

| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 1/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

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

DISPOSIÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL

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

| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 3/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | 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 INDUSTRIAL | 11 |
| 4.4 BARRAGEM DO RIO VACARIA..... | 13 |
| 4.4.1 Curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria..... | 13 |
| 4.4.2 Curva cota descarga da barragem do Rio Vacaria..... | 15 |
| 5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS..... | 16 |
| 5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA | 16 |
| 5.2 CENÁRIO DE SIMULAÇÃO | 16 |
| 5.3 HIDROGRAMAS DE RUPTURA | 16 |
| 5.3.1 Hipóteses de Ruptura e Modo de Falha | 16 |
| 5.3.2 Definição do Volume de Material Mobilizado..... | 16 |
| 5.3.3 Parâmetros da Brecha | 17 |
| 5.3.4 Desenvolvimento da Brecha e do Hidrograma de Ruptura | 18 |
| 5.4 PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS | 18 |
| 5.4.1 Descrição do Trecho de Propagação | 18 |
| 5.4.2 Parâmetros de Resistência..... | 18 |
| 5.4.3 Condições Iniciais e de Contorno | 19 |
| 5.4.4 Definição do Critério de Parada..... | 19 |
| 5.4.5 Zona de autossalvamento | 19 |
| 5.4.6 Modelo Matemático-Computacional | 20 |
| 5.4.7 Modelo Matemático-Computacional | 20 |
| 5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO..... | 21 |
| 5.5.1 Seções Transversais de Referência | 21 |

| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 4/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.5.2 | Parâmetros de Inundação Mapeados..... | 22 |
| 6.0 | RESULTADOS | 22 |
| 6.1 | HIDROGRAMAS DE RUPTURA | 22 |
| 6.2 | PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS | 25 |
| 6.3 | REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA | 30 |
| 6.4 | DESCRIÇÃO RESUMIDA DO POTENCIAL DE INUNDAÇÃO | 30 |
| 6.5 | MAPAS DE INUNDAÇÃO..... | 30 |
| 7.0 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 30 |
| 8.0 | REFERÊNCIAS..... | 32 |
| 9.0 | APÊNDICES..... | 33 |

| | | | |
|--|---|------------------------|--|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 | |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 5/33 | |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 | |

RESUMO

São apresentadas neste relatório as informações consideradas para os estudos hidrológicos e hidráulicos associados à ruptura hipotética da barragem Industrial, 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 Industrial 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 Industrial pelo vale a jusante, verificou-se que a mancha se propaga por aproximadamente 25 km a jusante da barragem.

| | | |
|--|---|-------------------------------|
|  <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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p> | <p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-12</p> | <p>Folha 6/33</p> |
| | <p>WBH28-17-SAM-RTE-0012</p> | <p>Revisão 03</p> |

1.0 INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentado o estudo de ruptura hipotética da barragem Industrial, 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 Industrial 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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 7/33 | |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | 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 02/07/2018;
- MINA_BLC8007-1010-O-28-00 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia – Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem Industrial – Sistema Extravasor – Planta, Perfil e Detalhes Típicos. Elaborado pela WALM Engenharia em 02/07/2018;
- 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-30 – Estudo Conceitual – Mina – Engenharia Disposição de Estéril e Rejeito – Barragem Industrial – 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 aerolevantamento 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 3.1 ilustra um dos MDTs utilizado no estudo.

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

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
8/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

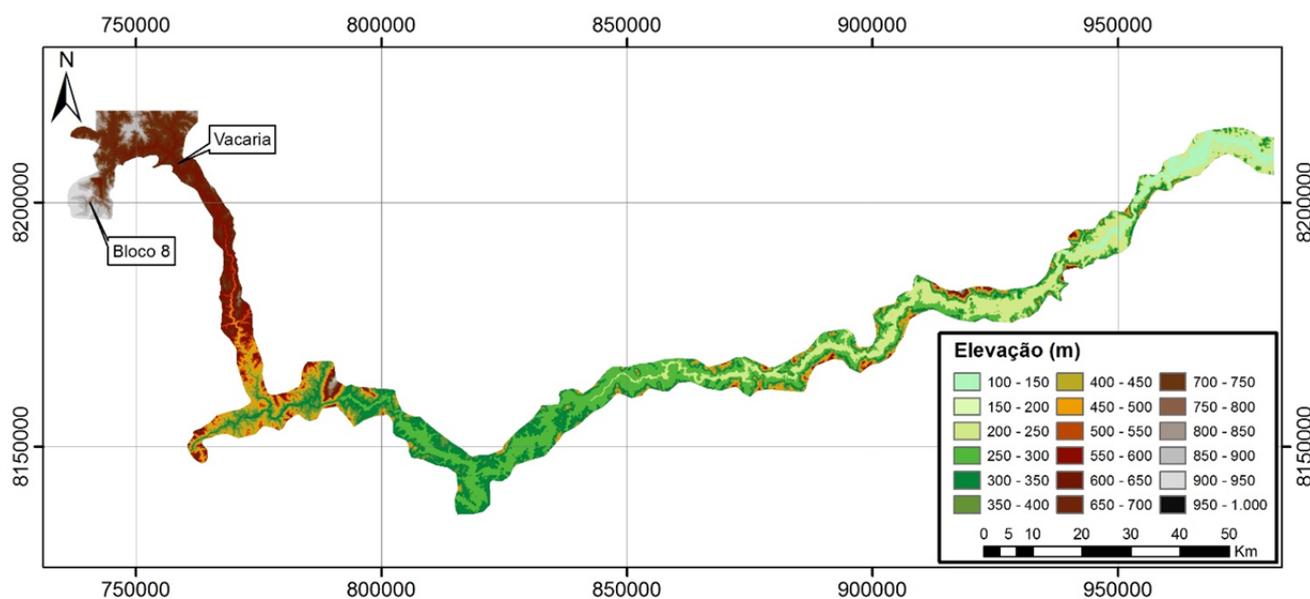


Figura 3.1 – Topografia utilizada no estudo.

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 Bloco 8 conta com 5 barramentos, sendo três barragens de água (Barragem Industrial, Barragem do Vale e da 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
INDUSTRIAL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
9/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

