

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 1/46	
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03	

RELATÓRIO DO ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2

DISPOSIÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A
(PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO)

 <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 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-14</p>	<p>Folha 3/46</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0014</p>	<p>Revisão 03</p>

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 2	12
4.4 PARÂMETROS BÁSICOS DOS REJEITOS ARMAZENADOS	20
4.5 BARRAGEM DO RIO VACARIA.....	21
4.5.1 Curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria.....	22
4.5.2 Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria.....	23
5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS.....	24
5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA	24
5.2 CENÁRIO DE SIMULAÇÃO	24
5.3 HIDROGRAMAS DE RUPTURA	24
5.3.1 Hipóteses de Ruptura e Modo de Falha	24
5.3.2 Definição do Volume de Material Mobilizado.....	25
5.3.3 Parâmetros da Brecha.....	25
5.3.4 Desenvolvimento da Brecha e do Hidrograma de Ruptura	26
5.4 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	27
5.4.1 Descrição do Trecho de Propagação	27
5.4.2 Parâmetros de Resistência.....	27
5.4.3 Condições Iniciais e de Contorno	27
5.4.4 Definição do Critério de Parada.....	28
5.4.5 Zona de autossalvamento	28
5.4.6 Modelo Matemático-Computacional	28
5.4.7 Modelo Matemático-Computacional	29
5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO.....	29
5.5.1 Seções Transversais de Referência.....	29

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 4/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

5.5.2	Parâmetros de Inundação Mapeados.....	30
6.0	RESULTADOS	31
6.1	HIDROGRAMAS DE RUPTURA	31
6.2	PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	35
6.3	REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA	42
6.4	DESCRIÇÃO RESUMIDA DO POTENCIAL DE INUNDAÇÃO	42
6.5	MAPAS DE INUNDAÇÃO.....	42
7.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
8.0	REFERÊNCIAS.....	45
9.0	APÊNDICES.....	46

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 5/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

RESUMO

São apresentadas neste relatório as informações consideradas para os estudos hidrológicos e hidráulicos associados à ruptura hipotética da Barragem 2, 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 2 adotou-se a hipótese de ruptura considerando-se o nível de água como no NA normal da barragem, para os dois cenários de ruptura: barragem na condição inicial com a cava no ano 2 e na condição final com a cava no ano 18;
- De acordo com a propagação dos hidrogramas de ruptura da Barragem 2 pelo vale a jusante, tanto para o cenário inicial, quanto para o cenário final, verificou-se que não houve galgamento da Barragem do Rio Vacaria, localizada 30,0 km (em relação ao talvegue principal) a jusante da Barragem 2.
- Na avaliação da propagação do hidrograma de ruptura da Barragem 2 pelo vale a jusante, verificou-se que no cenário final a mancha se propaga por aproximadamente 3 km a jusante da barragem e no cenário Inicial aproximadamente 20 km.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 6/46	
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03	

1.0 INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentado o estudo de ruptura hipotética da Barragem 2, 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 2 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 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 7/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	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-38-00 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia – Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem 2 – 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 2 – Sistema Extravasador – Planta, Perfil e Detalhes Típicos. 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.
- MINA_BLC8007-1010-G-RE-32 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem 2 – Relatório técnico
- 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 com levantamento gratuito, 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 gratuitamente 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. Foram determinados dois MDTs (Modelo Digital de Terreno) com cinco metros de resolução distintos, o primeiro apresentando a cava no ano 2 e o segundo apresentando a cava no ano 18. 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 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-14</p>	<p>Folha 8/46</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0014</p>	<p>Revisão 03</p>

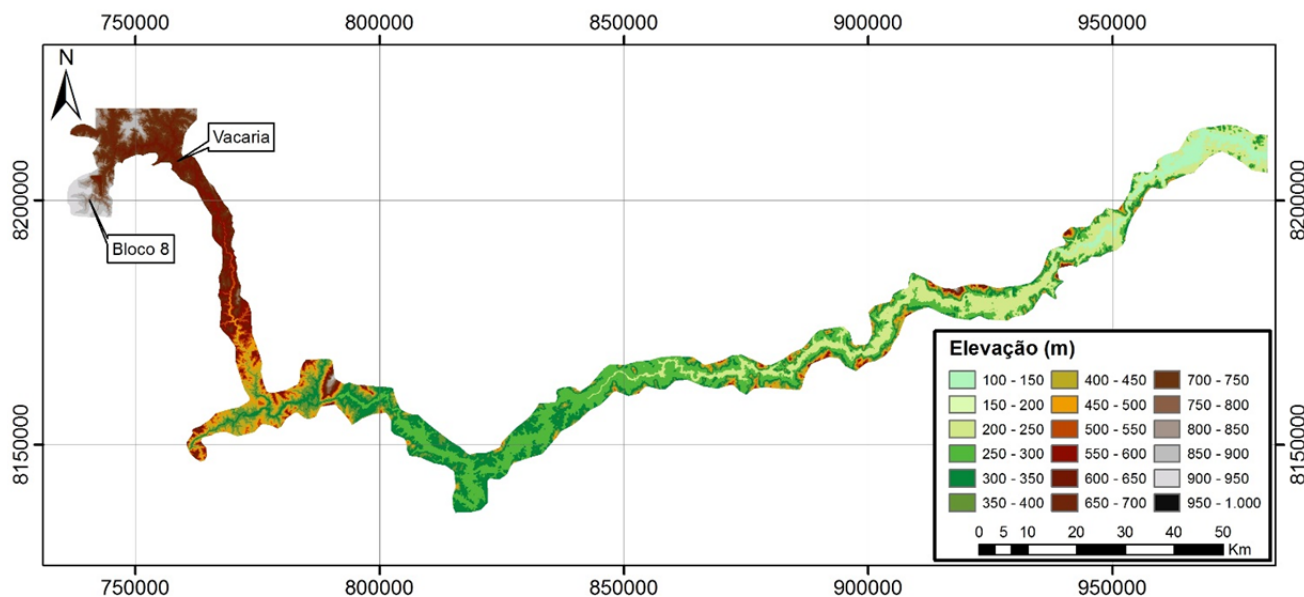


Figura 3.1 – Topografia utilizada no estudo.

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 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
9/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

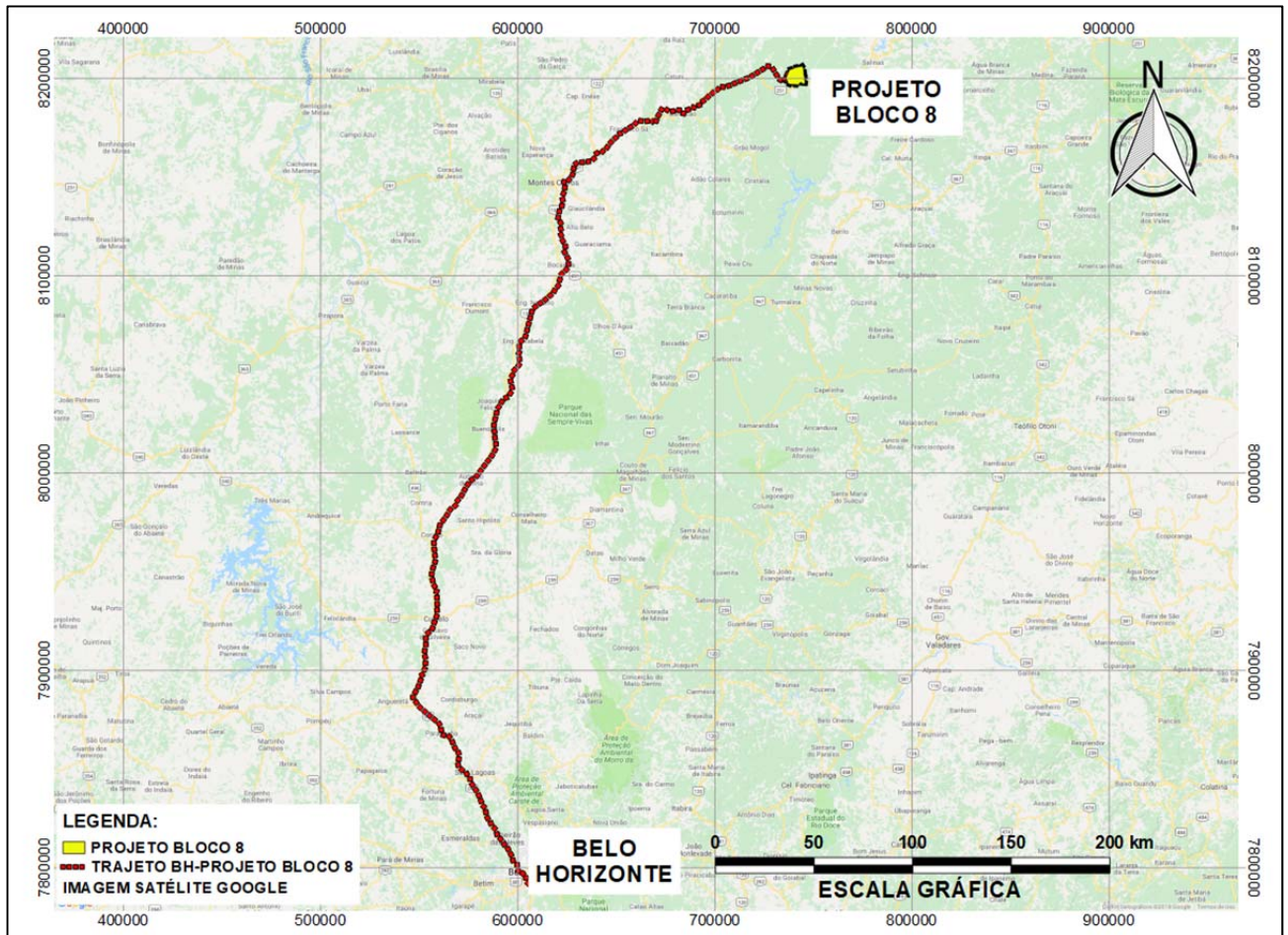


Figura 4.1 – Barragem 2 – Acessos.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
10/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

