



**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**1/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

## **RELATÓRIO DE PROJETO**

### **ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO – EAC PROJETO CONCEITUAL**

**SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A**



**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**2/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

Rev.	DATA	POR	TE	Aprov.	Descrição de Revisões
00	05/03/2021	JA/CF	B	JCV	EMISSÃO INICIAL
01	16/04/2021	JA/CF	B	JCV	ATENDENDO COMENTÁRIOS
02	20/04/2021	JA/CF	C	JCV	APROVADO

**TE – TIPO DE EMISSÃO**

(A) Preliminar

(D) Aprovado

(B) Para Aprovação

(E) Cancelado

(C) Para Conhecimento

Observações:

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>3/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**SUMÁRIO**

1.0	APRESENTAÇÃO .....	4
2.0	INTRODUÇÃO .....	7
3.0	PREMISSAS ADOTADAS NO PROJETO .....	12
4.0	CRITÉRIOS DE PROJETO .....	14
4.1	ANÁLISE DE ESTABILIDADE .....	15
4.2	DRENAGEM INTERNA.....	17
4.3	TRANSIÇÕES GEOTÉCNICAS.....	18
4.4	TÚNEL DE RESTITUIÇÃO .....	21
4.5	SISTEMA EXTRAVASOR.....	21
5.0	INTERFERÊNCIAS .....	22
6.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	23
7.0	DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO – EAC.....	24
8.0	CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO - EAC .....	42
8.1	MACIÇO .....	43
8.2	SISTEMA DE DESVIO DO CÓRREGO LAMARÃO – TÚNEL DE RESTITUIÇÃO.....	46
8.3	SISTEMA EXTRAVASOR.....	47
8.4	DIQUE AUXILIAR DE PROTEÇÃO DA CAVA .....	49
8.5	CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO.....	51
9.0	ESTUDOS GEOTÉCNICOS .....	55
9.1	TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO.....	56
9.2	DIMENSIONAMENTOS GEOTÉCNICOS.....	56
10.0	ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	71
10.1	CHUVAS DE PROJETO .....	72
10.2	PARÂMETROS FÍSICOS.....	77
10.3	SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	81
11.0	VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA .....	83
11.1	TÚNEL DE DESVIO .....	83
11.2	SISTEMA EXTRAVASOR.....	86
12.0	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.....	89
13.0	PLANILHA DE QUANTIDADE .....	89
14.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
15.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
	APÊNDICE A – DESENHOS .....	94
	APÊNDICE B – ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO.....	96
	APÊNDICE C – ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	98

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>4/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

## 1.0 APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta a Revisão do Projeto Conceitual da Estrutura Ambiental de Contenção – EAC prevista para conter eventual ruptura da Barragem 1 do Projeto Bloco 8, de modo a reduzir o possível impacto ambiental gerado e garantir a contenção do rejeito na própria área do projeto.

Entre os anos de 2018 e 2019 a WALM desenvolveu os estudos de ruptura hipotética das barragens de água e rejeito de modo a avaliar a sua extensão, bem como para verificar as Zonas de Auto Salvamento, Zona de Salvamento Secundário, as projeções de mancha e tempos de deslocamento dos fluxos de modo a subsidiar a avaliação dos impactos das estruturas do complexo em relação as áreas a jusante do Projeto Bloco 8. Os estudos foram desenvolvidos considerando as diretrizes da Portaria DNPM N° 70.389 de 17 de maio de 2017 que complementou a Lei 12.334 de setembro de 2010.

Após o colapso da Barragem B1 em Brumadinho, foi publicada a Resolução N° 32 de 11 de maio de 2020 que estabeleceu novas diretrizes para os estudos de Ruptura Hipotética de Barragens de Rejeitos, alterando diretrizes estabelecidos na Portaria DNPM N° 70.389. Deste modo, fez-se necessário a revisão dos estudos de ruptura hipotética das Barragens de Água e Rejeitos do Projeto Bloco 8 e por consequência, a revisão e/ou validação do Projeto Conceitual da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC), projetada para garantir a contenção de eventuais rupturas das barragens, dentro da Área Diretamente Afetada do empreendimento. As principais mudanças dos estudos de ruptura hipotética realizados nos anos de 2018 e 2019 em relação ao estudo realizado em 2021 estão sintetizadas a seguir:

- A propagação da onda de ruptura hipotética foi realizada considerando as características do rejeito existente no reservatório da Barragem 1, admitindo o escoamento não-newtoniano. Nos estudos anteriores o escoamento foi admitido como um fluido newtoniano (água), não sendo considerada a sua viscosidade e a tensão do escoamento;
- Tendo em vista que o deslocamento da frente de onda foi realizado contemplando a influência dos rejeitos, para a simulação da propagação da onda de ruptura hipotética foi utilizado o modelo matemático computacional RiverFlow2D, uma vez que esse software permite a

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>5/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

variação dos parâmetros supracitados a partir do cálculo da variação da concentração volumétrica que ocorre à medida que fluidos em diferentes concentrações se misturam. Vale mencionar o modelo bidimensional do HEC-RAS, na versão utilizada nos estudos anteriores não era capaz de simular escoamentos do tipo não-newtonianos;