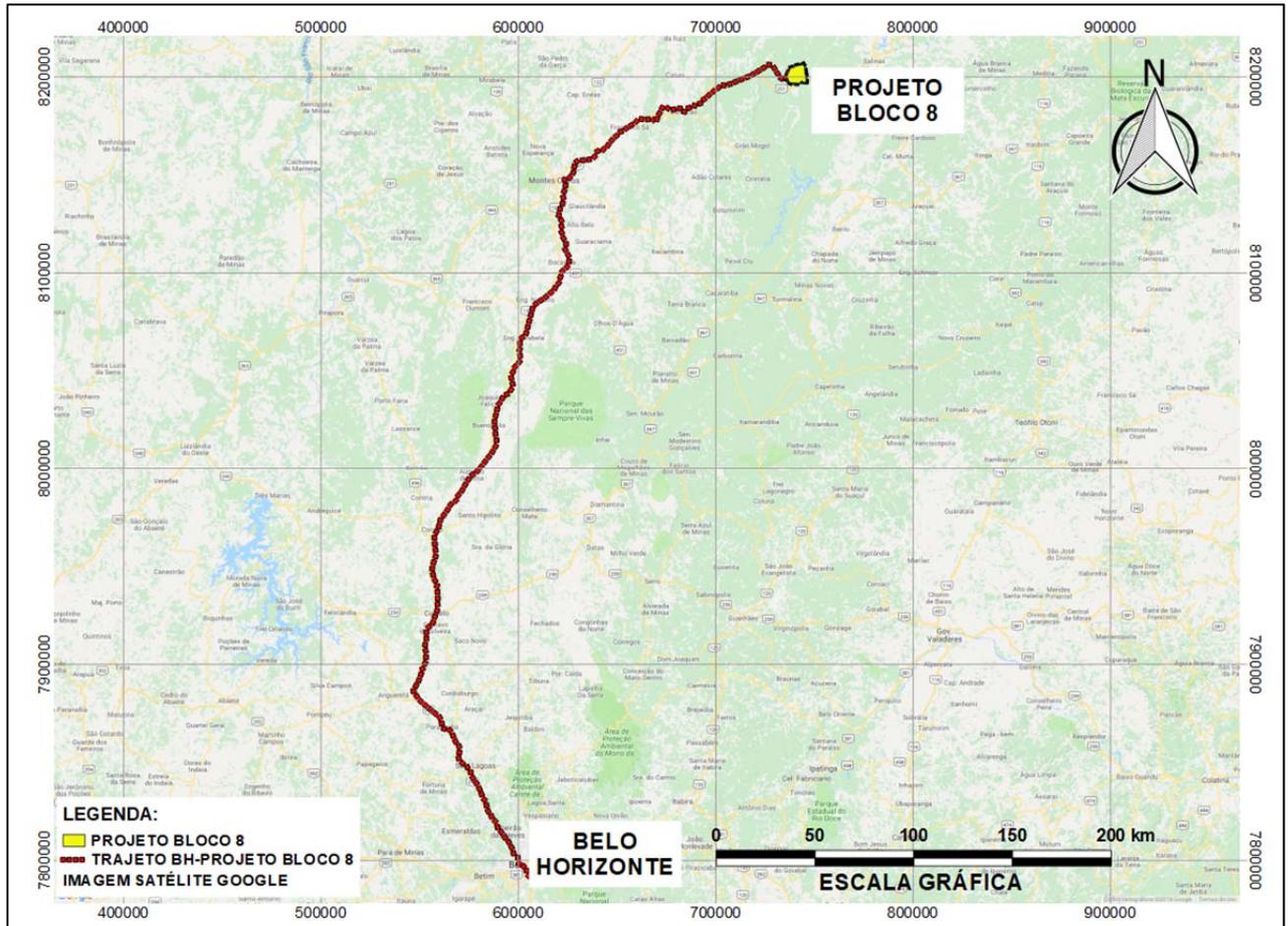


Figura 4.1 – Barragem Industrial – Acessos.

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

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
10/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

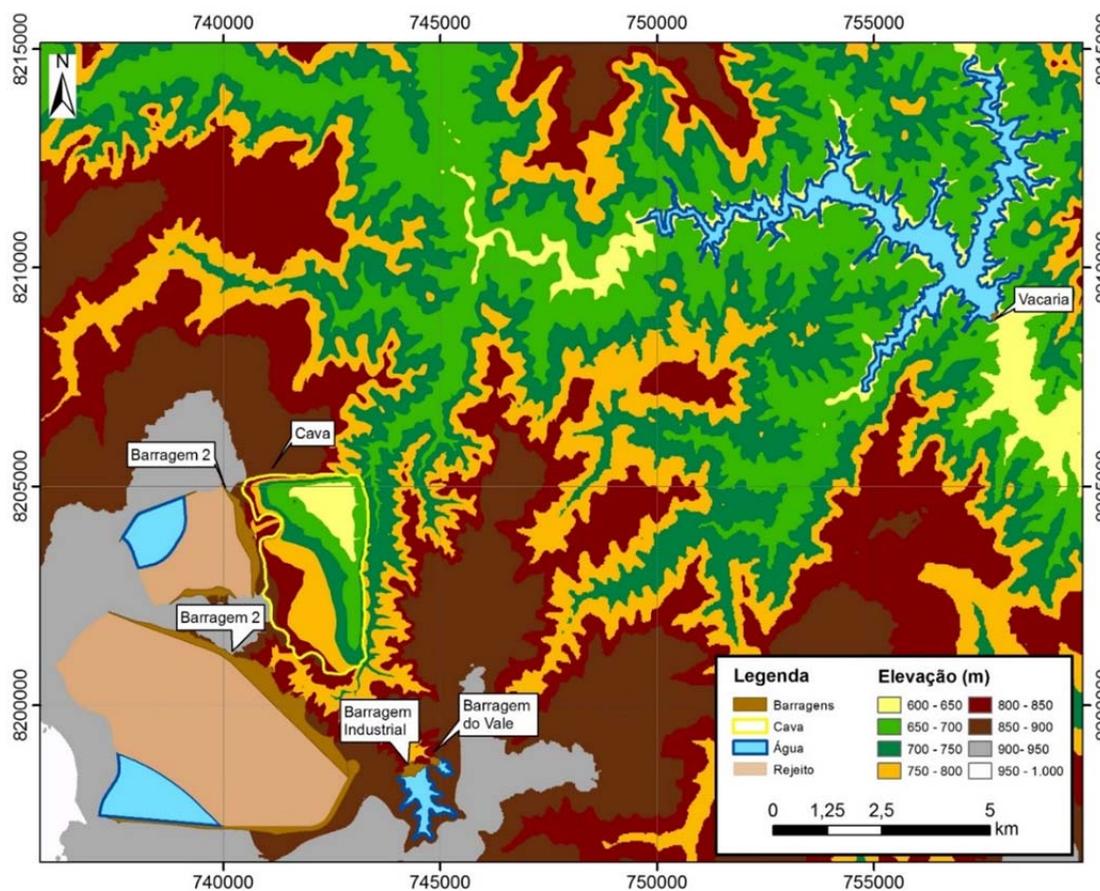


Figura 4.2 – Arranjo geral do Bloco 8 e topografia utilizada.

| | | | |
|--|---|------------------------|-----------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 | |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | | Folha 11/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | | Revisão 03 |

4.2 ARRANJO GERAL

A barragem Industrial possui como finalidade formar um reservatório de água estratégico para suprir as necessidades hídricas do sistema. A barragem Industrial será instalada nas coordenadas 744.338 E e 8.198.503 N.

A barragem Industrial tem aproximadamente 82,0 m de altura e crista com cerca de 670,0 m de comprimento e elevação 860,0 m. As principais características da estrutura estão resumidas na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Dados Gerais da barragem Industrial.

| Dados Gerais | | |
|--|--|-----------|
| Localização | Latitude | 8.198.540 |
| | Longitude | 744.325 |
| Finalidade | Reservatório de água | |
| Cota Final da Crista (m) | 860,00 | |
| NA normal (m) | 858,00 | |
| Altura Máxima da Barragem (m) | 82,00 | |
| Comprimento da Crista da Barragem (m) | 670,00 | |
| Tipo de Seção | Homogênea | |
| Estrutura Vertente | Soleira espessa com largura de 5,0 m e altura de 2,0 m | |

A área a jusante da barragem Industrial delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo rio Vacaria, pertencente a bacia federal do Jequitinhonha.