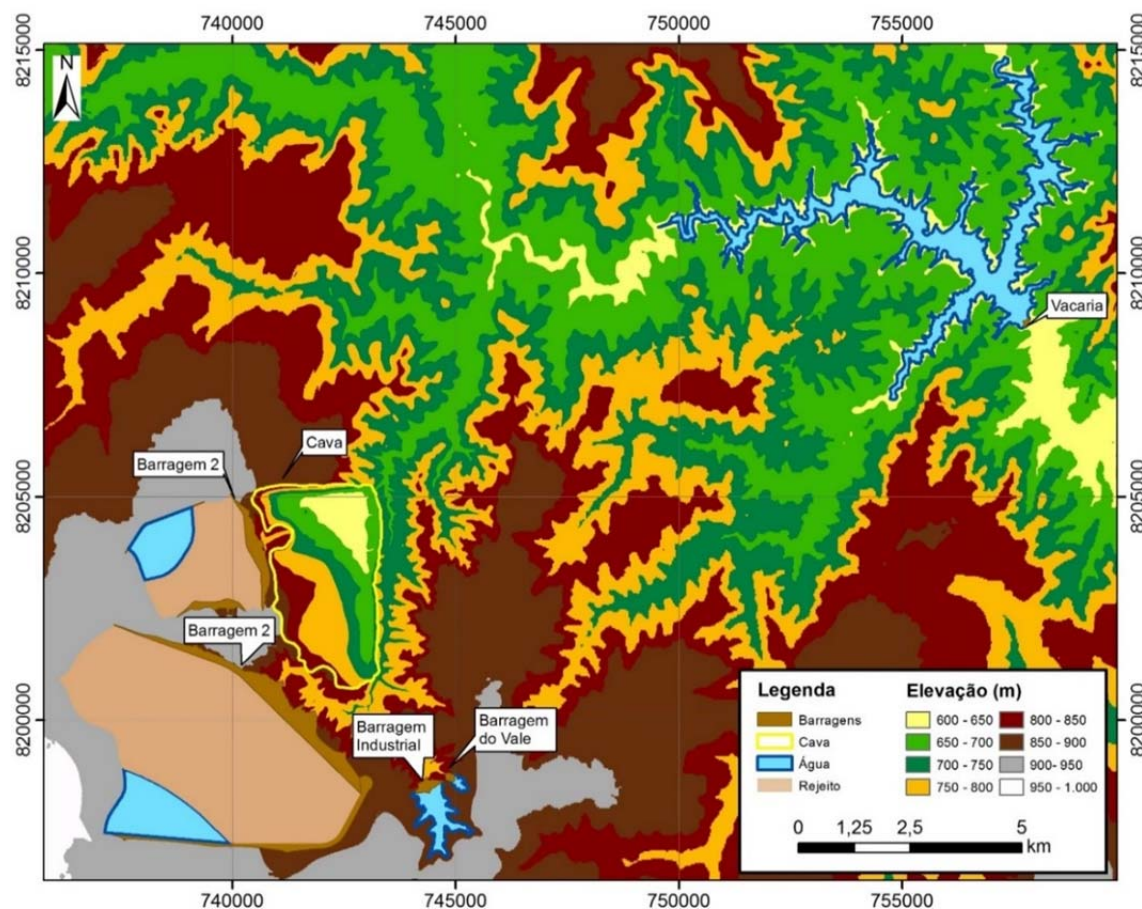


Figura 4.2 – Arranjo geral do Bloco 8 e topografia utilizada no estudo.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 11/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

4.2 ARRANJO GERAL

A Barragem 2 possui como finalidade armazenar o rejeito proveniente da extração do minério de ferro da cava da planta da SAM. A Barragem 2 será instalada nas coordenadas 744.338 E e 8.198.503N.

O dique inicial da Barragem 2 tem aproximadamente 99,0 m de altura e crista com cerca de 2,1 km de comprimento e elevação El.890,0 m. Destaca-se que o maciço será alteado até a elevação 915,0 m, alcançando 124,0 m de altura. As etapas consideradas no estudo de ruptura hipotética da Barragem 2 são a ruptura do dique inicial El. 890,0 m (Cenário inicial) e a ruptura da barragem após o alteamento El. 915,0 m (Cenário final), no estado operacional de 18 anos.

As principais características da estrutura estão resumidas na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Dados Gerais da Barragem 2.

Dados Gerais		
Localização	Latitude	8.198.503
	Longitude	744.338
Finalidade	Armazenamento de rejeito	
Cota da Crista (m)	Inicial	890
	Final	915
NA normal (m)	Inicial	888
	Final	913
Altura Máxima da Barragem (m)	Inicial	99
	Final	124
Comprimento da Crista da Barragem (km)	Inicial	3,8 km
	Final	4,5 km
Tipo de Seção	Homogênea	
Estrutura Vertente	Extravador trapezoidal concebido em concreto, com base de 6,0 m de largura, altura de 2,0 m e taludes com inclinação de 1V:2H, tendo sua soleira na El.887,00m no cenário inicial e 913,00 m no cenário final	

A área a jusante da Barragem 2 delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo córrego Mundo Novo e pelo rio Vacaria, pertencentes a bacia federal do Jequitinhonha.

Como pode ser visualizado na

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 12/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

Figura 4.2, aproximadamente 30,0 km (em relação ao talvegue principal) a jusante da Barragem 2, encontra-se o reservatório de água do Rio Vacaria. Dessa forma, a barragem do Rio Vacaria será englobada nos estudos de ruptura hipotética para ser considerada a possibilidade de uma ruptura em cascata conforme preconiza o parágrafo 2 do Artigo 6 da Portaria 70.389/2017.

4.3 CURVA COTA-VOLUME DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM 2

Nas Figura 4.3 e Figura 4.4 – Curva cota x volume da Barragem 2 no estado final Figura 4.4 e nas Tabela 4.2 e Tabela 4.3 são apresentadas a curva cota-volume da Barragem 2 no estado inicial e final nas suas formas gráfica e tabular, respectivamente.

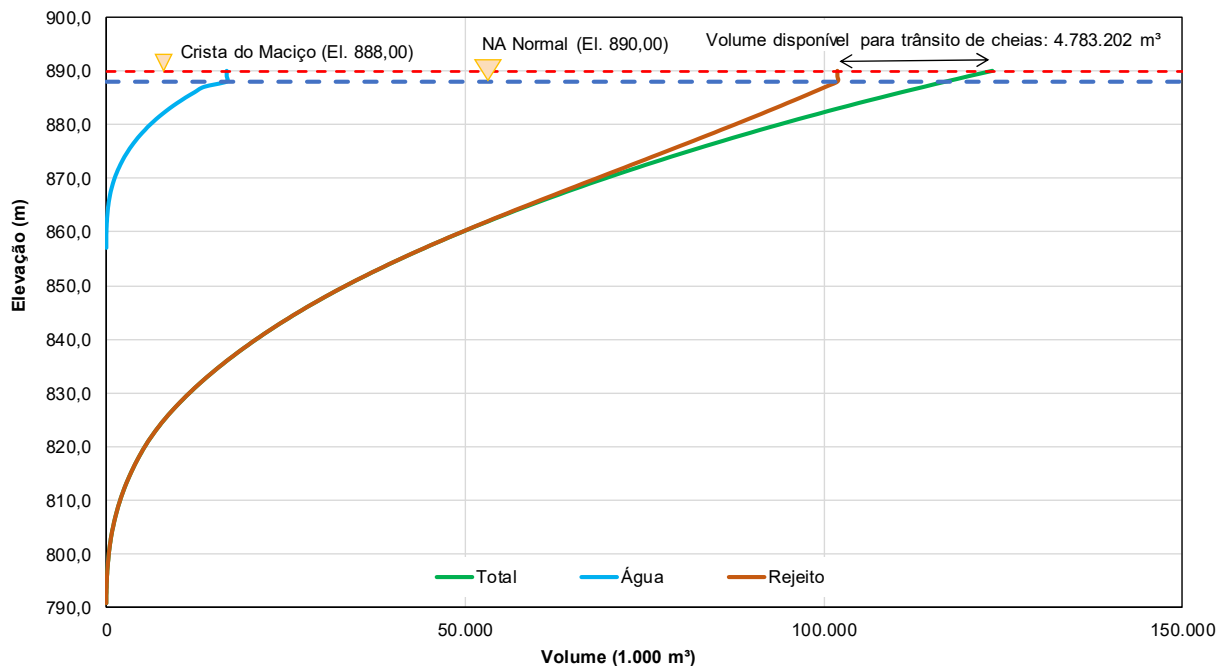
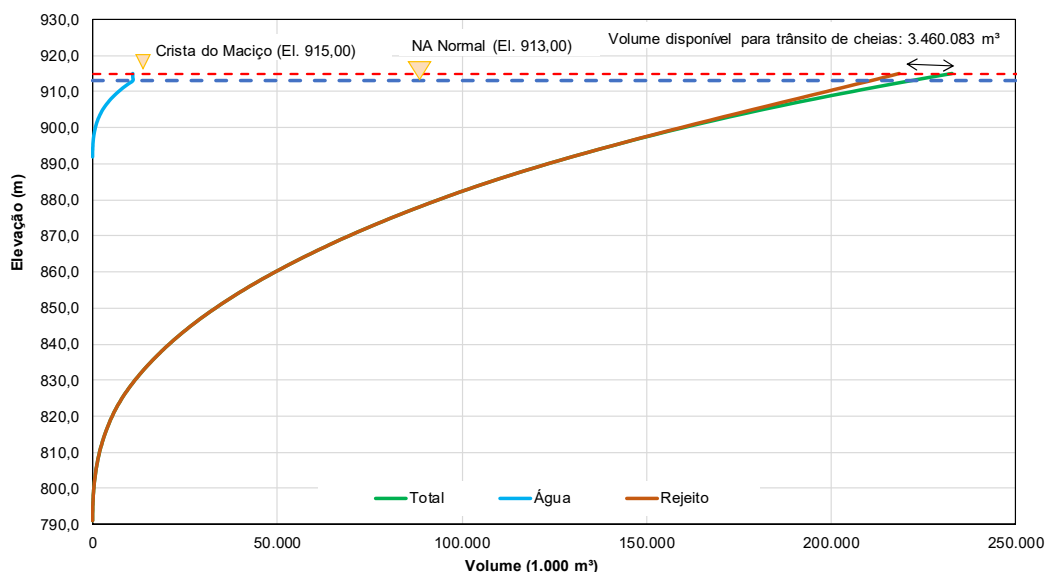


Figura 4.3 – Curva cota x volume da Barragem 2 no estado inicial


Figura 4.4 – Curva cota x volume da Barragem 2 no estado final
Tabela 4.2 – Curva cota x volume da Barragem 2 no estado inicial

Cota(m)	Volume (1.000 m³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
791,00	0,00	0,00	0,00	0,00
792,00	7,66	0,00	0,00	7,66
793,00	20,78	0,00	0,00	20,78
794,00	39,98	0,00	0,00	39,98
795,00	66,35	0,00	0,00	66,35
796,00	101,24	0,00	0,00	101,24
797,00	145,10	0,00	0,00	145,10
798,00	198,01	0,00	0,00	198,01
799,00	261,22	0,00	0,00	261,22
800,00	335,55	0,00	0,00	335,55
801,00	422,21	0,00	0,00	422,21
802,00	522,01	0,00	0,00	522,01
803,00	636,78	0,00	0,00	636,78
804,00	767,68	0,00	0,00	767,68
805,00	914,16	0,00	0,00	914,16
806,00	1.076,12	0,00	0,00	1.076,12
807,00	1.253,76	0,00	0,00	1.253,76
808,00	1.448,09	0,00	0,00	1.448,09

**PROJETO BLOCO 8**PROJETO CONCEITUAL
MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
14/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

