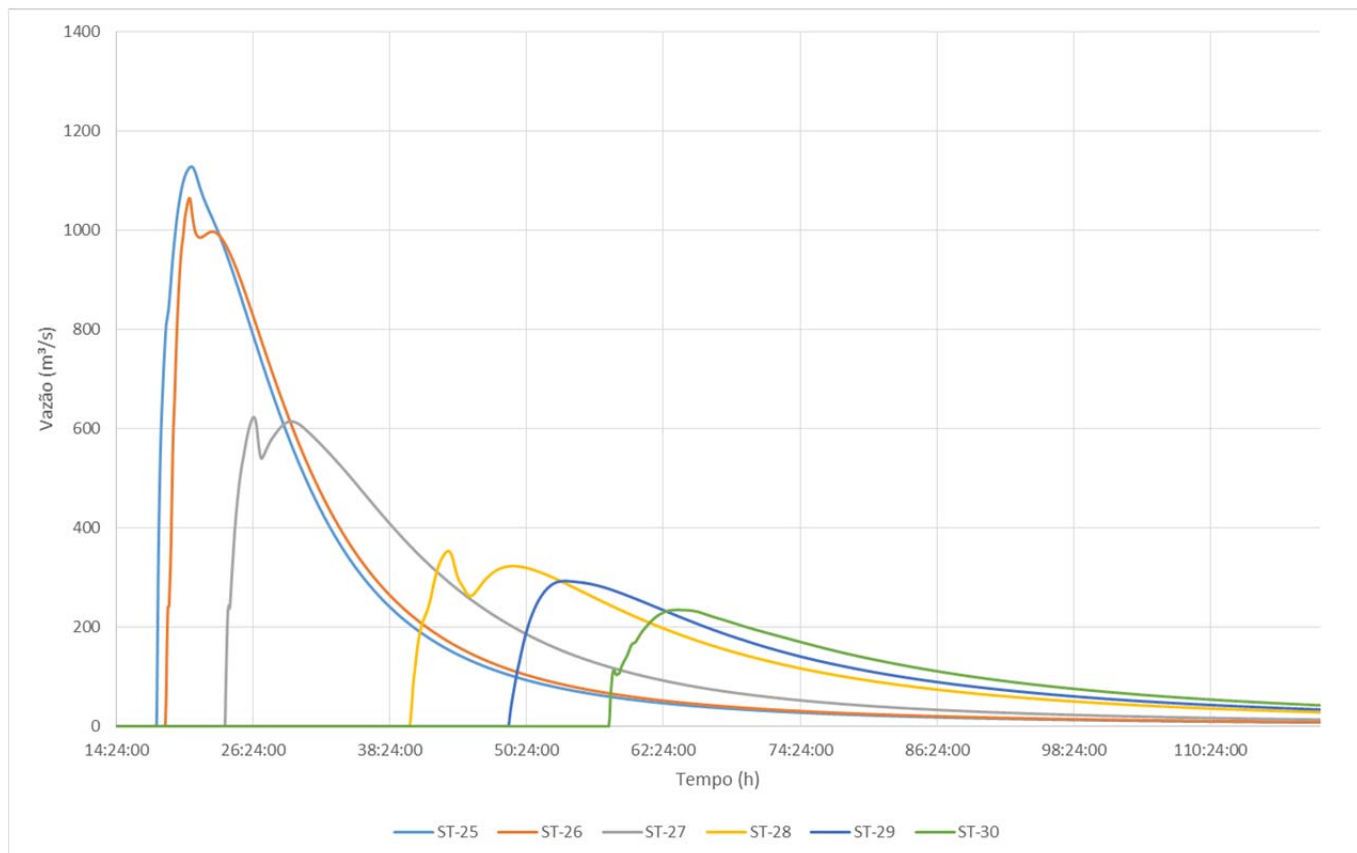


Figura 6.8 – Propagação da onda de ruptura, seções 25 a 33

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-17</p>	<p>Folha 35/39</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0017</p>	<p>Revisão 03</p>

6.3 REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA

Foi verificada a seção em que a vazão do hidrograma de ruptura propagado era menor que a vazão com TR de 2 anos no rio Jequitinhonha. Portanto, o fim do mapeamento de inundação se deu na seção 30, 191 km a jusante da barragem do Rio Vacaria. A vazão do hidrograma de ruptura propagado na seção 30 é de 235 m³/s, menor que a vazão associada a um TR de 2 anos 262 m³/s nessa mesma seção.

6.4 DESCRIÇÃO RESUMIDA DO POTENCIAL DE INUNDAÇÃO

Os trechos inundados são caracterizados como terreno natural, sendo estas áreas de campo ou de mata, ao longo da calha dos rios, além de áreas antropizadas. Ao longo desses rios algumas vias, acessos (BR-341, BR-251, BR-367, BR-116 e MG-342, MG_105), pontes, travessias e benfeitorias isoladas são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura. Além desses pontos, dois pequenos aglomerados urbanos são parcialmente atingidos. São eles, Coronel Murta, localizado na MG-342, e Itinga, localizado na MG-367, Itaobim, localizado no cruzamento da MG-367 com a BR-116.