Como pode ser visualizado na Figura 4.2, aproximadamente 40,4 km (em relação ao talvegue principal) a jusante da barragem Industrial, encontra-se a barragem 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 INDUSTRIAL

Nas Figura 4.3 e na Tabela 4.2 são apresentadas a curva cota-volume da barragem Industrial nas suas formas gráfica e tabular, respectivamente.



PROJETO CONCEITUAL

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
12/33

MINA

ENGENHARIA

DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO

ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA

(DAM BREAK) DA BARRAGEM

INDUSTRIAL

RELATÓRIO TÉCNICO

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

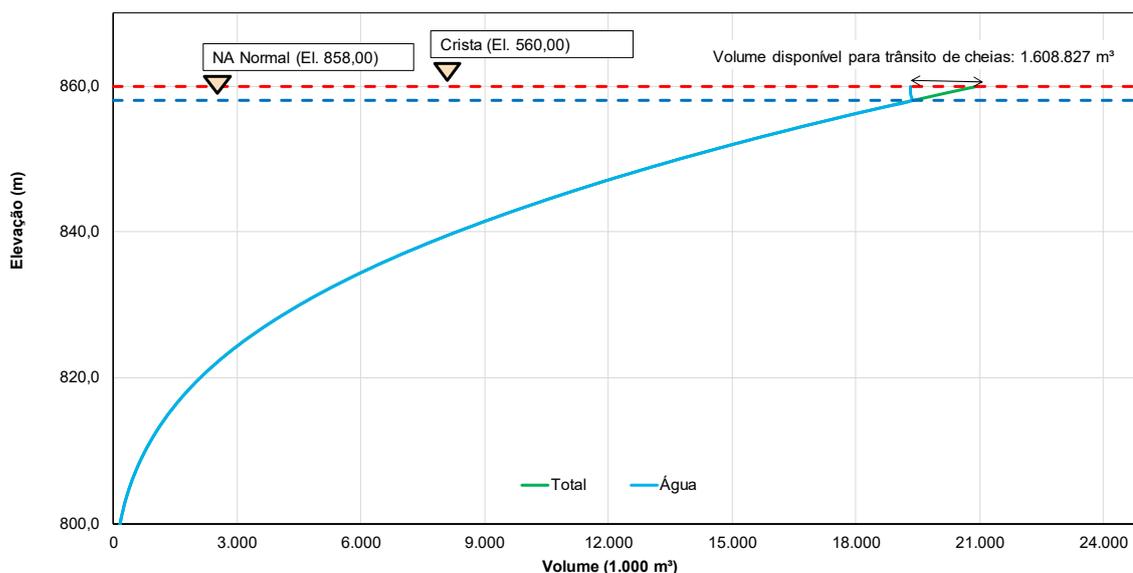


Figura 4.3 – Curva cota x volume da barragem Industrial

Tabela 4.2 – Curva cota x volume da barragem Industrial

| ELEVAÇÃO | VOLUME (m³) | ELEVAÇÃO | VOLUME (m³) | ELEVAÇÃO | VOLUME (m³) |
|----------|-------------|----------|--------------|----------|---------------|
| 785,00 | 0,00 | 811,00 | 873.139,65 | 837,00 | 7.000.083,25 |
| 786,00 | 357,04 | 812,00 | 975.847,70 | 838,00 | 7.418.222,06 |
| 787,00 | 1.447,91 | 813,00 | 1.086.193,19 | 839,00 | 7.852.397,84 |
| 788,00 | 3.337,96 | 814,00 | 1.204.491,21 | 840,00 | 8.302.660,89 |
| 789,00 | 6.092,83 | 815,00 | 1.331.137,93 | 841,00 | 8.768.825,90 |
| 790,00 | 9.923,45 | 816,00 | 1.466.734,12 | 842,00 | 9.250.869,50 |
| 791,00 | 14.958,22 | 817,00 | 1.611.715,89 | 843,00 | 9.748.878,71 |
| 792,00 | 21.469,79 | 818,00 | 1.766.258,27 | 844,00 | 10.263.218,75 |
| 793,00 | 29.765,98 | 819,00 | 1.930.647,45 | 845,00 | 10.794.033,36 |
| 794,00 | 40.175,14 | 820,00 | 2.105.478,77 | 846,00 | 11.341.201,05 |
| 795,00 | 53.064,02 | 821,00 | 2.291.199,46 | 847,00 | 11.904.989,05 |
| 796,00 | 68.758,57 | 822,00 | 2.488.161,97 | 848,00 | 12.485.755,49 |
| 797,00 | 87.772,96 | 823,00 | 2.696.895,84 | 849,00 | 13.083.870,32 |
| 798,00 | 110.632,28 | 824,00 | 2.917.711,05 | 850,00 | 13.700.043,79 |
| 799,00 | 137.602,25 | 825,00 | 3.150.981,22 | 851,00 | 14.334.804,70 |
| 800,00 | 168.814,25 | 826,00 | 3.396.843,63 | 852,00 | 14.988.275,68 |
| 801,00 | 204.594,61 | 827,00 | 3.655.199,16 | 853,00 | 15.660.717,41 |
| 802,00 | 245.222,69 | 828,00 | 3.926.288,79 | 854,00 | 16.352.694,57 |

| | | |
|--|--|------------------------|
|  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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 13/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

| ELEVAÇÃO | VOLUME (m³) | ELEVAÇÃO | VOLUME (m³) | ELEVAÇÃO | VOLUME (m³) |
|----------|-------------|----------|--------------|----------|---------------|
| 803,00 | 290.840,81 | 829,00 | 4.210.375,05 | 855,00 | 17.064.673,99 |
| 804,00 | 342.063,34 | 830,00 | 4.507.792,75 | 856,00 | 17.796.700,20 |
| 805,00 | 399.239,12 | 831,00 | 4.819.095,32 | 857,00 | 18.549.074,04 |
| 806,00 | 462.308,83 | 832,00 | 5.144.672,96 | 858,00 | 19.322.109,58 |
| 807,00 | 531.423,75 | 833,00 | 5.485.002,56 | 859,00 | 20.115.861,60 |
| 808,00 | 606.913,56 | 834,00 | 5.840.510,54 | 860,00 | 20.930.936,28 |
| 809,00 | 689.035,97 | 835,00 | 6.211.362,84 | | |
| 810,00 | 777.714,15 | 836,00 | 6.597.810,77 | | |

O croqui apresentado na Figura 4.4 ilustra o reservatório considerado no estudo de ruptura hipotética da barragem Industrial.