Cota(m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
809,00	1.659,86	0,00	0,00	1.659,86
810,00	1.890,31	0,00	0,00	1.890,31
811,00	2.141,02	0,00	0,00	2.141,02
812,00	2.412,09	0,00	0,00	2.412,09
813,00	2.703,37	0,00	0,00	2.703,37
814,00	3.014,70	0,00	0,00	3.014,70
815,00	3.345,53	0,00	0,00	3.345,53
816,00	3.696,53	0,00	0,00	3.696,53
817,00	4.068,33	0,00	0,00	4.068,33
818,00	4.461,27	0,00	0,00	4.461,27
819,00	4.876,33	0,00	0,00	4.876,33
820,00	5.315,56	0,00	0,00	5.315,56
821,00	5.786,15	0,00	0,00	5.786,15
822,00	6.290,96	0,00	0,00	6.290,96
823,00	6.827,64	0,00	0,00	6.827,64
824,00	7.396,29	0,00	0,00	7.396,29
825,00	7.997,22	0,00	0,00	7.997,22
826,00	8.634,46	0,00	0,00	8.634,46
827,00	9.306,92	0,00	0,00	9.306,92
828,00	10.010,81	0,00	0,00	10.010,81
829,00	10.745,41	0,00	0,00	10.745,41
830,00	11.508,99	0,00	0,00	11.508,99
831,00	12.301,74	0,00	0,00	12.301,74
832,00	13.124,31	0,00	0,00	13.124,31
833,00	13.978,10	0,00	0,00	13.978,10
834,00	14.863,01	0,00	0,00	14.863,01
835,00	15.777,63	0,00	0,00	15.777,63
836,00	16.722,05	0,00	0,00	16.722,05
837,00	17.696,42	0,00	0,00	17.696,42
838,00	18.701,35	0,00	0,00	18.701,35
839,00	19.737,08	0,00	0,00	19.737,08
840,00	20.803,89	0,00	0,00	20.803,89
841,00	21.902,05	0,00	0,00	21.902,05
842,00	23.031,65	0,00	0,00	23.031,65
843,00	24.193,52	0,00	0,00	24.193,52
844,00	25.388,55	0,00	0,00	25.388,55

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
15/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

Cota(m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
845,00	26.617,98	0,00	0,00	26.617,98
846,00	27.882,56	0,00	0,00	27.882,56
847,00	29.183,00	0,00	0,00	29.183,00
848,00	30.523,44	0,00	0,00	30.523,44
849,00	31.902,97	0,00	0,00	31.902,97
850,00	33.318,40	0,00	0,00	33.318,40
851,00	34.770,28	0,00	0,00	34.770,28
852,00	36.258,37	0,00	0,00	36.258,37
853,00	37.783,12	0,00	0,00	37.783,12
854,00	39.344,47	0,00	0,00	39.344,47
855,00	40.942,36	0,00	0,00	40.942,36
856,00	42.576,51	0,00	0,00	42.576,51
857,00	44.249,49	0,00	0,00	44.249,49
858,00	45.959,43	1,55	0,00	45.960,98
859,00	47.701,37	6,53	0,00	47.707,90
860,00	49.472,41	18,72	0,00	49.491,12
861,00	51.267,91	43,31	0,00	51.311,22
862,00	53.086,02	82,47	0,00	53.168,49
863,00	54.928,48	135,68	0,00	55.064,16
864,00	56.796,58	203,44	0,00	57.000,02
865,00	58.688,19	289,17	0,00	58.977,36
866,00	60.596,45	399,27	0,00	60.995,72
867,00	62.515,03	538,96	0,00	63.053,99
868,00	64.440,46	711,72	0,00	65.152,18
869,00	66.370,79	920,39	0,00	67.291,18
870,00	68.305,52	1.166,30	0,00	69.471,83
871,00	70.243,86	1.450,20	0,00	71.694,06
872,00	72.184,28	1.773,90	0,00	73.958,18
873,00	74.125,04	2.139,84	0,00	76.264,88
874,00	76.065,30	2.550,25	0,00	78.615,54
875,00	78.003,77	3.007,71	0,00	81.011,48
876,00	79.936,95	3.515,20	0,00	83.452,15
877,00	81.860,91	4.076,45	0,00	85.937,36
878,00	83.773,46	4.695,42	0,00	88.468,88
879,00	85.673,62	5.376,10	0,00	91.049,72

**PROJETO BLOCO 8**PROJETO CONCEITUAL
MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
16/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

Cota(m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
880,00	87.560,61	6.122,27	0,00	93.682,88
881,00	89.432,45	6.938,24	0,00	96.370,69
882,00	91.286,39	7.830,23	0,00	99.116,61
883,00	93.119,68	8.803,84	0,00	101.923,52
884,00	94.929,32	9.863,73	0,00	104.793,05
885,00	96.712,50	11.013,99	0,00	107.726,50
886,00	98.467,47	12.257,61	0,00	110.725,08
887,00	100.193,44	13.597,36	0,00	113.790,80
888,00	101.889,73	16.731,55	0,00	116.924,99
889,00	101.889,73	16.731,55	1.508,86	120.130,14
890,00	101.889,73	16.731,55	4.783,20	123.404,48

Tabela 4.3 – Curva cota x volume da Barragem 2 no estado final

Cota(m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
791,00	0,00	0,00	0,00	0,00
792,00	7,66	0,00	0,00	7,66
793,00	20,78	0,00	0,00	20,78
794,00	39,98	0,00	0,00	39,98
795,00	66,35	0,00	0,00	66,35
796,00	101,24	0,00	0,00	101,24
797,00	145,10	0,00	0,00	145,10
798,00	198,01	0,00	0,00	198,01
799,00	261,22	0,00	0,00	261,22
800,00	335,55	0,00	0,00	335,55
801,00	422,21	0,00	0,00	422,21
802,00	522,01	0,00	0,00	522,01
803,00	636,78	0,00	0,00	636,78
804,00	767,68	0,00	0,00	767,68
805,00	914,16	0,00	0,00	914,16
806,00	1.076,12	0,00	0,00	1.076,12
807,00	1.253,76	0,00	0,00	1.253,76
808,00	1.448,09	0,00	0,00	1.448,09
809,00	1.659,86	0,00	0,00	1.659,86
810,00	1.890,31	0,00	0,00	1.890,31

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
17/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

Cota(m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
811,00	2.141,02	0,00	0,00	2.141,02
812,00	2.412,09	0,00	0,00	2.412,09
813,00	2.703,37	0,00	0,00	2.703,37
814,00	3.014,70	0,00	0,00	3.014,70
815,00	3.345,53	0,00	0,00	3.345,53
816,00	3.696,53	0,00	0,00	3.696,53
817,00	4.068,33	0,00	0,00	4.068,33
818,00	4.461,27	0,00	0,00	4.461,27
819,00	4.876,33	0,00	0,00	4.876,33
820,00	5.315,56	0,00	0,00	5.315,56
821,00	5.786,15	0,00	0,00	5.786,15
822,00	6.290,96	0,00	0,00	6.290,96
823,00	6.827,64	0,00	0,00	6.827,64
824,00	7.396,29	0,00	0,00	7.396,29
825,00	7.997,22	0,00	0,00	7.997,22
826,00	8.634,46	0,00	0,00	8.634,46
827,00	9.306,92	0,00	0,00	9.306,92
828,00	10.010,81	0,00	0,00	10.010,81
829,00	10.745,41	0,00	0,00	10.745,41
830,00	11.508,99	0,00	0,00	11.508,99
831,00	12.301,74	0,00	0,00	12.301,74
832,00	13.124,31	0,00	0,00	13.124,31
833,00	13.978,10	0,00	0,00	13.978,10
834,00	14.863,01	0,00	0,00	14.863,01
835,00	15.777,63	0,00	0,00	15.777,63
836,00	16.722,05	0,00	0,00	16.722,05
837,00	17.696,42	0,00	0,00	17.696,42
838,00	18.701,35	0,00	0,00	18.701,35
839,00	19.737,08	0,00	0,00	19.737,08
840,00	20.803,89	0,00	0,00	20.803,89
841,00	21.902,05	0,00	0,00	21.902,05
842,00	23.031,65	0,00	0,00	23.031,65
843,00	24.193,52	0,00	0,00	24.193,52
844,00	25.388,55	0,00	0,00	25.388,55
845,00	26.617,98	0,00	0,00	26.617,98
846,00	27.882,56	0,00	0,00	27.882,56

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
18/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

Cota(m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
847,00	29.183,00	0,00	0,00	29.183,00
848,00	30.523,44	0,00	0,00	30.523,44
849,00	31.902,97	0,00	0,00	31.902,97
850,00	33.318,40	0,00	0,00	33.318,40
851,00	34.770,28	0,00	0,00	34.770,28
852,00	36.258,37	0,00	0,00	36.258,37
853,00	37.783,12	0,00	0,00	37.783,12
854,00	39.344,47	0,00	0,00	39.344,47
855,00	40.942,36	0,00	0,00	40.942,36
856,00	42.576,51	0,00	0,00	42.576,51
857,00	44.249,49	0,00	0,00	44.249,49
858,00	45.960,98	0,00	0,00	45.960,98
859,00	47.707,90	0,00	0,00	47.707,90
860,00	49.491,12	0,00	0,00	49.491,12
861,00	51.311,22	0,00	0,00	51.311,22
862,00	53.168,49	0,00	0,00	53.168,49
863,00	55.064,16	0,00	0,00	55.064,16
864,00	57.000,02	0,00	0,00	57.000,02
865,00	58.977,36	0,00	0,00	58.977,36
866,00	60.995,72	0,00	0,00	60.995,72
867,00	63.053,99	0,00	0,00	63.053,99
868,00	65.152,18	0,00	0,00	65.152,18
869,00	67.291,18	0,00	0,00	67.291,18
870,00	69.471,83	0,00	0,00	69.471,83
871,00	71.694,06	0,00	0,00	71.694,06
872,00	73.958,18	0,00	0,00	73.958,18
873,00	76.264,88	0,00	0,00	76.264,88
874,00	78.615,54	0,00	0,00	78.615,54
875,00	81.011,48	0,00	0,00	81.011,48
876,00	83.452,15	0,00	0,00	83.452,15
877,00	85.937,36	0,00	0,00	85.937,36
878,00	88.468,88	0,00	0,00	88.468,88
879,00	91.049,72	0,00	0,00	91.049,72
880,00	93.682,88	0,00	0,00	93.682,88
881,00	96.370,69	0,00	0,00	96.370,69

**PROJETO BLOCO 8**PROJETO CONCEITUAL
MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
19/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

Cota(m)	Volume (1.000 m ³)			
	Rejeito	Água	Trânsito de Cheia	TOTAL
882,00	99.116,61	0,00	0,00	99.116,61
883,00	101.923,52	0,00	0,00	101.923,52
884,00	104.793,05	0,00	0,00	104.793,05
885,00	107.726,50	0,00	0,00	107.726,50
886,00	110.725,08	0,00	0,00	110.725,08
887,00	113.790,80	0,00	0,00	113.790,80
888,00	116.924,99	0,00	0,00	116.924,99
889,00	120.130,14	0,00	0,00	120.130,14
890,00	123.404,48	0,00	0,00	123.404,48
891,00	126.745,63	0,00	0,00	126.745,63
892,00	130.152,85	2,52	0,00	130.155,37
893,00	133.622,64	12,09	0,00	133.634,73
894,00	137.149,62	33,91	0,00	137.183,52
895,00	140.728,99	73,85	0,00	140.802,84
896,00	144.358,00	137,93	0,00	144.495,93
897,00	148.032,97	231,68	0,00	148.264,65
898,00	151.752,28	360,38	0,00	152.112,66
899,00	155.514,17	529,17	0,00	156.043,35
900,00	159.315,98	743,51	0,00	160.059,49
901,00	163.153,79	1.009,39	0,00	164.163,18
902,00	167.022,14	1.333,39	0,00	168.355,53
903,00	170.917,69	1.723,34	0,00	172.641,02
904,00	174.837,44	2.188,95	0,00	177.026,38
905,00	178.778,35	2.740,30	0,00	181.518,66
906,00	182.737,51	3.385,14	0,00	186.122,65
907,00	186.711,78	4.128,92	0,00	190.840,69
908,00	190.698,07	4.976,90	0,00	195.674,98
909,00	194.694,14	5.933,53	0,00	200.627,67
910,00	198.698,06	6.999,69	0,00	205.697,75
911,00	202.707,35	8.173,03	0,00	210.880,38
912,00	206.718,85	9.454,44	0,00	216.173,29
913,00	210.728,95	10.848,35	0,00	221.577,30
914,00	214.656,82	10.848,35	1.588,03	227.093,20
915,00	218.412,81	10.848,35	3.460,08	232.721,25

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 20/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

Os croquis apresentados nas Figura 4.5 e Figura 4.6 ilustram os reservatórios considerado no estudo de ruptura hipotética da Barragem 2 no estado inicial e final.