- Na atualização dos estudos, tendo em vista a magnitude da extensão do barramento, foi utilizada a metodologia concebida por BLIGHT (2010), obtendo uma estimativa mais realística dos volumes passíveis de mobilização. No estudo de ruptura desenvolvido nos anos de 2018 e 2019 foi utilizada a metodologia proposta por (FROEHLICH, 2016), que apesar de bastante difundida, não considera os efeitos de erodibilidade do maciço de acordo com os parâmetros geotécnicos da estrutura;
- Por fim, outra adequação dos estudos foi a definição do cenário considerado como de maior dano. No estudo anterior foi considerado o rompimento por instabilização do maciço, com o nível de água na soleira do sistema extravasor da Barragem 1 na EL. 932,00m (NA normal). Na revisão dos estudos, foi realizado um estudo específico para a identificação do cenário de maior dano, tendo sido admitida a hipótese ruptura por galgamento, considerando o NA coincidente com a crista da Barragem 1, ou seja, na EL. 935,00m, maximizando os valores dos volumes mobilizados obtidos.

Os resultados obtidos na atualização dos estudos de ruptura hipotética da Barragem 1 desenvolvidos em 2021, considerando as alterações supracitadas, implicaram na necessidade de alteamento da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) prevista nos estudos elaborados em 2019 e, por consequência, no redimensionamento das estruturas auxiliares tais como sistema extravasor de emergência e Dique de Proteção da Cava, tendo em vista que o volume de rejeitos mobilizados foi da ordem de 38% superior ao volume admitido no estudo anterior (desenvolvido entre os anos de 2018 e 2019), passando de 365.225.861,25 m<sup>3</sup> para 587.371.696,75 m<sup>3</sup>.

Neste contexto, no presente documento é apresentada a revisão geral dos estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos desenvolvidos para EAC e estruturas auxiliares, considerando os resultados obtidos na revisão dos estudos de ruptura hipotética da Barragem 1. Ressalta-se que, nesta atualização, foi preservado o eixo original da EAC projetada em 2019, por esse ter sido selecionado como a melhor alternativa, levando-se em consideração os critérios ambientais e sociais.

 <p><b>SAM</b> Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p><b>Walm</b> Engenharia</p>	<p align="center"><b>PROJETO BLOCO 8</b></p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p align="center">MINA_BLC8007-1010-G-RE-38</p>	<p align="right">Folha <b>6/104</b></p>	
	<p align="center">WA05520000-1-GT-RTE-0001</p>	<p align="right">Revisão 02</p>	

Os estudos em nível conceitual foram itemizados da seguinte maneira:

- Item 2.0 - INTRODUÇÃO: apresenta uma breve introdução do projeto, indicando as partes envolvidas, a localização do empreendimento e o contexto geral;
- Item 3.0 - PREMISSAS ADOTADAS NO PROJETO: são descritas as premissas adotadas para o desenvolvimento do projeto conceitual, firmado entre a WALM e a SAM;
- Item 4.0: CRITÉRIOS DE PROJETO: neste item são identificados os critérios normativos e os parâmetros utilizados neste estudo em nível conceitual;
- Item 5.0 - INTERFERÊNCIAS: apresentam as principais características consideradas no estudo;
- Item 6.0 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA: lista os documentos fornecidos pela SAM e pertinentes para a elaboração do projeto;
- Item 7.0 - DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO – EAC: é apresentado conceitualmente a EAC e os estudos realizados para definição do eixo;
- Item 8.0 - CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO: descreve as características da EAC bem como as estruturas complementares a ela;
- Item 9.0 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS: sintetiza todos os estudos e dimensionamentos geotécnicos desenvolvidos ao longo do projeto, a geometria e arranjo proposto para a Estrutura Ambiental de Contenção, as análises de percolação e estabilidade e dimensionamento da drenagem interna;
- Item 10.0 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS: é apresentado os estudos hidrológicos para determinação das vazões de projeto os dimensionamentos hidráulicos das estruturas do projeto;
- Item 12.0 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS: são dispostas as considerações sobre a investigação geológico-geotécnicas para a região a ser implantada a EAC;
- Item 13.0 - PLANILHA DE QUANTIDADE: é apresentado o planejamento físico-financeiro, em nível conceitual, para implantação da Estrutura Ambiental de Contenção;
- Item 14.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS: sintetiza as informações e resultados obtidos no desenvolvimento do projeto além de;
- Item 15.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: identifica as bibliografias que serviram de suporte técnico para desenvolvimento deste estudo

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>7/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

## 2.0 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta a Revisão do Projeto Conceitual da Estrutura Ambiental de Contenção – EAC, visando o aumento da capacidade de acumulação na cava do Projeto Bloco 8, no caso de um eventual rompimento da Barragem 1, que tem como principal objetivo a contenção dos rejeitos a serem gerados nos 18 anos de operação do empreendimento.

O Projeto Bloco 8 da empresa Sul Americana de Metais S.A. (SAM), está localizado no norte do estado de Minas Gerais, nos municípios de Grão Mogol, Padre Carvalho, Fruta de Leite e Josenópolis, 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 a área do complexo minerário do Projeto do Bloco 8 é realizado pela estrada vicinal não pavimentada. A Figura 2.1 apresenta a localização do projeto.