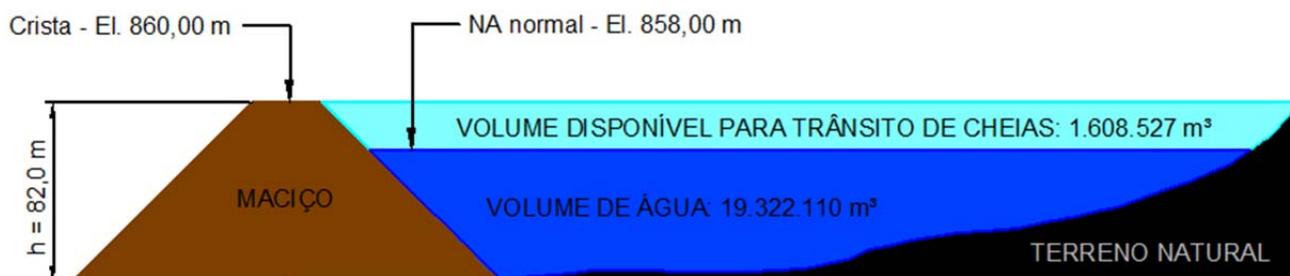


Figura 4.4 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da Barragem Industrial

4.4 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.

4.4.1 Curva cota-volume da barragem do Rio Vacaria

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentadas a curva cota-volume da barragem Industrial, 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

INDUSTRIAL

RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
14/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

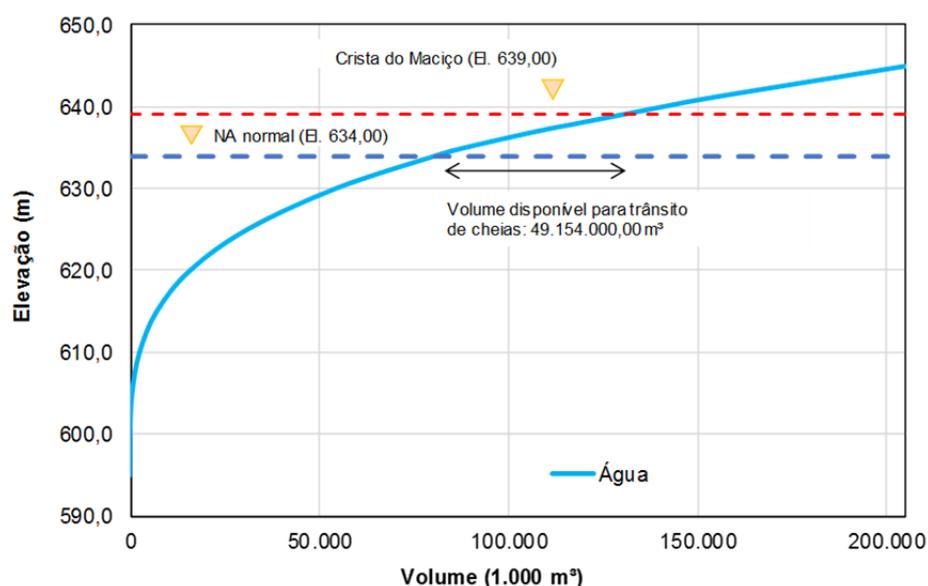


Figura 4.5 – Curva cota x volume da barragem do Rio Vacaria

Tabela 4.3 – 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 4.6 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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 15/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

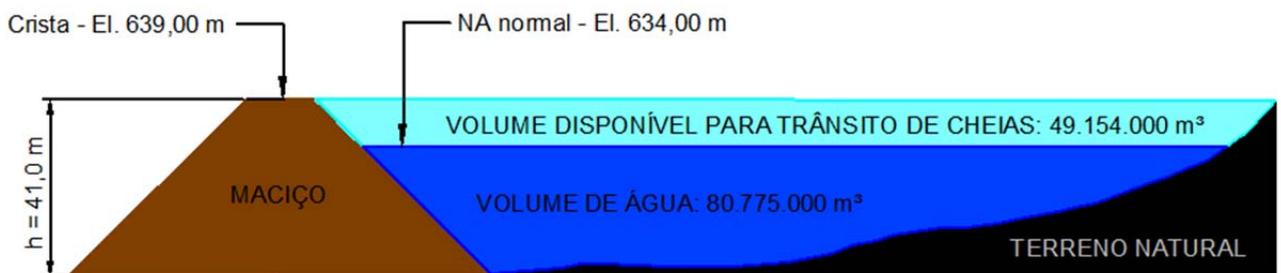


Figura 4.6 – Croqui esquemático da ocupação do reservatório da barragem Vacaria (sem escala).

4.4.2 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 4.4 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 4.4 – 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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 16/33 | |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 | |

5.0 METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS

5.1 SÍNTESE METODOLÓGICA

A metodologia utilizada para o estudo de ruptura hipotética da barragem Industrial 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 Industrial. 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. Em consequência dessa ruptura ocorre a sobrelevação do nível de água da barragem do Rio Vacaria. Contudo, essa sobrelevação não é suficiente para que ocorra o galgamento da do Rio barragem 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 Industrial.

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

| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 17/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

Industrial tem como finalidade ser um reservatório de água, todo seu volume é mobilizado para a jusante em caso de uma ruptura.

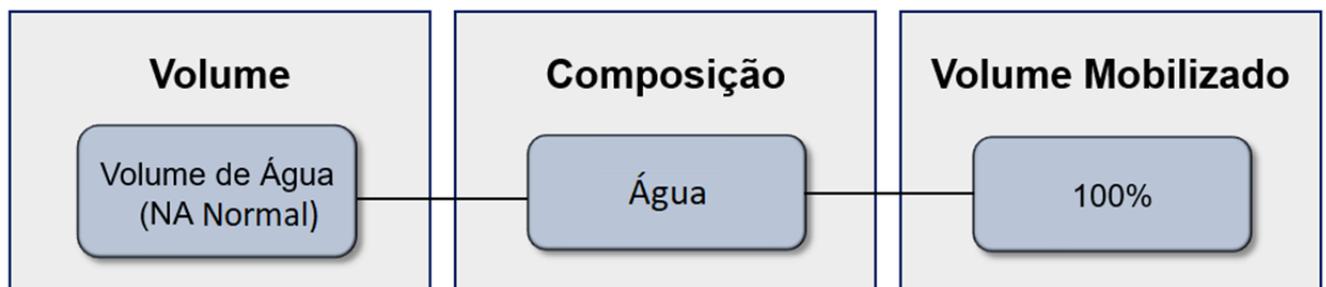


Figura 5.1 – Volume mobilizado pela ruptura da barragem Industrial

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.

| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 18/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

$$T_f = 60 \sqrt{\frac{V_w}{gH_b^2}}$$

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 Industrial, 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 industrial é delimitada para o desenvolvimento do estudo (*Dam Break*) é definida pelo rio Vacaria por, aproximadamente, 25 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. Algumas vias, travessias, benfeitorias isoladas e a cava da planta da SAM são atingidos pela onda do hidrograma de ruptura do cenário inicial.

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, obtêm 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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 19/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | 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 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 Industrial nos primeiros 30 (trinta) minutos após o início da propagação do hidrograma é de 10,4 km, dessa forma a zona de autossalvamento é definida como 10,4 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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 20/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | 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 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 0,45 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 2,5 e 40 segundos.

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 m^2/s , ilustrando o grau de perigo de uma cheia.