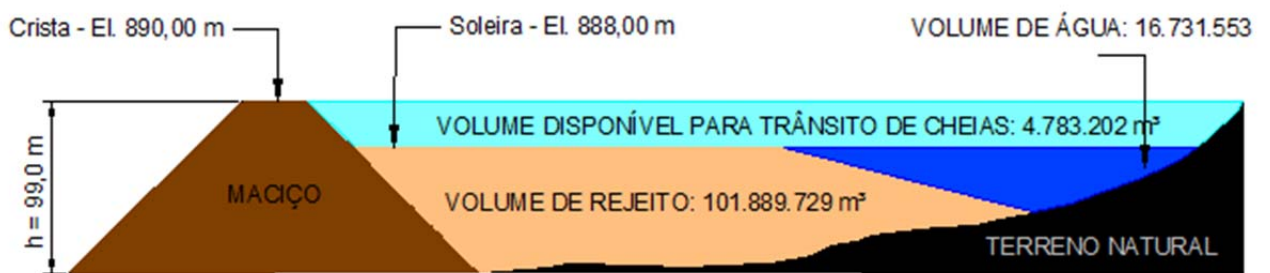


Figura 4.5 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da Barragem 2 no estado inicial (sem escala).

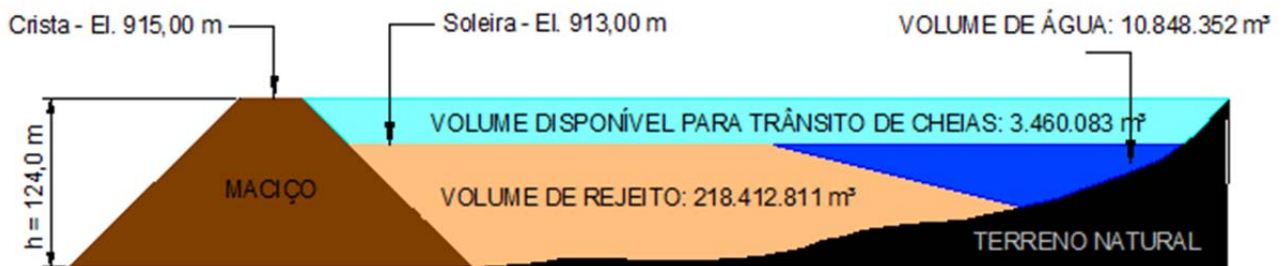


Figura 4.6 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da Barragem 2 no estado final (sem escala).

4.4 PARÂMETROS BÁSICOS DOS REJEITOS ARMAZENADOS

O material sólido que será depositado na Barragem 2, além do rejeito utilizado para o alteamento do maciço é resultado do processo de beneficiamento do minério de ferro, onde são gerados 3 tipos de rejeitos: Rejeito Grosso; Rejeito Fino e Lama. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentadas as características físicas do rejeito, além das características do material do dique inicial do maciço.

 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 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 21/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

Tabela 4.4 –Características do Material

	Material	Densidade Aparente Seca (t/m ³)	Peso Específico dos Grãos (t/m ³)
Reservatório	Rejeito Fino + Lama	1,4	2,81
	Rejeito Grosso	1,46	2,78
	Parâmetros Ponderados	1,41	2,8
Maciço	Dique inicial	1,6	1,6
	Alteamentos	1,48	2,78
	Parâmetros Ponderados	1,51	2,47

Tendo posse do volume e das características de cada material, foi possível determinar o volume de água presa existente no mesmo por meio das Equações 4.1.

$$V_{\text{água presa rejeito}} = \frac{M}{\gamma_a} - \frac{M}{\gamma_s}$$

Equação 4.1

Onde:

- V: Volume;
- M: Massa;
- γ_s : Peso específico dos grãos; e
- γ_a : Densidade aparente.

4.5 BARRAGEM DO RIO VACARIA

A barragem do Rio Vacaria será instalada no rio Vacaria nas coordenadas 757.780,705 E e 8.208.904,681 N. Seu maciço será construído em enrocamento com núcleo de argila. A barragem terá 41,0 m de altura, 307,9 m de comprimento, crista na cota 639,0 m e NA normal na cota 634,0 m.

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

 Folha
22/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

 Revisão
 03

4.5.1 Curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria

Na Figura 4.4 e na Tabela 4.3 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.

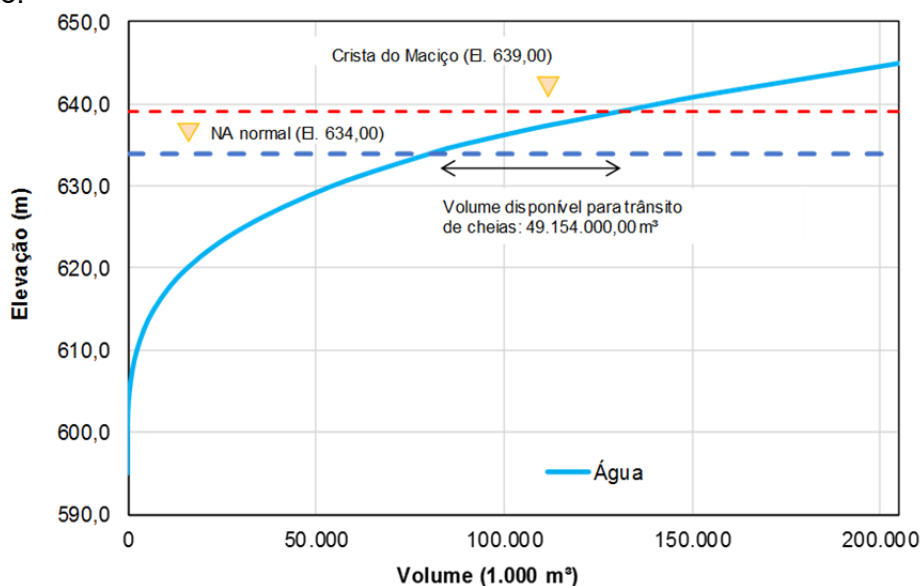


Figura 4.7 – Curva cota x volume da barragem do Rio Vacaria

Tabela 4.5 – 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

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 23/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

645	205.725.000,00
-----	----------------

O croqui apresentado na Figura 4.8 ilustra o reservatório da barragem do Rio Vacaria considerado no estudo de ruptura hipotética da Barragem 2.

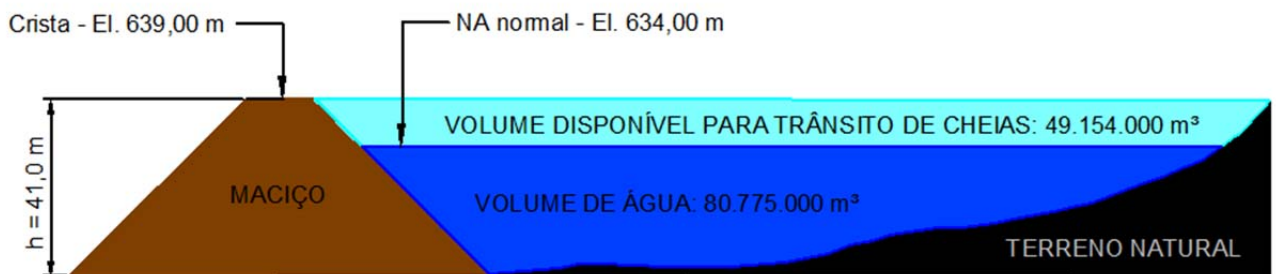


Figura 4.8 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da barragem do Rio Vacaria (sem escala).

4.5.2 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 4.6 ilustra os valores em forma tabular.

$$Q = C_d L H^{1,5}$$

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 4.6 – Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria

Elevação (m)	Vazão (m³/s)
634,00	0,00
635,00	111,15
636,00	314,38
637,00	577,55
638,00	889,20

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 24/46	
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03	

Elevação (m)	Vazão (m ³ /s)
639,00	1242,69

5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS

5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA

A metodologia utilizada para o estudo de ruptura hipotética da Barragem 2 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 2. Dessa forma os cenários determinados para a ruptura hipotética foram:

- **CENÁRIO INICIAL** – Ruptura do dique inicial (crista na El. 890,0 m), considerando o nível de água do reservatório fixado no NA normal (El. 888,0 m) no momento da ruptura e a configuração da cava referente ao final do ano 2.
- **CENÁRIO FINAL** – Ruptura da barragem no estado final (crista na El. 915,0 m), considerando o nível de água do reservatório fixado no NA normal (El. 913,0 m) no momento da ruptura e a configuração final da cava referente ao ano 18.

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. Em consequência dessa ruptura ocorre a sobrelevação do nível de água

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 25/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

da barragem do Rio Vacaria. Contudo, essa sobrelevação não é suficiente para que ocorra o galgamento da barragem do Rio Vacaria, ou seja, o volume de trânsito de cheias da barragem do Rio Vacaria é capaz de amortecer o hidrograma defluente da ruptura da Barragem 2.

5.3.2 Definição do Volume de Material Mobilizado

Diferentemente de uma barragem de água, onde todo o material é liberado para jusante em caso de ruptura, para barragens de contenção de rejeitos apenas parte do volume depositado no reservatório é liberado. Para determinação do volume de rejeito escoado foi adotada a correlação entre o volume total do reservatório (V_t) e o volume expelido do reservatório (V_f), apresentado por RICO et al. (2008) descrita pela equação empírica a saber:

$$V_f = 0,354 \times V_t^{1,01}$$

Equação 5.1

O volume total do hidrograma de ruptura da Barragem 2 para os diferentes cenários de análise será composto pelas parcelas apresentadas na Figura 5.1.