Em 2018, a WALM Engenharia e Tecnologia Ambiental (WALM) foi contratada para a elaboração dos Serviços Multidisciplinares de Engenharia para Elaboração de Estudos Conceituais, os quais contemplaram os estudos de disposição do rejeito e do estéril a ser gerado na Mina, considerando utilização de barragens, pilhas e estruturas para o armazenamento e abastecimento de água para a Planta Industrial e para o consumo humano a fim de atender o balanço de massas fornecido pela SAM.

Para os estudos das estruturas de contenção de água, estéril e rejeitos do Projeto Bloco 8 realizados no ano de 2018, foram definidas as seguintes estruturas provenientes dos estudos de alternativas tecnológicas, locais e para atendimento aos volumes gerados nos 18 anos de operação:

- **Barragem de água - Barragem córrego do Vale** para abastecimento da Comunidade do Vale das Cancelas, com capacidade para atendimento a uma população de até 10.000 habitantes;
- **Barragem de água - Barragem Industrial** para a manutenção da vazão residual do empreendimento e para armazenamento de água para a Planta Industrial;

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

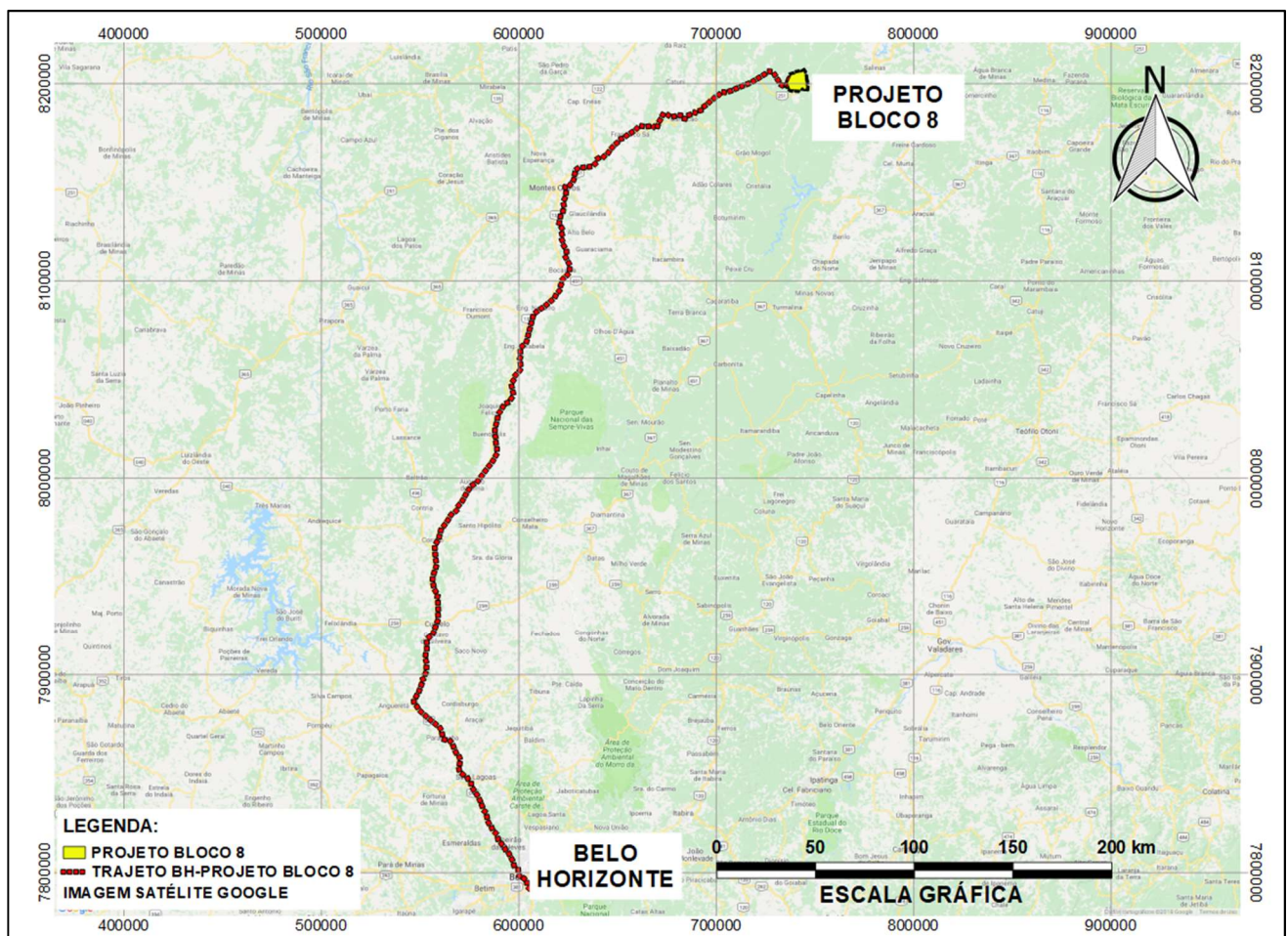
MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**8/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

- **Barragem de rejeito - Barragem 1** localizada no córrego Lamarão para o armazenamento dos rejeitos gerados entre os ANO 3 a ANO 18;
- **Barragem de rejeito - Barragem 2** localizada no córrego Mundo Novo para o armazenamento dos rejeitos gerados entre o ANO 1 e Ano 13 da produção; e
- **Backfill** localizado no interior da cava entre as faces oeste/sudoeste e norte para atendimento a geração e armazenamento dos estéreis da lavra entre o ANO 2 e o ANO 18 da operação e para armazenamento dos rejeitos a serem produzidos nos dois últimos anos de operação (ANO 17 e ANO 18).