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

| | | |
|--|---|--|
|  |  | <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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p> | <p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-12</p> | <p>Folha 21/33</p> |
| | <p>WBH28-17-SAM-RTE-0012</p> | <p>Revisão 03</p> |

5.5 MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO

5.5.1 Seções Transversais de Referência

Foram traçadas seções transversais representativas a jusante da barragem Industrial, para detalhamento dos resultados obtidos na modelagem hidráulica. A

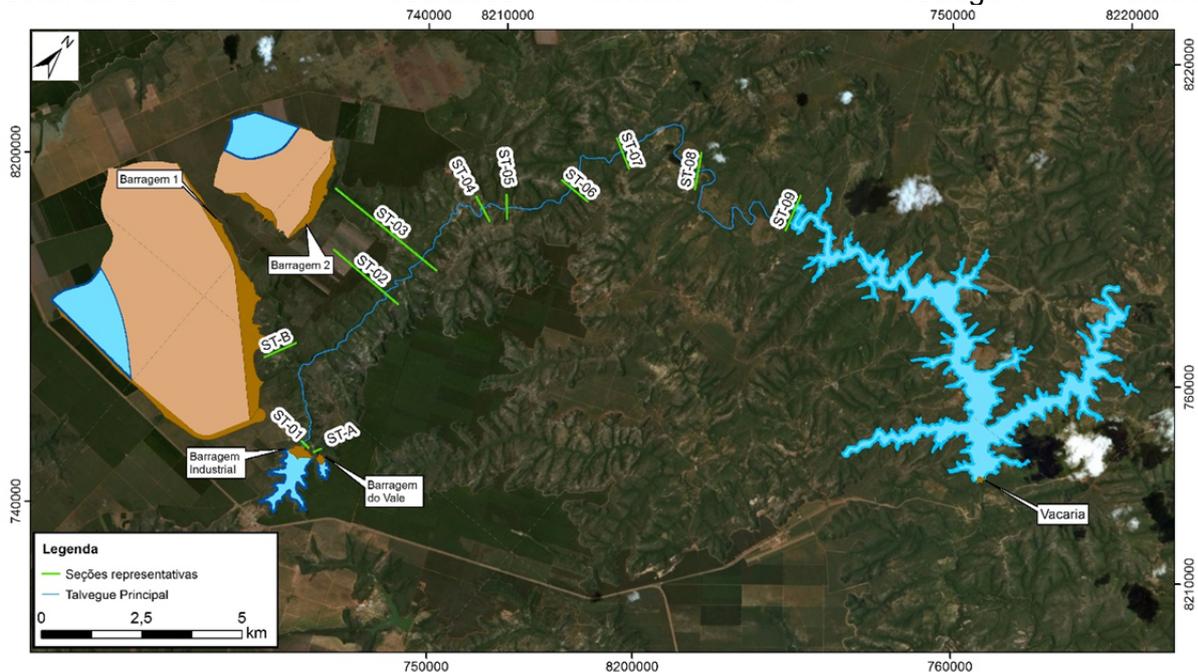


Figura 5.2 a seguir ilustra as seções adotadas.

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

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
22/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
 03

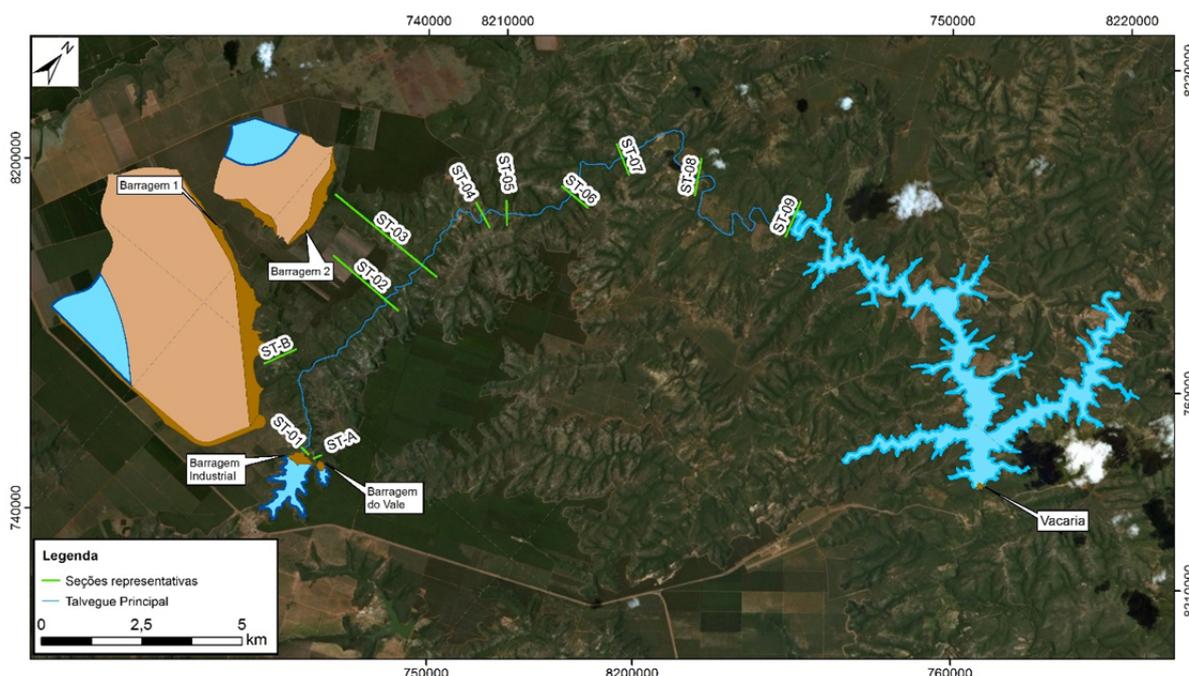


Figura 5.2 – Seções transversais representativas

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 Industrial, cujo volume no NA normal é de 19.322.109,58 m³. A Tabela 6.1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos no cálculo do volume escoado para jusante da barragem Industrial.

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

| Parâmetros | Cenário 3 |
|---|------------|
| Volume de Água (m ³) | 19.322.110 |
| Volume da brecha (m ³) | 323.206 |
| Volume total escoado para jusante (m ³) | 19.645.315 |

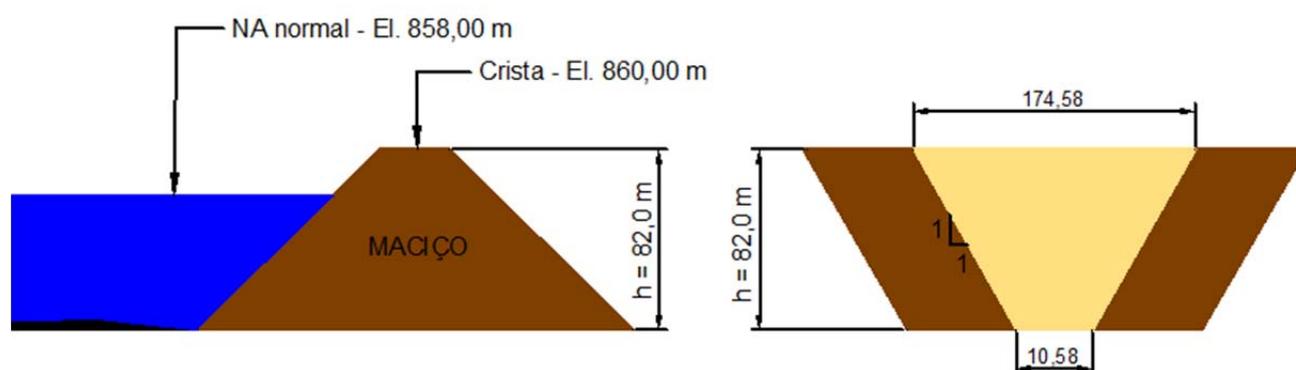
| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 23/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