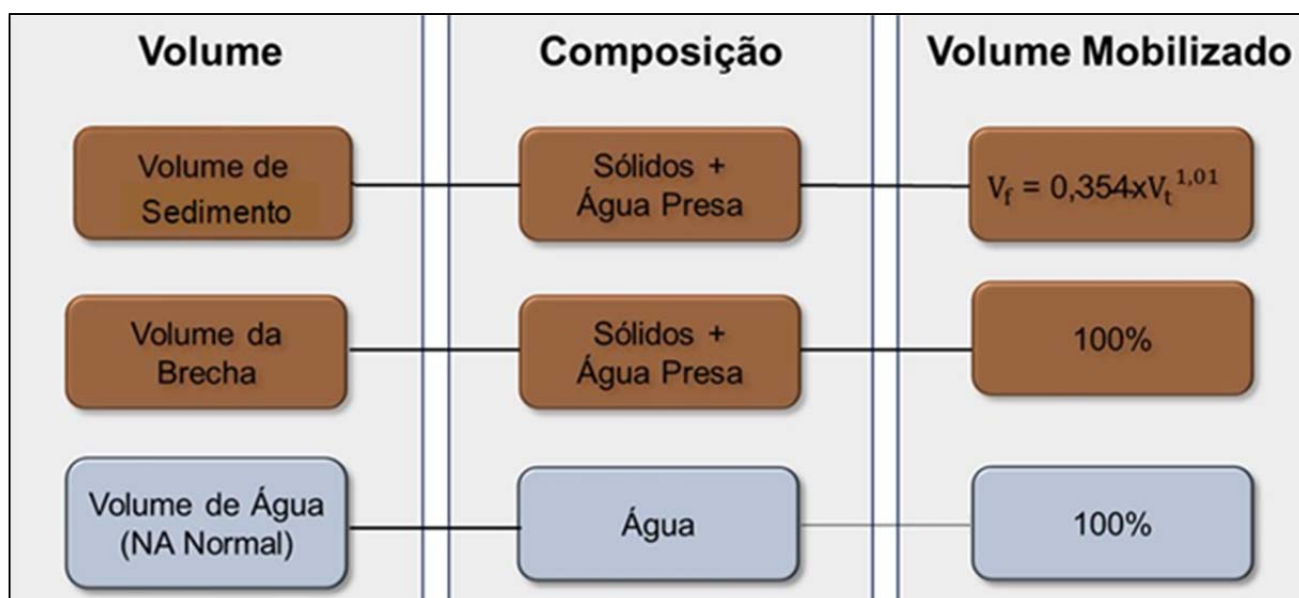


Figura 5.1 – Composição do hidrograma de ruptura em termos de volume.

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 TUFAIL, 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 utilizada formulações

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 26/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

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).

$$B_{ave} = 0,23k_0 V_w^{1/3} \quad \text{Equação 5.1}$$

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.

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

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 2 e da barragem do Rio Vacaria, além dos parâmetros de formação da brecha.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14		Folha 27/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014		Revisão 03

5.4 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

5.4.1 Descrição do Trecho de Propagação

A área a jusante da Barragem 2 delimitada para o desenvolvimento do estudo (*Dam Break*) é definida pelo córrego Mundo Novo e pelo rio Vacaria por, aproximadamente, 20 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, travessias, benfeitorias isoladas e a cava da planta da SAM são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura do cenário inicial. No cenário final apenas a cava da planta da SAM é atingida.

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, consequentemente, 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.

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 28/46	
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03	

5.4.4 Definição do Critério de Parada

Foi utilizada como premissa para o fim do mapeamento de inundação a possibilidade de parada da ruptura pelo amortecimento que iria ocorrer na cava da planta da SAM, assim caso a cava tivesse capacidade de reter o hidrograma de ruptura afluente sem o seu transbordamento a mancha de inundação cessaria na cava. No caso em que ocorresse o transbordamento da cava, foi avaliado a possibilidade de parada da ruptura pelo amortecimento que iria ocorrer na barragem do Rio Vacaria. Dessa forma, caso o sistema de vertimento dessa tivesse capacidade de escoar o hidrograma de ruptura afluente sem o seu galgamento, a mancha de inundação cessaria no reservatório da barragem do Rio Vacaria.

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 distâncias atingida pela mancha hipotética de ruptura da Barragem 2 nos primeiros 30 (trinta) minutos após o início da propagação do hidrograma é de 10 km para o cenário inicial e 3 km para o cenário final, dessa forma a zona de autossalvamento é definida como 10 km a jusante da barragem.

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 10 x 10 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, senda essa adotada entre 1,25 e 20 segundos.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 29/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

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.

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

5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

5.5.1 Seções Transversais de Referência

Foram traçadas seções transversais representativas a jusante da Barragem 2, para detalhamento dos resultados obtidos na modelagem hidráulica. As **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 5.3 a seguir ilustram as seções adotadas.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
30/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

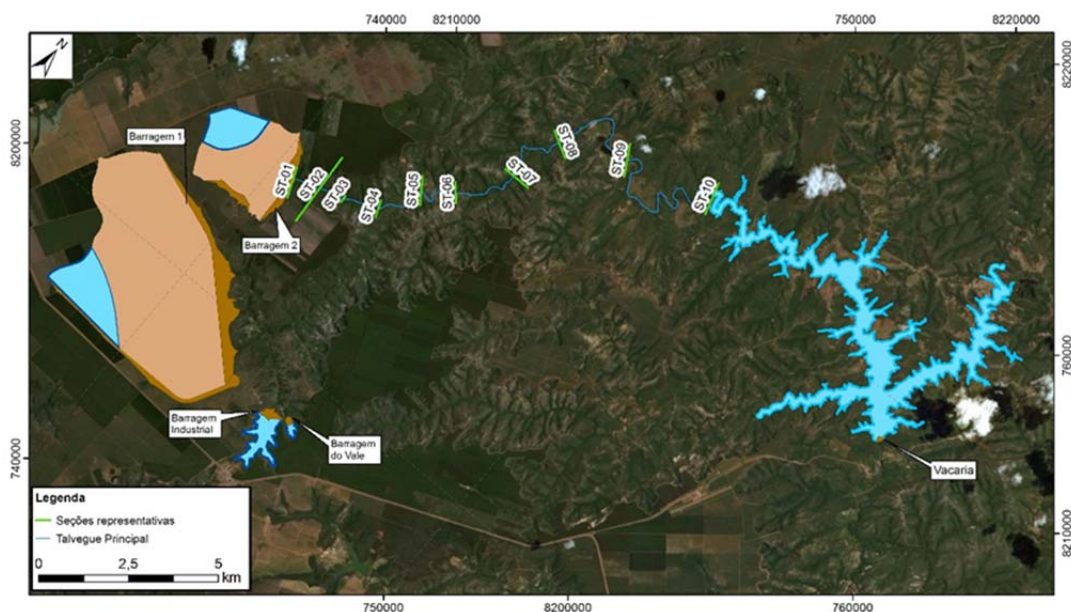


Figura 5.2 – Seções transversais representativas – Cenário Inicial

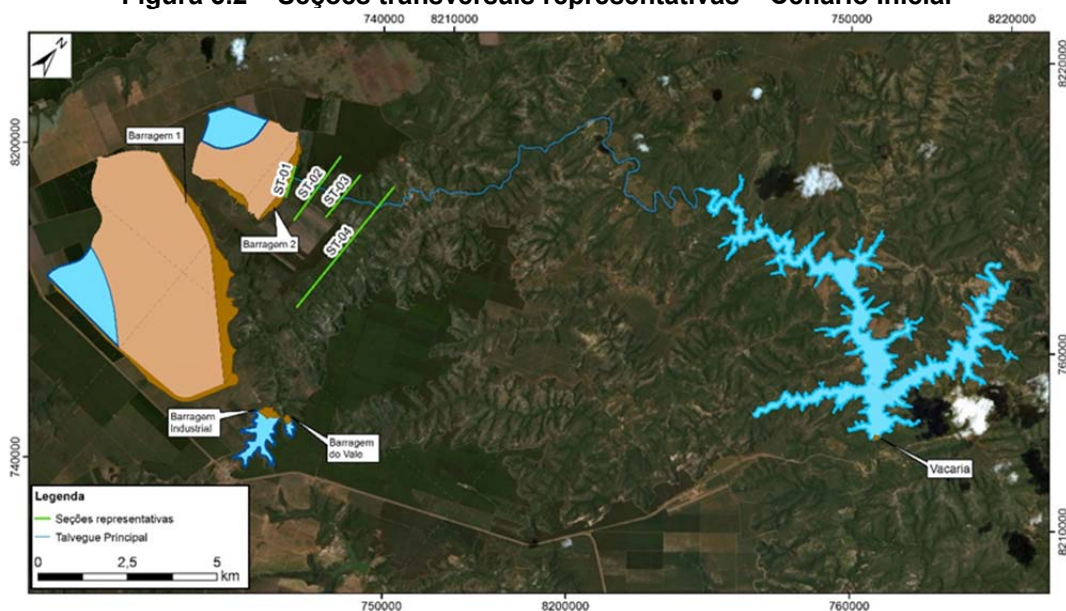


Figura 5.3 – Seções transversais representativas – Cenário Final

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.

 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 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 31/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

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 2. A Tabela 6.1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos no cálculo do volume escoado para jusante da Barragem 2.

Tabela 6.1 – Composição dos volumes para a etapa de propagação.

Parâmetros	Cenário Inicial	Cenário Final
Volume Total (m³)	118.621.282,24	229.261.162,85
Volume de Água (m³)	16.731.553,00	10.848.352,28
Volume Rejeito (m³)	101.889.729,24	218.412.810,57
- Volume de água presa no rejeito (m³)	52.500.113,64	119.165.309,11
- Volume de sólidos - total (m³)	49.389.615,60	99.247.501,46
- Sedimento escoado para jusante (V _f)	18.311.343,61	37.077.942,39
Volume da Brecha (m³)	3.545.480,79	4.847.420,51
- Volume de sólidos da brecha (m³)	3.545.480,79	4.847.420,51
- Volume de água presa na brecha (m³)	0	0,00
- Volume de água escoada para jusante (m³)	0	0,00
- Volume de sólidos escoado para jusante (m³)	3.545.480,79	4.847.420,51
Volume total escoado para jusante (m³)	58.052.947,20	97.292.765,05
Concentração Volumétrica do volume total escoado (%)	0,376498101	0,43092
Porcentagem do volume total do reservatório escoado para jusante	45,95%	40,32%

Os parâmetros de formação da brecha inseridos no modelo hidrológico HEC-HMS para determinação dos hidrogramas de ruptura da Barragem 2 são apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Parâmetros de formação da brecha para determinação dos hidrogramas de ruptura da Barragem 2.