**Figura 2.1 - Localização da área do Projeto Bloco 8.**

A Figura 2.2 apresenta o arranjo geral das estruturas, considerando a fase final do empreendimento no ANO 18.



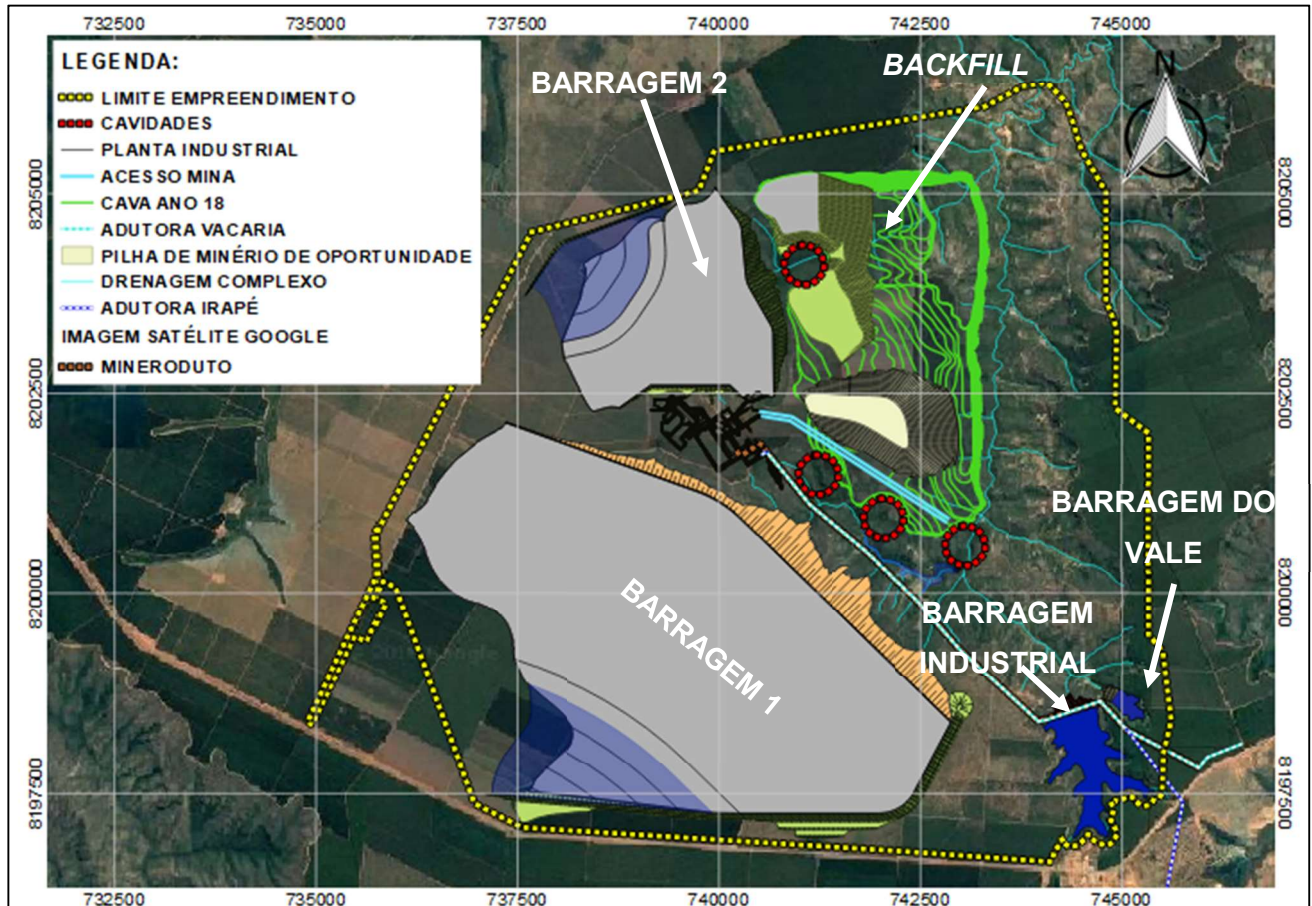
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**9/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 2.2 – Arranjo Geral– Final do Ano 18 de Operação**

Além das estruturas apresentadas na Figura 2.2, o Projeto Bloco 8 apresenta um terceiro barramento com a finalidade de armazenamento de água, denominada como Barragem do Rio Vacaria, e que será uma das principais fontes de água para o empreendimento.

A Figura 2.3 apresenta a localização da Barragem de água do Rio Vacaria em relação ao complexo minerário Projeto Bloco 8, onde é possível ainda verificar a adutora principal do Vacaria ao empreendimento e os cursos d'água dos córregos Lamarão, Jibóia e do próprio rio Vacaria.