6.5 MAPAS DE INUNDAÇÃO

Como resultado dos estudos de Dam Break da barragem do Rio Vacaria, foram gerados 4 mapas contendo as envoltórias máximas de inundação para os cenários simulados.

A lista de todos os mapas produzidos, com seus respectivos títulos e numerações, encontra-se na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Tabela de desenhos

NUMERAÇÃO SAM	NUMERAÇÃO WALM	DESCRIÇÃO
MINA_BLC8007-1010-O-106	WBH28-17-SAM-DWG-0106	BARRAGEM VACARIA ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 01/04
MINA_BLC8007-1010-O-107	WBH28-17-SAM-DWG-0107	BARRAGEM VACARIA ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 02/04
MINA_BLC8007-1010-O-108	WBH28-17-SAM-DWG-0108	BARRAGEM VACARIA ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 03/04

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-17</p>	<p>Folha 36/39</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0017</p>	<p>Revisão 03</p>

NUMERAÇÃO SAM	NUMERAÇÃO WALM	DESCRIÇÃO
MINA_BLC8007-1010-O-109	WBH28-17-SAM-DWG-0109	BARRAGEM VACARIA ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 04/04

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste documento são apresentados os estudos de ruptura hipotética da barragem do Rio Vacaria.

Os estudos de ruptura hipotética tiveram como foco a determinação do contorno de propagação da onda de ruptura, com a delimitação das áreas potencialmente inundáveis a jusante, de acordo com as premissas, critérios e metodologias descritas no presente documento.

A área a jusante da barragem do Rio Vacaria delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo vale do rio Vacaria e pelo rio Jequitinhonha.

Para as análises de *Dam Break* da barragem do Rio Vacaria, foi considerado o cenário de ruptura considerando o nível de água NA normal e modo de falha como instabilização.

Diante dos resultados obtidos a partir da simulação hidráulica da propagação da onda de cheia no vale a jusante da barragem do Rio Vacaria, é possível tecer os seguintes comentários:

- A máxima velocidade ficou em torno de 9,8 m/s, enquanto a profundidade máxima atingida foi de 30,2 m para o cenário de ruptura.
- O critério de parada adotado foi à capacidade de amortecimento do hidrograma de ruptura ao longo do rio Jequitinhonha até que a vazão seja menor que a vazão com TR de 2 anos do rio Jequitinhonha.

Os trechos inundados são caracterizados como terreno natural, sendo estas áreas de campo ou de mata, ao longo da calha dos rios, além de áreas antropizadas. Ao longo desses rios algumas vias, acessos, pontes, travessias e benfeitorias isoladas são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura. Além desses pontos, os aglomerados urbanos Coronel Murta e Itinga são parcialmente atingidos.

Os resultados podem ser verificados nos mapas apresentados em Apêndice deste documento.

Recomenda-se para revisões futuras deste estudo de Dam Break, a obtenção de seções topobatimétricas do curso d'água a jusante para o refinamento da modelagem hidrodinâmica e das manchas de inundação estimadas. Também se recomenda um levantamento topográfico mais detalhado da região de jusante, para melhor representação dos resultados finais do estudo de

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 37/39	
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03	

ruptura. O recomendável seria a elaboração de um modelo digital de terreno (DEM – Digital Elevation Model) obtido a partir de um sistema de perfilhamento a LASER (ALS - Airborne LASER Scanning) ou Sistema para Mapeamento do Terreno por LASER Aerotransportado (ALTM - Airborne LASER Terrain Mapper).

Salienta-se que o presente estudo não engloba a pluma de turbidez contaminação ao longo dos corpos hídricos. Destaca-se que a mesma possivelmente terá uma extensão superior a mancha de inundação aqui determinada.

Cabe destacar que o Estudo de Ruptura Hipotética de Barragens está sujeito a incertezas e limitação, como por exemplo o dimensionamento e tempo de formação da brecha, definição do volume escoado para jusante, determinação do coeficiente de rugosidade do terreno, dentre outras.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 38/39	
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03	

8.0 REFERÊNCIAS

FROEHLICH, D. C., TUFAIL, M. Evaluation and Use of Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. In PROCEEDINGS OF THE ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION OF STATE DAM SAFETY OFFICIALS, Phoenix, 2004, 15 p.

FROEHLICH, D. C. 2008. Embankment Dam Breach Parameter and Their Uncertainties. Journal of Hydraulic Engineering, 2008 ASCE.

FROEHLICH, D. C. 2016. Empirical Model of Embankment Dam Breaching. International Conference on Fluvial Hydraulics. Saint Louis, EUA. 2016.

USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Brunner: Hydrologic Engineering Center (HEC), 547 p., 2018.

WASHINGTON (MGS Engineering Consultants), Dam Safety Guidelines, Technical Note 1: Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification, Washington State Department of Ecology Publication, No. 92-55E (revised), Washington, 34 p., 2007.

VON THUN, J. L; GILLETE, D. R. Guidance on Breach Parameters. Não publicado. 1990.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM DO RIO VACARIA RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-17	Folha 39/39
	WBH28-17-SAM-RTE-0017	Revisão 03

9.0 APÊNDICES