Parâmetros	Barragem	
	Cenário inicial	Cenário final
Elevação do topo da brecha (m)	890,00	915,00
Elevação do fundo da brecha (m)	783,00	783,00
NA máximo atingido (m)	888,00	913,00
Hd (m)	107,00	132,00

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
 (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
32/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
 03

Parâmetros	Barragem	
	Cenário inicial	Cenário final
Hb (m)	107,00	132,00
Hw (m)	105,00	130,00
Vw (m ³)	118.621.282,24	229.261.162,85
k ₀	1,5	1,5
z	1,0000	1,0000
B _{ave} (m)	169,51	211,15
B _b (m)	62,51	79,15
B _t (m)	276,51	343,15
t _f calculado (h)	0,5416	0,6104
t _f adotado (min)	32,50	36,62

Nas Figura 6.1 e Figura 6.2 são apresentados os parâmetros da brecha para os cenários simulados para a Barragem 2.

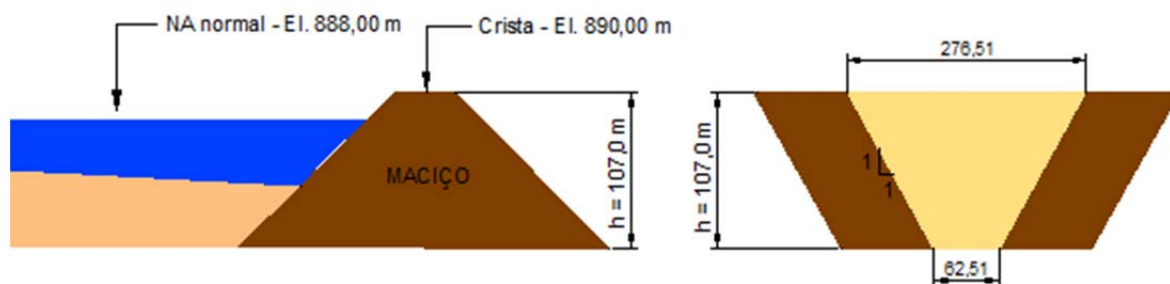


Figura 6.1 – Croqui da brecha – Barragem 2 – Cenário inicial

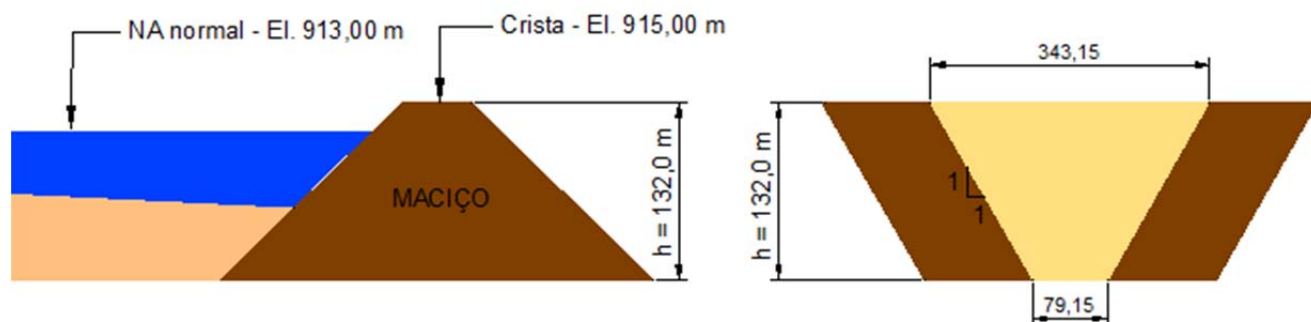


Figura 6.2 – Croqui da brecha – Barragem 2 – Cenário final

Para obtenção dos hidrogramas defluentes da ruptura hipotética da Barragem 2 foram realizadas simulações das rupturas no *software* HEC-HMS.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 33/46
		WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

Os hidrogramas resultantes dessas simulações estão apresentados entre as Figura 6.3 e Figura 6.5. Conforme pode ser observado, o valor máximo de vazão de pico defluente, no instante da ruptura da Barragem 2, é de 67.623,6 m³/s para o cenário inicial e de 98.318,00 m³/s para o cenário final. A vazão de pico afluente ao reservatório da barragem do Rio vacaria para os cenários inicial é 6.917,5 m³/s.

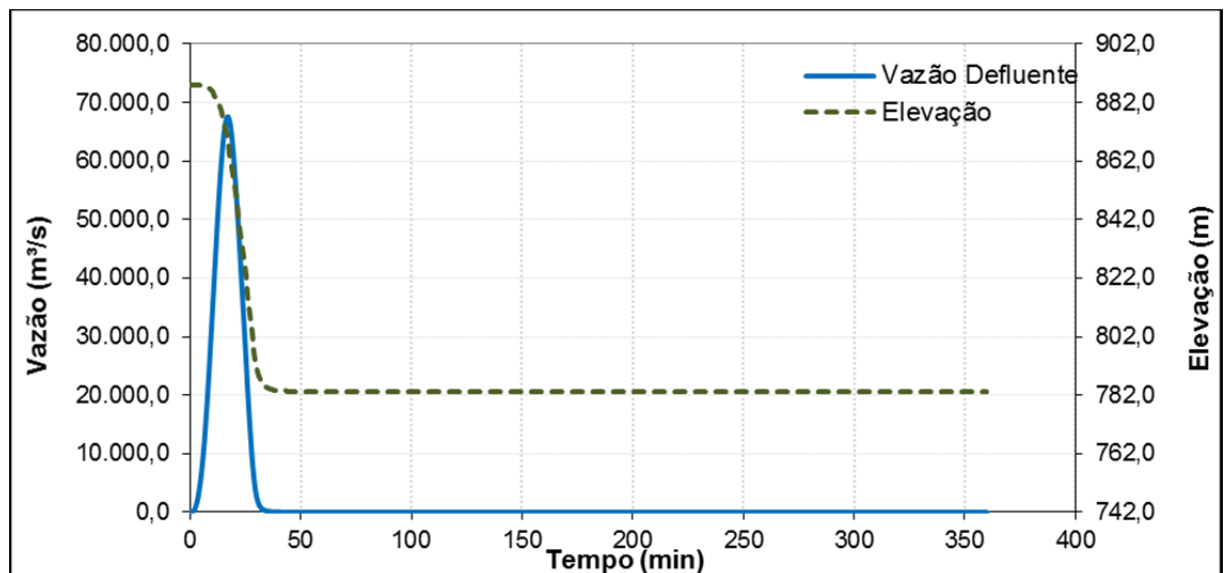


Figura 6.3 – Hidrograma defluente – Barragem 2, cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
34/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

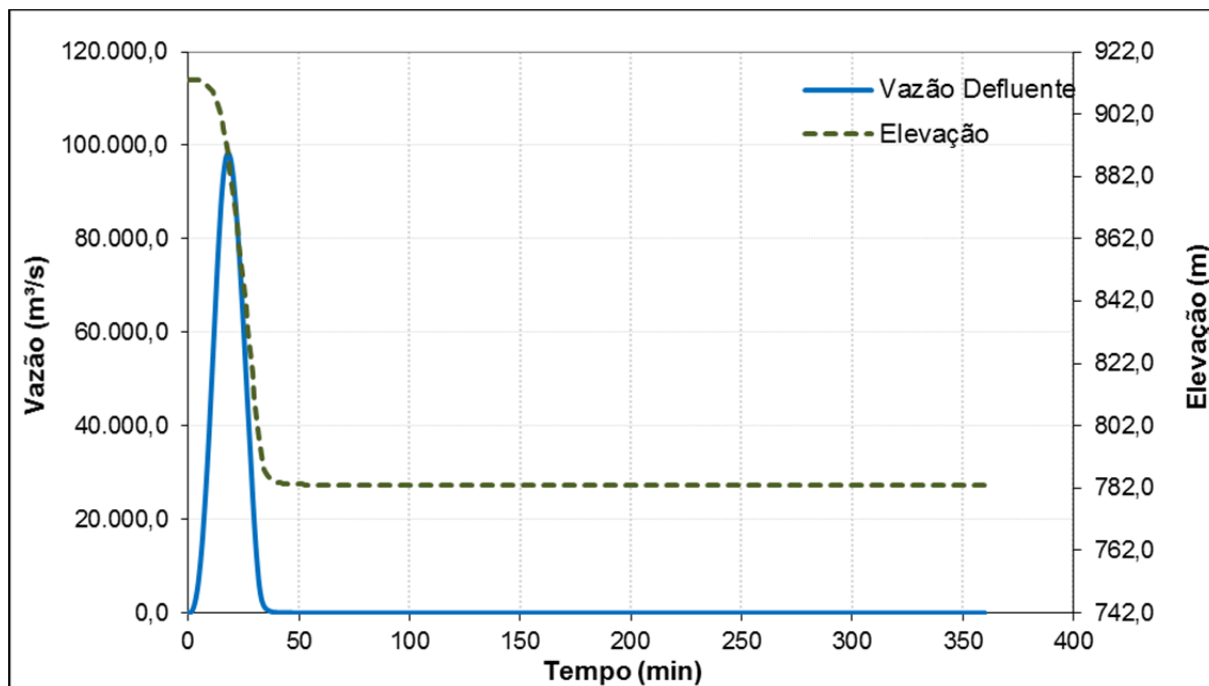


Figura 6.4 – Hidrograma defluente – Barragem 2, cenário final

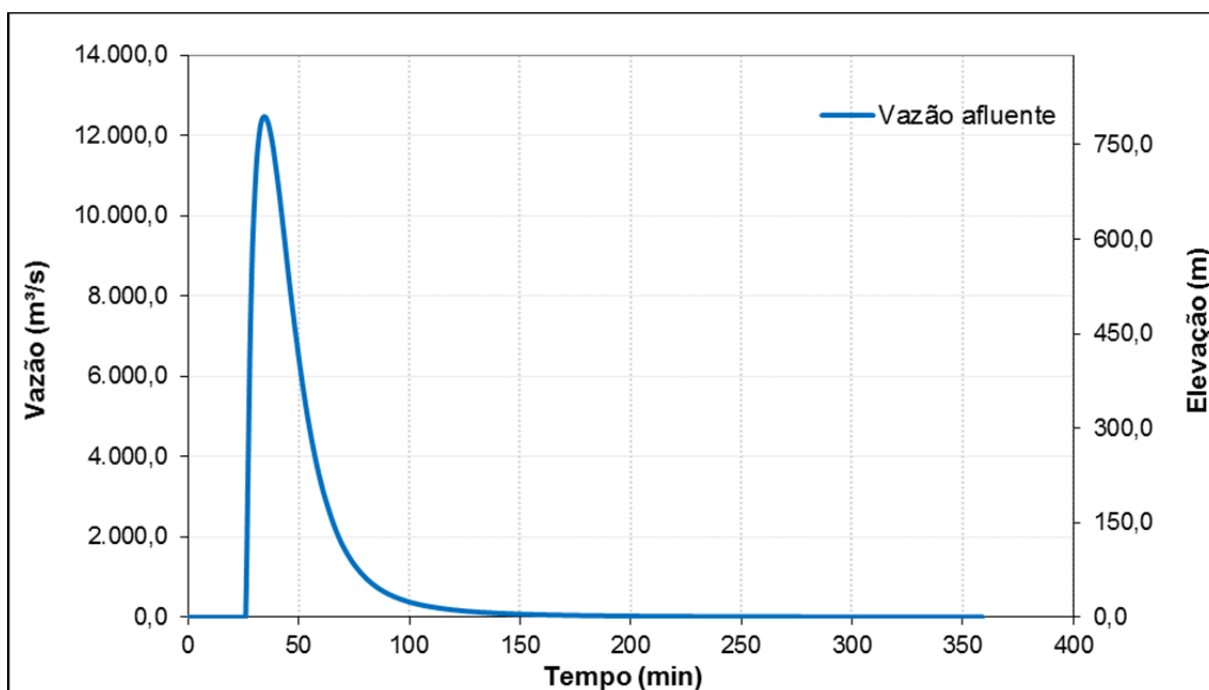


Figura 6.5 – Hidrograma afluyente ao reservatório da barragem do Rio Vacaria – Cenário inicial