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

Tabela 6.2 – Parâmetros de formação da brecha para determinação dos hidrogramas de ruptura da barragem Industrial.

| Parâmetros da Brecha | Barragem Industrial |
|---------------------------------|---------------------|
| Elevação do topo da brecha (m) | 860,00 |
| Elevação do fundo da brecha (m) | 778,00 |
| NA máximo atingido (m) | 858,00 |
| H_d (m) | 82,00 |
| H_b (m) | 82,00 |
| H_w (m) | 80,00 |
| V_w (m ³) | 19.322.110 |
| k_0 | 1,50 |
| z | 1,00 |
| B_{ave} (m) | 92,58 |
| B_b (m) | 10,58 |
| B_t (m) | 174,58 |
| t_f calculado (h) | 0,29 |
| t_f adotado (min) | 17,12 |

Na Figura 6.1 são apresentados os parâmetros da brecha para o cenário simulado para a barragem Industrial.



| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 24/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

Figura 6.1 – Croqui da brecha – Barragem Industrial

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

Os hidrogramas resultantes dessas simulações estão apresentados nas Figura 6.2 e Figura 6.3. Conforme pode ser observado, o valor máximo de vazão de pico defluente, no instante da ruptura da barragem Industrial, é de 32.692 m³/s. A vazão de pico afluente ao reservatório da barragem do Rio vacaria é 1.809,8 m³/s.

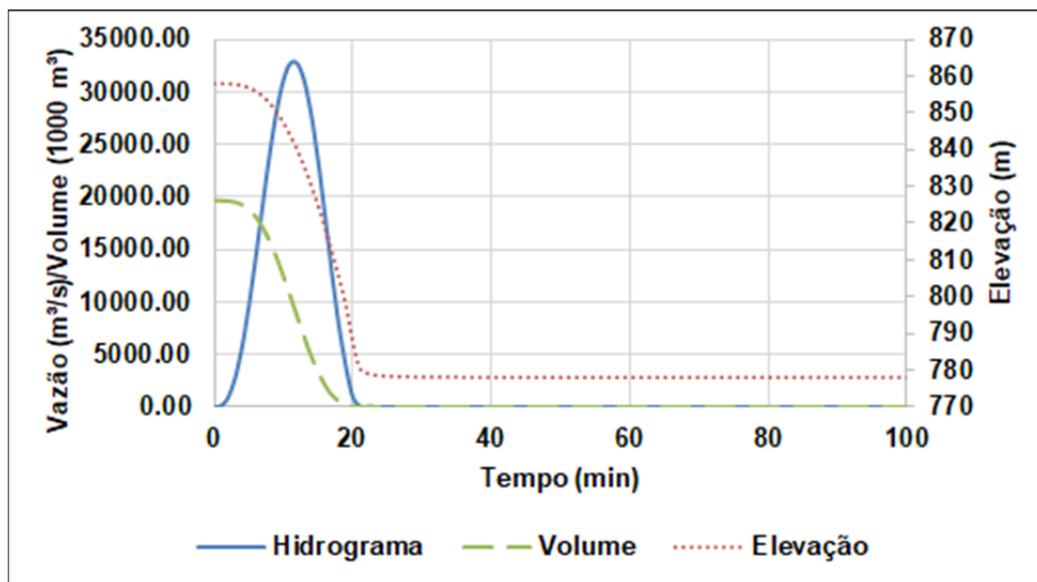


Figura 6.2 – Hidrograma defluente – Barragem Industrial

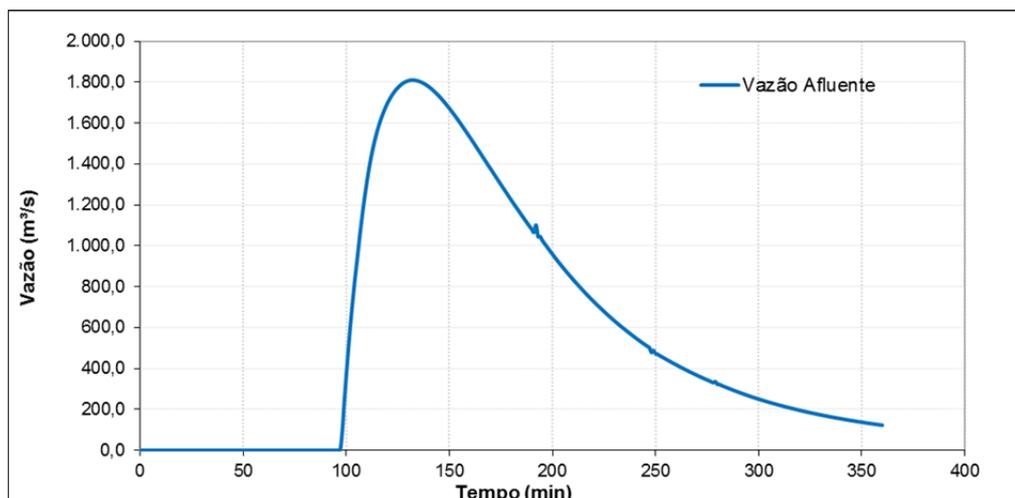


Figura 6.3 – Hidrograma afluente ao reservatório da barragem do Rio Vacaria

| | | |
|--|---|------------------------|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 25/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | 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 na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e entre a Figura 6.4 e Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Principais resultados da modelagem hidráulica

| Seção | Distância da Barragem (km) | Cenário Inicial | | | | | | |
|-------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|---|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---|
| | | 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 | 0.3 | 21.3 | 802 | 32635 | 0:2:00 | 1:00:00 | 18.9 | 398.3 |
| ST-02 | 5.5 | 20.2 | 733 | 13454 | 0:16:00 | 2:00:00 | 11.9 | 147.7 |
| ST-03 | 7.1 | 13.7 | 713 | 12670 | 0:20:00 | 2:20:00 | 9.7 | 123.2 |
| ST-04 | 10.0 | 10.7 | 697 | 7304 | 0:29:00 | 3:10:00 | 11.1 | 60.4 |
| ST-05 | 10.7 | 12.3 | 690 | 7150 | 0:32:00 | 3:25:00 | 8.1 | 78.1 |
| ST-06 | 12.6 | 9.7 | 675 | 6098 | 0:39:00 | 4:15:00 | 10.7 | 86.6 |
| ST-07 | 14.8 | 8.7 | 663 | 6062 | 0:46:00 | 4:50:00 | 7.5 | 51.5 |
| ST-08 | 18.2 | 9.1 | 651 | 3206 | 1:1:00 | 6:25:00 | 4.7 | 29.2 |
| ST-09 | 24.6 | 7.2 | 642 | 1810 | 1:38:00 | 11:00:00 | 5.8 | 31.0 |