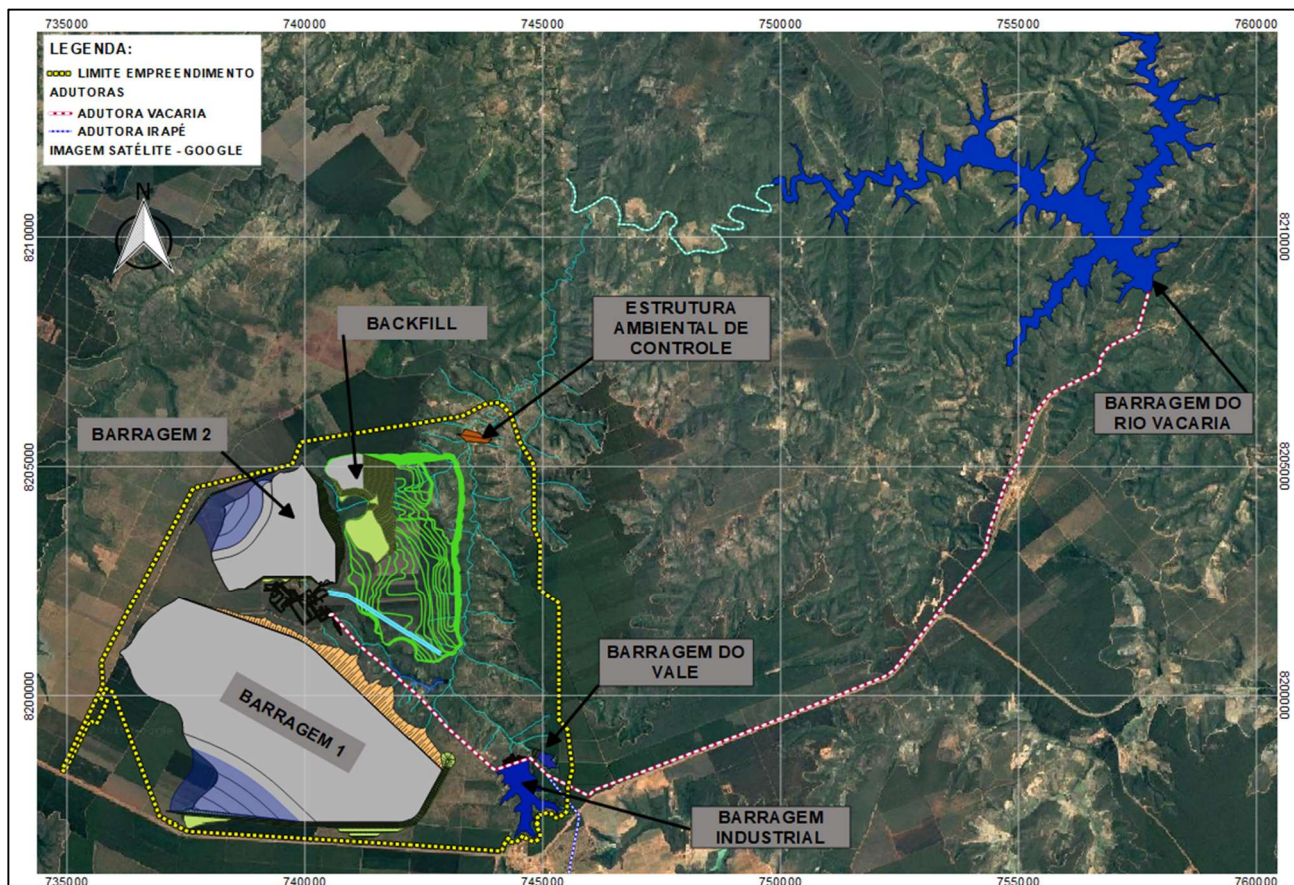
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**10/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 2.3 – Visão Geral do Projeto Bloco 8 (complexo minerário e barragem de água do Rio Vacaria)**

Os Serviços Multidisciplinares realizados em 2018 englobam, dentre outros estudos, a ruptura hipotética para as barragens do Projeto Bloco 8, em que foram verificados diversos cenários relativos à propagação da onda de ruptura. Os cenários mais críticos encontrados se tratavam dos eventos ocorridos na Barragem 1 na sua configuração inicial (crista na EL. 890,00 m) e final (crista na EL. 935,00 m).

O estudo de ruptura, realizado à época, apresentado no documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-15\_R03, demonstra que a propagação da onda de ruptura ocasionaria o rompimento em cascata da Barragem de Rio Vacarias, a jusante do empreendimento.

Observando o estágio final da capacidade de armazenamento da Barragem 1 – Inicial (final do Ano 7) e a cava na condição de exploração do Ano 7, constatou-se que as manchas de ruptura se estenderam por 347 km, atingindo o rio Jequitinhonha. O critério de parada da onda foi determinado

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>11/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

quando a vazão da propagação dela se tornou inferior à vazão do curso d'água para um período de retorno de 2 anos. Os mapas denominados "MINA\_BLC8007-1010-O-91-02" a "MINA\_BLC8007-1010-O-96-02" demonstram a mancha de rompimento para esta condição.

Por outro lado, ao se considerar a estrutura de disposição de rejeitos e a cava na sua configuração final de ocupação (Ano 18 de operação) e a cava na conformação final do Ano 18, para os mesmos critérios de estudo da Barragem 1 – Inicial, a onda do rompimento da Barragem 1 – Final se propagou por uma distância de 399 km. Os mapas denominados "MINA\_BLC8007-1010-O-97-02" a MINA\_BLC8007-1010-O-103-02" apresentam a envoltória máxima de inundação para a Barragem 1, na sua configuração final.