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 35/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

6.2 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

Os principais resultados da modelagem hidráulica nas seções transversais representativas a jusante para os cenários simulados estão apresentados nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 6.4 e entre a Figura 6.6 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 6.3 – Principais resultados da modelagem hidráulica – Cenário Inicial

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Inicial						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m³/s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m²/s)
ST-01	0,3	42,6	829	65007	0:5:00	0:20:00	20,1	718,5
ST-02	1,1	72,4	816	47643	0:10:00	0:20:00	18,6	801,3
ST-03	1,8	31,6	779	39597	0:10:00	0:20:00	25,1	769,6
ST-04	2,8	35,3	738	38264	0:10:00	0:20:00	25,5	709,7
ST-05	4,5	34,3	719	24558	0:15:00	0:25:00	20,8	318,1
ST-06	5,9	20,4	700	23873	0:20:00	0:40:00	15,0	232,2
ST-07	7,9	18,6	685	22779	0:25:00	0:40:00	13,8	225,0
ST-08	10,0	19,9	672	21625	0:30:00	0:45:00	10,0	195,5
ST-09	13,4	16,5	659	12585	0:40:00	0:55:00	7,6	90,8
ST-10	19,8	14,1	652	6918	1:5:00	1:35:00	10,0	89,9

Tabela 6.4 – Principais resultados da modelagem hidráulica – Cenário Final

Seção	Distância da Barragem (km)	Cenário Inicial						
		Prof. máxima da inundação (m)	Elevação máxima (m)	Vazão de pico do hidrograma (m³/s)	Tempo de chegada da inundação (h)	Tempo para o pico do hidrograma (h)	Velocidade máxima (m/s)	Risco Hidrodinâmico (m²/s)
ST-01	0,3	46,3	832	94102	0:5:00	0:20:00	20,5	807,1
ST-02	1,1	67,1	816	108307	0:5:00	0:20:00	288,3	1885,8
ST-03	1,8	56,5	721	97259	0:10:00	0:20:00	56,0	394,0



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 36/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

ST-04	2,8	37,6	684	33154	0:15:00	0:25:00	10,4	145,2
-------	-----	------	-----	-------	---------	---------	------	-------

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
37/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

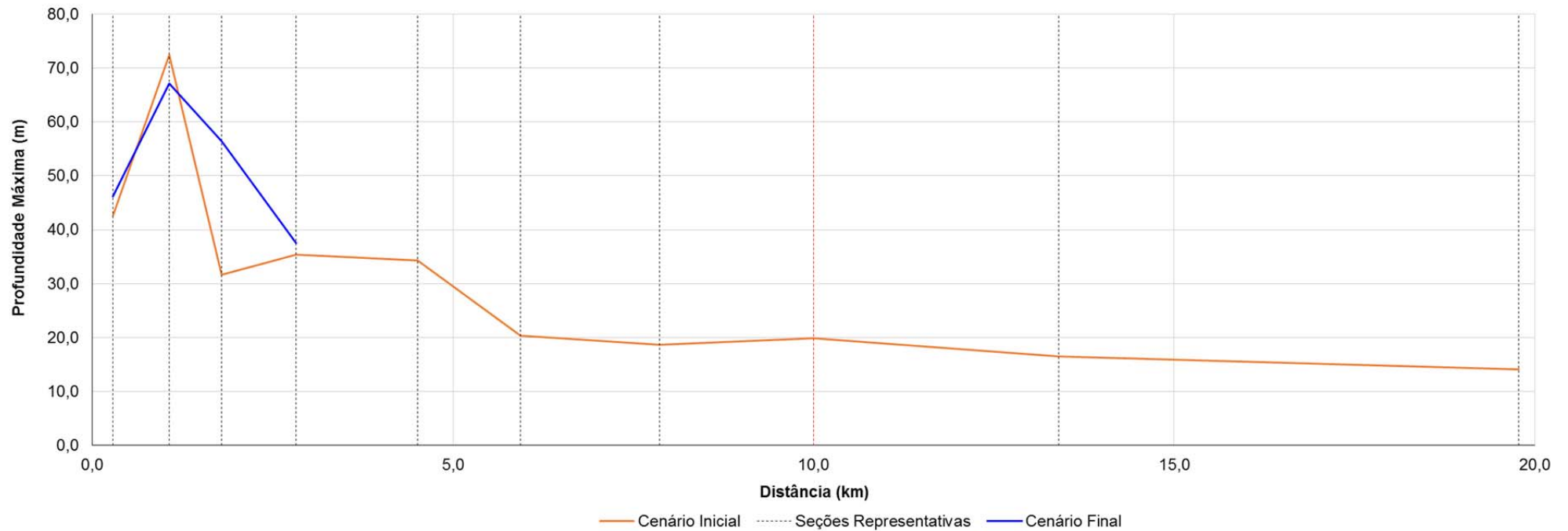


Figura 6.6 – Profundidades máximas encontradas



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
38/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

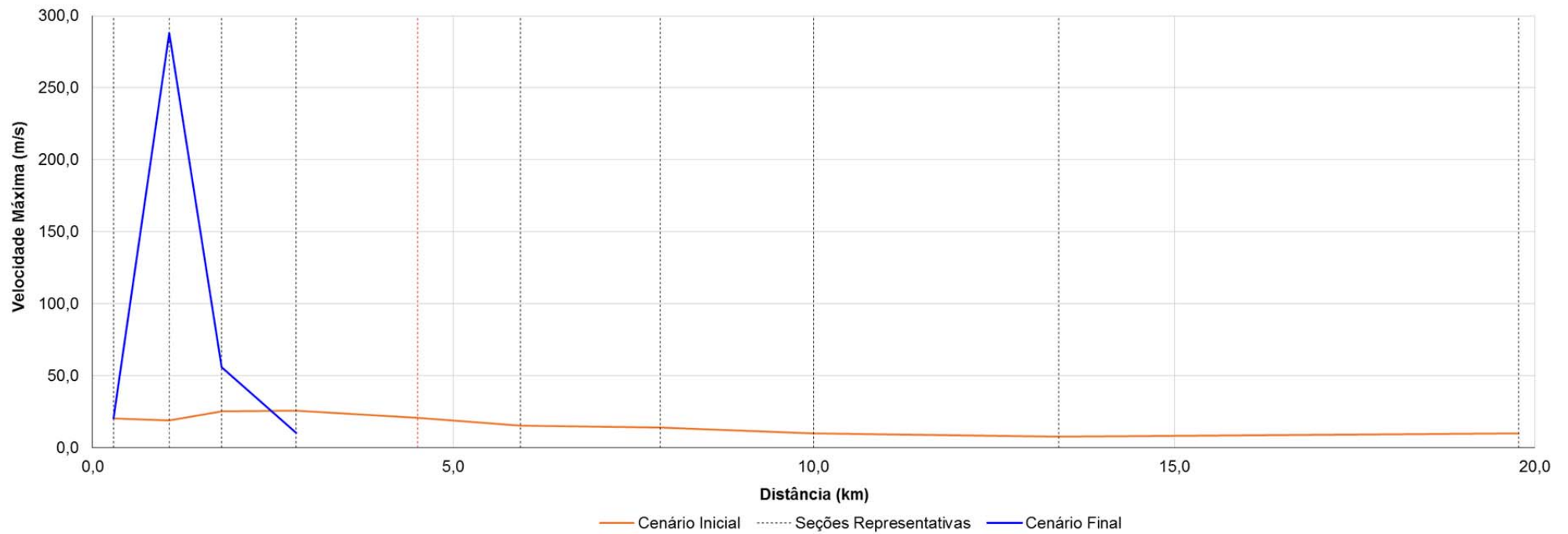


Figura 6.7 – Velocidades máximas encontradas



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
39/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

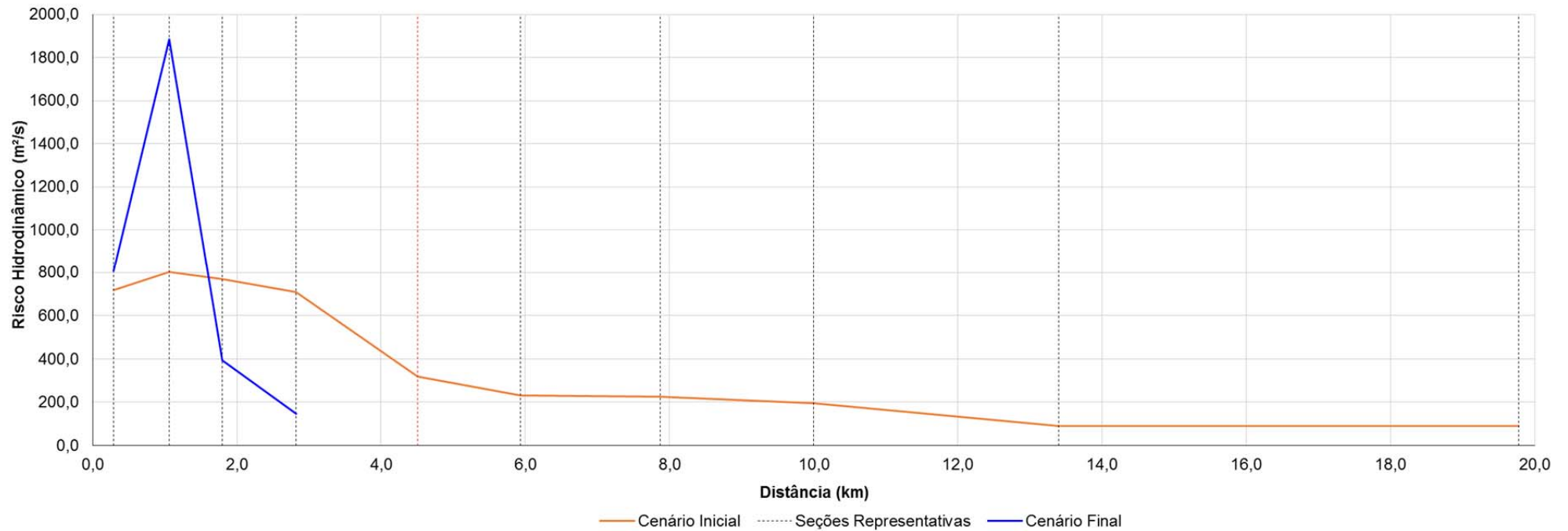


Figura 6.8 – Risco Hidrodinâmico máximo encontrado

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
40/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