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

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
26/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

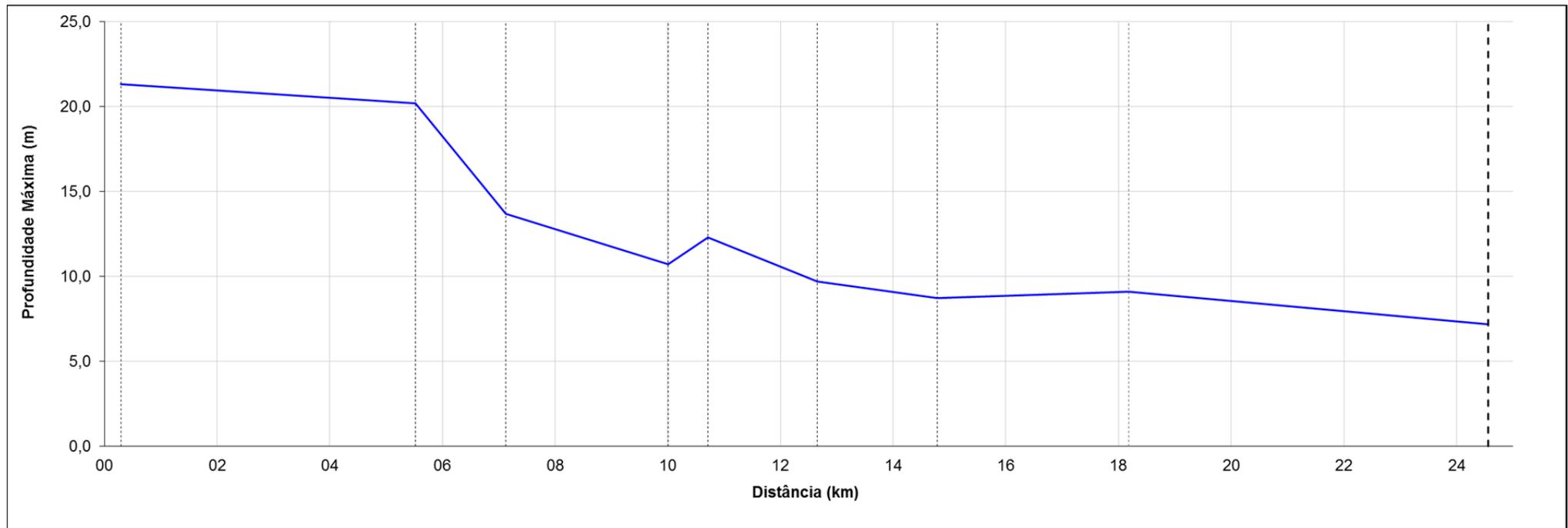


Figura 6.4 – Profundidades máximas encontradas



PROJETO BLOCO 8

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

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
27/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

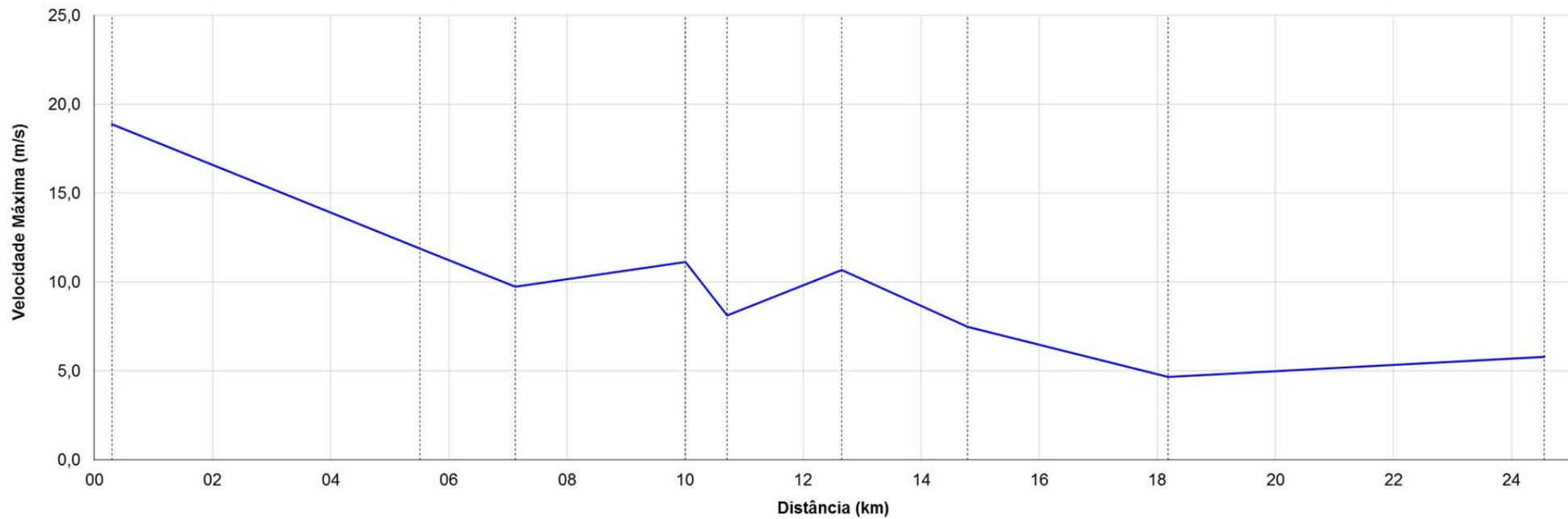


Figura 6.5 – Velocidades máximas encontradas



PROJETO BLOCO 8

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

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
28/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