Com base nos estudos realizados em 2018, devido à extensão da envoltória máxima de inundação da Barragem 1, para os cenários inicial e final, evidenciada pelo rompimento em cascata da Barragem do Rio Vacarias, a SAM Metais solicitou a elaboração de um novo estudo, objetivando a redução dos impactos de um possível rompimento da Barragem 1.

Dessa forma, iniciou-se o desenvolvimento de propostas para contenção da onda gerada a partir da ruptura da Barragem 1 de modo a evitar o rompimento em cascata da Barragem do Rio Vacarias. A solução mais adequada para solucionar este problema foi a implantação da Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) no córrego Lamarão, impedindo que o material proveniente do rompimento alcançasse a Barragem do Rio Vacarias.

Para tal, como a cava do Projeto Bloco 8 se encontra imediatamente a jusante das Barragens 1 e 2 de rejeito do empreendimento e apresenta capacidade de acumulação de material em um eventual rompimento, foi solicitada a maximização de retenção da onda de cheias geradas em possível rompimento da Barragem 1 (cenário mais crítico) de forma a evitar o rompimento em cascata da Barragem do Rio Vacaria.

Deste modo, para atendimento a este cenário, foi considerada a implantação de uma estrutura de contenção no córrego Lamarão, à jusante da cava do Projeto Bloco 8 e a região à montante da Barragem do Rio Vacaria, denominada "Estrutura Ambiental de Contenção – EAC". O Projeto Conceitual dessa estrutura foi elaborado pela WALM em agosto de 2018.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>12/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

Por se tratar de uma estrutura complementar ao empreendimento, a EAC foi concebida de maneira a apresentar um volume de espera para atender a possível ruptura da Barragem 1, com ausência de reservatório permanente. Por isso, fez-se necessária a implantação de dispositivos de drenagem para permitir a passagem do córrego Lamarão e também um sistema extravasor de emergência para atendimento ao cenário hipotético de colapso da Barragem 1 (cenário crítico em relação ao estudo de rompimento).

Por conseguinte, à estruturação do Projeto da EAC, um novo estudo de dam break foi realizado o qual indicou que com a estrutura ambiental de contenção, mesmo num caso de rompimento, todo material ficaria restrito aos limites do empreendimento sem atingir quaisquer comunidades.

Os estudos de ruptura hipotética das barragens de água e rejeitos do Projeto Bloco 8 elaborados pela WALM em 2018/2019 foram desenvolvidos considerando as diretrizes da Portaria DNPM nº 70.389/2017.

Entretanto, tendo em vista as novas diretrizes estabelecidas pela Resolução da Agência Nacional de Mineração (ANM) nº32/2020, fez-se necessária a revisão dos estudos de ruptura supracitados e, conseqüentemente, a revisão da Estrutura Ambiental de Contenção.

Diante do exposto, nos itens subsequentes são apresentados os estudos hidrológicos, hidráulicos e geotécnicos, bem como os critérios e premissas utilizados na Revisão/Validação do Projeto Conceitual da EAC - Estrutura Ambiental de Contenção.

### **3.0 PREMISSAS ADOTADAS NO PROJETO**

Para o desenvolvimento dos estudos em nível conceitual da Estrutura Ambiental de Contenção foram definidas as seguintes premissas, restrições e considerações abaixo apresentadas.

- O maciço será constituído por estrutura em seção mista, composto por núcleo central em material argiloso, revestido por enrocamento;
- Na interface entre os materiais, de modo a atender as questões relacionadas a arraste de partícula e controle das percolações (critérios de filtro), foi considerada a implantação de transições geotécnicas de modo a evitar processos de erosão regressiva (*piping*) /ou de possíveis carreamentos de material;

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>13/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

- Para a Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) a ser projetada para contenção auxiliar da onda de ruptura hipotética da Barragem 1 (Final), será considerado que o material de construção deverá ser oriundo das frentes operacionais da cava do Projeto Bloco 8, considerando a disponibilidade de material na região;
- Além disto, materiais oriundos de escavações obrigatórias para a execução da limpeza de fundação e escavação para a implantação do túnel e do sistema extravasor poderão ser utilizados na construção do maciço;
- Para o enrocamento, além das frentes de lavra, poderão ser utilizados materiais das jazidas de rocha da região da Barragem do Rio Vacaria e/ou de outras jazidas a serem utilizadas para agregados de concreto para o Projeto Bloco 8;
- Para esta etapa, a WALM não apresentará o plano de investigações geotécnicas, será apresentada em etapa posterior do projeto;
- A base topográfica do projeto consta no documento “VRP-2010-O-0001\_R0 - Topografia Bloco 8” que apresenta o levantamento topográfico do Projeto Bloco 8 com precisão de curvas de nível de metro em metro no sistema de referência SAD 69 e Fuso 23S;
- Identificação do cenário mais crítico de rompimento hipotético da Barragem 1 definido entre a configuração da Barragem 1 e o sequenciamento de exploração da cava. Este estudo está apresentado no documento “MINA\_BLC8007-1010-G-RE-36 no qual definiu no cenário mais crítico como:
  - **Barragem 1 – Final:** Barragem 1, referente a estrutura na EL. 935,00 m, na sua máxima capacidade de acumulação ao final do Ano 18, e cava do Projeto Bloco 8 na configuração do Ano 17;
- Definição da cota da EAC, baseada na revisão do estudo de Ruptura Hipotética (*Dam Break*) da Barragem 1 para o cenário mais crítico (Condição Final), conforme documento “MINA\_BLC8007-1010-G-RE-37”;
- Para os estudos preliminares de Ruptura Hipotética, foi considerada a cota máxima alcançada pelo rejeito mobilizado de forma a contê-lo totalmente na área entre as estruturas do Projeto Bloco 8 e a EAC;
- Definição da elevação da soleira do sistema extravasor de emergência da EAC considerando a cota máxima atingida pelos rejeitos;
- A definição da cota da crista da EAC foi subsidiada pelos estudos hidrológicos para a passagem das cheias no extravasor da estrutura. Para tal, foi avaliada a sobrelevação do nível de água para atendimento aos critérios da NBR 13.028 (ABNT, 2017);