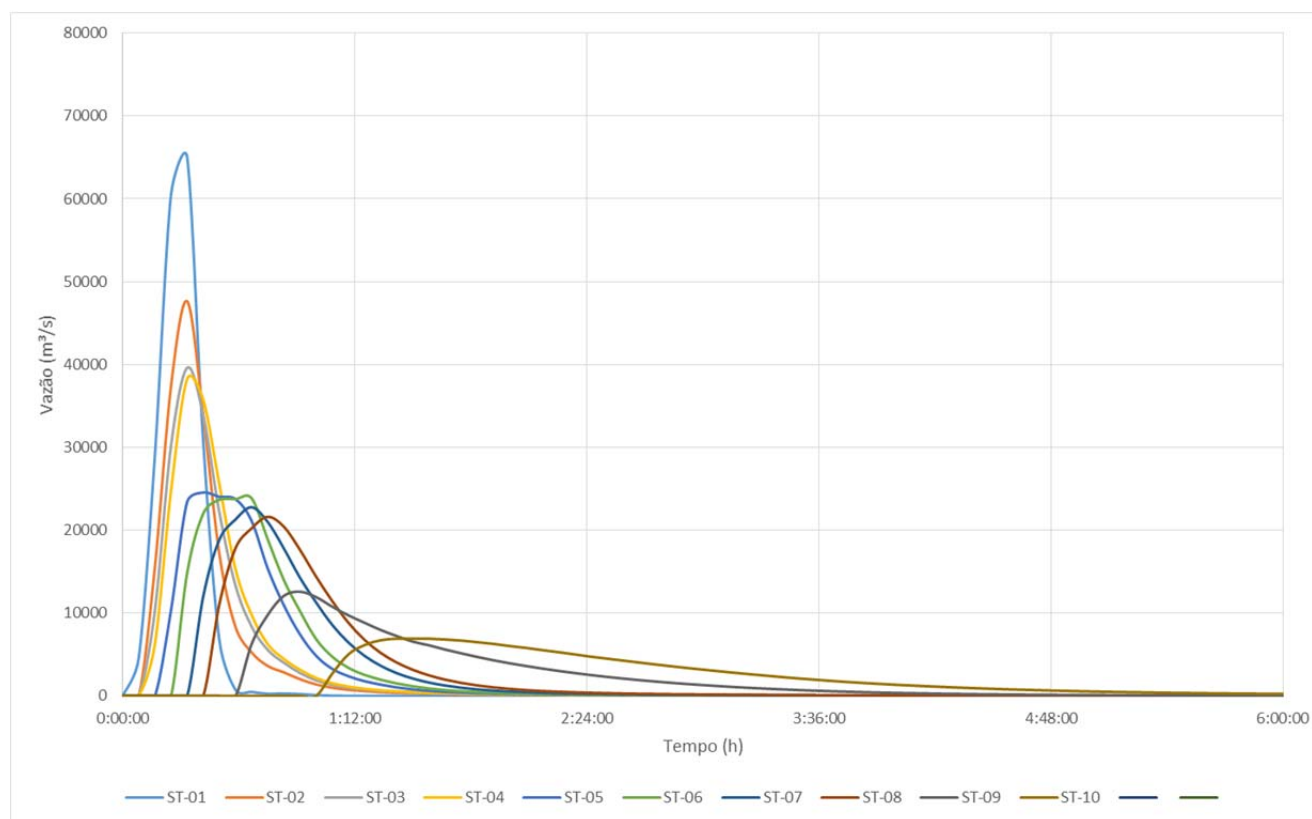


Figura 6.9 – Propagação da onda de ruptura, seções 1 a 10 – Cenário inicial

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA
(DAM BREAK) DA BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-14

Folha
41/46

WBH28-17-SAM-RTE-0014

Revisão
03

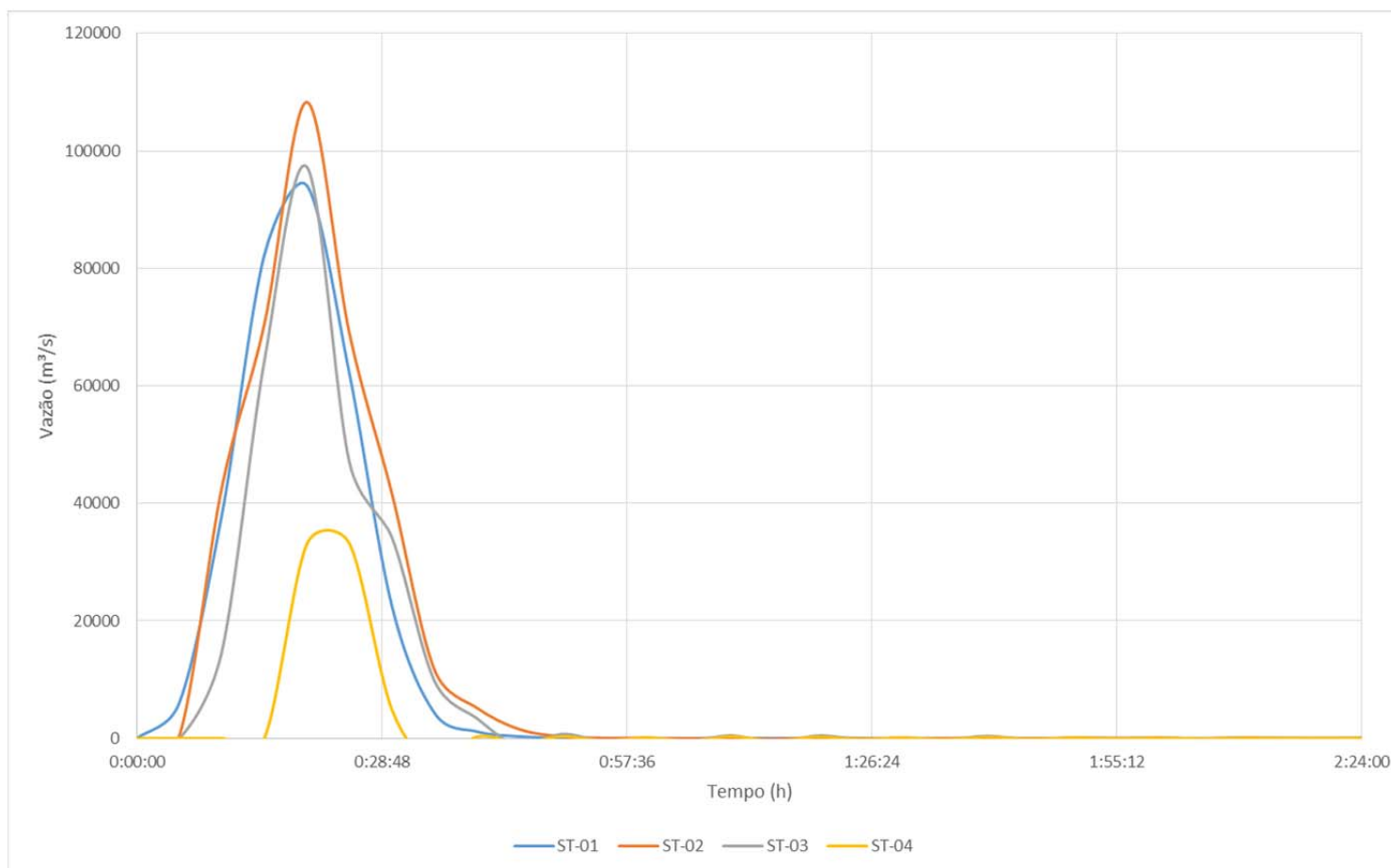


Figura 6.10 – Propagação da onda de ruptura, seções 1 a 4 – Cenário final

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 42/46	
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03	

6.3 REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA

Para o cenário final foi verificado que o hidrograma defluente da ruptura hipotética da Barragem 2 não se propaga além da cava da planta da SAM. Para o cenário inicial, o critério de parada da onda adotado foi a capacidade de amortecimento do reservatório da barragem do Rio Vacaria, que consegue suportar o hidrograma afluente sem o galgamento da mesma.

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, travessias, benfeitorias isoladas e a cava da planta da SAM são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura.

6.5 MAPAS DE INUNDAÇÃO

Como resultado dos estudos de Dam Break da Barragem 2, foram gerados 2 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 6.5.

Tabela 6.5 – Tabela de desenhos

NUMERAÇÃO SAM	NUMERAÇÃO WALM	DESCRIÇÃO
MINA_BLC8007-1010-O-104	WBH28-17-SAM-DWG-0104	BARRAGEM 2 - EL.890,00m (ETAPA INICIAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 01/01
MINA_BLC8007-1010-O-105	WBH28-17-SAM-DWG-0105	BARRAGEM 2 - EL.915,00m (ETAPA FINAL) ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 01/01

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 43/46	
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03	

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste documento são apresentados os estudos de ruptura hipotética da Barragem 2.

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 2 delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo vale do córrego Mundo Novo e pelo rio Vacaria.

Para as análises de *Dam Break* da Barragem 2, foi considerado o cenário de ruptura considerando o nível de água NA normal e modo de falha como instabilização, para os cenários inicial, rompimento do dique inicial, cuja cota da crista encontra-se na El. 890,0 m e final, rompimento da barragem de fechamento com crista na El. 915,0 m.

Diante dos resultados obtidos a partir da simulação hidráulica da propagação da onda de cheia no vale a jusante da Barragem 2, é possível tecer os seguintes comentários:

- A máxima velocidade ficou em torno de 25,5 m/s para o cenário inicial e de 288,3 m/s para o cenário final, enquanto a profundidade máxima atingida foi de 72,4 m para o cenário inicial e de 67,1 m para o cenário final.
- Foi utilizada como premissa para o fim do mapeamento de inundação a possibilidade de parada da ruptura pelo amortecimento que iria ocorrer na cava da planta da SAM, assim caso a cava tivesse capacidade de reter o hidrograma de ruptura afluente sem o seu transbordamento a mancha de inundação cessaria na cava. No caso em que ocorresse o transbordamento da cava, foi avaliada a possibilidade de parada da ruptura pelo amortecimento que iria ocorrer na barragem de do Rio Vacaria.

Foi verificado que a cava da planta da SAM é capaz de amortecer o hidrograma de ruptura da Barragem 2 no cenário final, mas não é capaz de amortecer o hidrograma de ruptura do cenário inicial. Para o cenário inicial, foi verificado que o volume de trânsito de cheias da barragem do Rio Vacaria é capaz de amortecer o hidrograma defluente da ruptura da Barragem 2.

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, travessias, benfeitorias isoladas e a cava da planta da SAM são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura.

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 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 44/46	
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	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 2 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 45/46
		WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

8.0 REFERÊNCIAS

FROEHLICH, D. C., TUFAL, 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.

RICO, M.; BENITO, G.; DÍEZ-HERRERO, A. Floods from Tailing Dam Failures. Journal of Hazardous Materials, v. 154, p. 79-87. 2008.

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 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-14	Folha 46/46
	WBH28-17-SAM-RTE-0014	Revisão 03

9.0 APÊNDICES