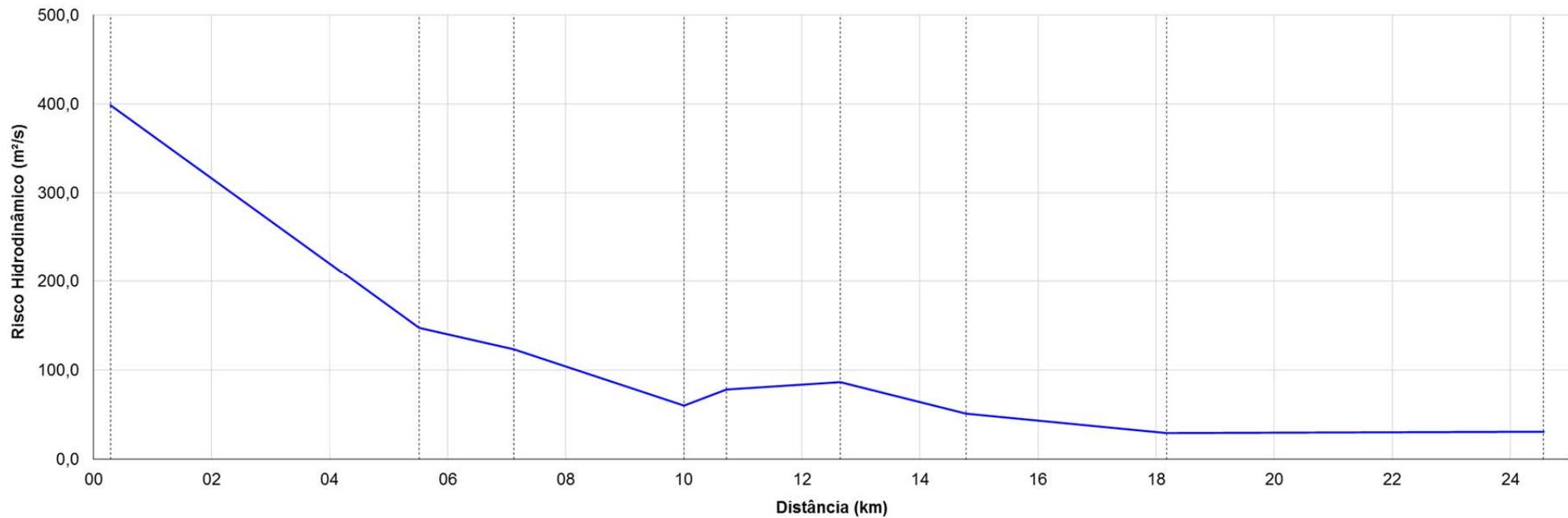


Figura 6.6 – Risco Hidrodinâmico máximo encontrado

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

MINA_BLC8007-1010-G-RE-12

Folha
29/33

WBH28-17-SAM-RTE-0012

Revisão
03

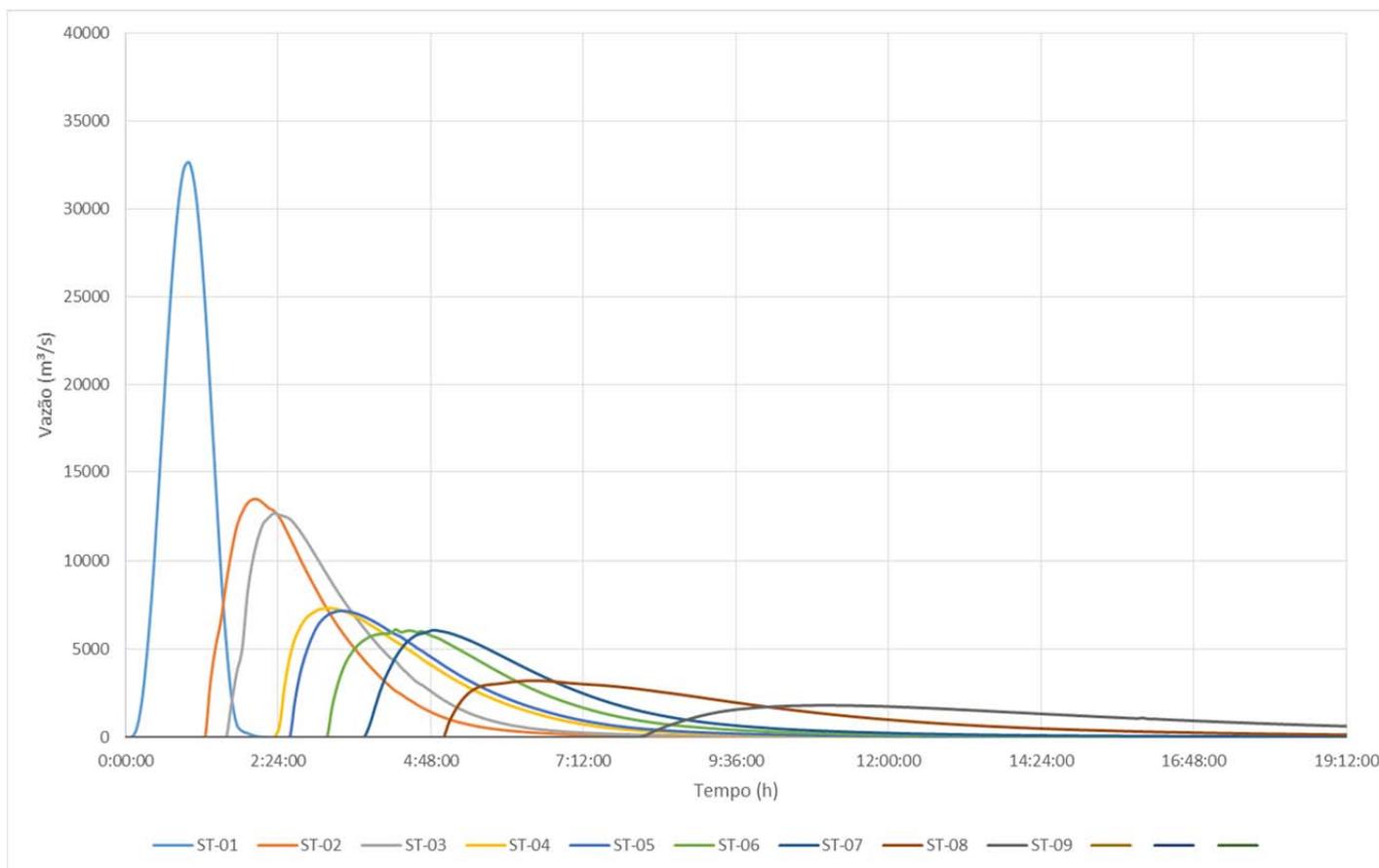


Figura 6.7 – Propagação da onda de ruptura, seções 1 a 9

| | | |
|--|---|-------------------------------|
|  <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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO</p> | <p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-12</p> | <p>Folha 30/33</p> |
| | <p>WBH28-17-SAM-RTE-0012</p> | <p>Revisão 03</p> |

6.3 REQUISITOS DO CRITÉRIO DE PARADA

O critério de parada da onda de ruptura da barragem Industrial 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 Industrial, foi gerado um mapa contendo a envoltória máxima de inundação para o cenário simulado.

O mapa produzido, com seu respectivo título e numeração, encontra-se na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Tabela de desenhos

| NUMERAÇÃO SAM | NUMERAÇÃO WALM | DESCRIÇÃO |
|------------------------|-----------------------|---|
| MINA_BLC8007-1010-O-90 | WBH28-17-SAM-DWG-0090 | BARRAGEM INDUSTRIAL ESTUDO DE CENÁRIOS (DAM BREAK) MAPA DE ENVOLTÓRIA MÁXIMA DE INUNDAÇÃO - FL 01/01 |

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste documento são apresentados os estudos de ruptura hipotética da barragem Industrial.

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 Industrial delimitada para o desenvolvimento do estudo de ruptura hipotética é definida pelo vale do rio Vacaria.

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

| | | | |
|--|---|------------------------|--|
|  |  | PROJETO BLOCO 8 | |
| PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA (DAM BREAK) DA BARRAGEM INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 31/33 | |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 | |

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

- A máxima velocidade ficou em torno de 18,9 m/s, enquanto a profundidade máxima atingida foi de 21,3 m.
- Foi utilizada como premissa para o fim do mapeamento de inundação a possibilidade de parada da ruptura pelo amortecimento que iria ocorrer na barragem do Rio Vacaria.

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 Industrial.

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 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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 32/33 | |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | 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 INDUSTRIAL RELATÓRIO TÉCNICO | MINA_BLC8007-1010-G-RE-12 | Folha 33/33 |
| | WBH28-17-SAM-RTE-0012 | Revisão 03 |

9.0 APÊNDICES