 <p><b>SAM</b> Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p><b>Walm</b> Engenharia</p>	<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>14/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

- O reservatório da EAC deverá apresentar volume suficiente para a contenção total de um possível rompimento da Barragem 1;
- A EAC será construída em uma seção do córrego Lamarão, interceptando o fluxo natural da região. Porém, não deverá apresentar reservatório permanente e, por isso, será necessário implantar dispositivos de drenagem para permitir a passagem do fluxo natural do córrego;
- Para permitir que a vazão do córrego Lamarão não seja interrompida, foi previsto um túnel para que a EAC se encontre vazia na maior parte da sua vida operacional;
- Para o túnel, foi considerado que o maciço na região deve apresentar características de material Classe IV e, a princípio, o revestimento dele deve ser em concreto;
- Como para esta configuração poderá ocorrer a sobrelevação temporária do nível d'água na região da EAC, deve ser verificada a cota máxima do remanso, de modo a evitar caminhamento de fluxos para a cava, com conseqüente danos à drenagem da região;
- Em caso de interferência na região, será implantada uma estrutura de barramento dos fluxos na região com o intuito de evitar o vertimento dos fluxos para a cava do Projeto Bloco 8;
- Para um eventual rompimento da Barragem 1, o Túnel deverá ser dotado de sistema de comportas com acionamento automático, que deverão barrar o fluxo natural do córrego Lamarão, garantindo a retenção do material mobilizado; e
- Em caso de um possível rompimento, foi considerado ainda a implantação de um sistema extravasor para atendimento as condições operacionais da EAC, considerando as diretrizes da NBR 13.028 (ABNT, 2017).

#### 4.0 CRITÉRIOS DE PROJETO

O projeto foi desenvolvido com base nos documentos, levantamentos topográficos, sondagens e ensaios compilados a partir de projetos anteriores fornecidos pela SAM.

Os itens **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a 4.5 apresentam os critérios de projeto adotados para o desenvolvimento dos estudos em nível conceitual da EAC.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>15/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

#### 4.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

As avaliações da estabilidade geotécnica por equilíbrio limite deverão atender aos fatores de segurança (FS) preconizados na NBR 13.028 (ABNT, 2017), uma vez que ao considerar o cenário de rompimento da Barragem 1, haveria a formação de um reservatório à montante da EAC.

As avaliações da estabilidade geotécnica devem atender aos fatores de segurança mínimos apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Fatores de segurança admissíveis para barragens conforme a norma 13.028.**

Fase	Tipo de Ruptura	Talude	Fator de Segurança mínimo
Final de Construção	Maciço e fundações	Montante e jusante	1,30
Operação com rede de fluxo em condição normal de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Jusante	1,50
Operação com rede de fluxo em condição extrema, nível máximo do reservatório	Maciço e fundação	Jusante	1,30
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e fundação	Montante e jusante	1,10

O projeto geométrico será desenvolvido atendendo aos fatores de segurança mínimos requeridos. As análises de estabilidade serão feitas por meio do software Slide 8.0, desenvolvido pela *Rocscience*, adotando-se o critério de ruptura de MOHR-COULOMB, LEPS (1970) e a teoria do equilíbrio limite pelo Método de SPENCER.

Salienta-se, também, que deverão ser feitas análises considerando as atividades sísmicas na área de projeto, tanto o sismo natural quanto o sismo induzido. As ponderações de cada uma dessas análises são a apresentadas a seguir.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>16/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

#### **4.1.1 Parâmetros geotécnicos**

Para os estudos de estabilidade geotécnica, serão considerados para os materiais os parâmetros de resistência provenientes de ensaios laboratoriais já realizados e, principalmente, dos ensaios solicitados.

Já para os estudos sísmicos, serão considerados os parâmetros sísmicos baseados nos estudos de sismo natural desenvolvidos pela WALM e os estudos de sismo desencadeado desenvolvidos pela SAM.

#### **4.1.2 Controle de atividades sísmicas**

Durante os estudos conceituais realizados para o Projeto Bloco 8, foram realizados estudos para a verificação dos efeitos do sismo natural na área do projeto, e os estudos relativos ao sismo desencadeados pelas detonações na área da lavra.

Os estudos desenvolvidos para o sismo natural e sismo desencadeado são apresentados nos documentos “MINA\_BLC8007-1010-G-RE-34” e MINA\_BLC8007-1010-G-RE-50, respectivamente.

Os itens a seguir apresentam as condições verificadas para os efeitos de sismo natural e de sismo induzido respectivamente e os controles a serem empregados para as etapas operacionais.

##### **4.1.2.1 Sismo natural**

Para o sismo natural na área do empreendimento, foi elaborada uma análise de sismicidade particular, com a avaliação de dados de epicentros de diversos eventos compreendidos dentro de um raio máximo de 300 km em relação ao empreendimento, desenvolvidos no documento “MINA\_BLC8007-1010-G-RE-34”

Para os estudos, foi considerada a avaliação do Perigo Sísmico utilizando as metodologias veiculadas por BURTON (1978) e ASSUMPCÃO (1985), com seguintes hipóteses:

- A sismicidade ocorre em uma área grande e o local de interesse está longe das bordas da área sísmica considerada;



		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>17/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

- Considera-se para o cálculo das probabilidades de ocorrência de uma dada aceleração no local de interesse, a contribuição (em termos de probabilidade) da ocorrência de todas as magnitudes em qualquer ponto da área sísmica (hipótese de "sismicidade difusa").

Demais critérios para elaboração do estudo foram:

- Atenuação de aceleração com a distância epicentral para estimar os níveis de aceleração para o empreendimento, sendo importante salientar que a Lei de Atenuação se refere às acelerações em nível do perfil rochoso;
- Vida útil do empreendimento de 50 anos.

Ressalta-se que a periodicidade de controle deverá ser definida nas demais etapas dos estudos para o Projeto Bloco 8.

#### **4.1.2.2 Sismo desencadeado**

Para as operações de exploração da cava do Projeto Bloco 8 a SAM irá realizar o desmonte dos materiais com utilização de explosivos. Estas atividades irão desencadear sismo pelo efeito das detonações na área do empreendimento, sendo que seus efeitos deverão ser controlados com o intuito de garantir a segurança das estruturas civis, industriais e geotécnicas na área do projeto.

Para a verificação dos impactos causados pelas detonações ao longo do empreendimento, foi realizado pela SAM o estudo relativo ao sismo desencadeado pelas detonações na área do Projeto Bloco 8 conforme apresenta o documento "MINA\_BLC8007-1010-G-RE-50".

Assim como na análise do sismo natural, a periodicidade de controle dos níveis sísmicos na região deve ser definida em etapas mais avançadas dos estudos do Projeto Bloco 8.

## **4.2 DRENAGEM INTERNA**

Para os estudos da EAC, devido o tipo de estrutura a ser considerada para a contenção em seção mista, não será utilizado dispositivos de drenagem interna. Para o caso da estrutura, foi considerado a utilização de transições geotécnicas para evitar o arraste de partículas e para a garantia da passagem do fluxo, dentro as expectativas das boas práticas de engenharia.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>18/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

### 4.3 TRANSIÇÕES GEOTÉCNICAS

Na literatura técnica há vários trabalhos sobre critérios de filtro a serem adotados em projetos, e outros que são utilizados para mitigar os problemas já existentes em barragens que apresentam filtros que não atendem aos critérios de transição empregados na geotecnia. Para a seleção dos materiais adequados para a composição de dispositivos de drenagem interna de barramento, os métodos baseiam-se no atendimento a dois critérios básicos apresentados a seguir:

- Condição 1: As dimensões dos vazios no material do filtro devem ser suficientemente pequenas para reter as partículas maiores do material protegido.
- Condição 2: O material do filtro deve ter uma alta condutividade hidráulica para impedir a geração de grandes forças de percolação e pressões hidrostáticas aplicadas aos filtros.

Dentre as metodologias existentes para essa avaliação, a mais recomendada e que será utilizada para o presente trabalho é a metodologia do Soil Conservation Service – SCS, a qual está apresentada no livro “*Geotechnical Engineering of Dams*” (FELL, 2005). Esta metodologia de dimensionamento de filtros e drenos engloba 9 passos a serem adotados para o dimensionamento, a seguir descritos:

**Passo 1:** elaborar a curva granulométrica. Recomenda-se usar o maior número de amostras possíveis, de forma a detalhar a faixa de variação da curva granulométrica do material.

**Passo 2:** verificar qual a fração da curva granulométrica está acima da # 4 (4,75 mm). Se o material for 100% passante nessa malha, procede-se ao passo 4, caso contrário, deve-se aplicar o passo 3.

**Passo 3:** ajustar a curva granulométrica do solo que apresenta a fração acima da # 4. Para isso, adota-se a seguinte metodologia:

- Obtém um fator de correção, dividindo 100 pela porcentagem passante na # 4;
- Multiplicar a porcentagem passante para todas os diâmetros do solo abaixo da # 4 pelo fator de correção obtido anteriormente;
- Plotar uma nova curva granulométrica com os valores de porcentagem ajustados, para assim obter-se uma curva granulométrica ajustada do material; e
- Usar a curva ajustada para determinar a % passante na # 200 (0,075 mm) no passo 4.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>19/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Passo 4:** determinar a categoria do solo estudado, baseado na % abaixo de 0,075 mm, conforme a Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 – Categoria do solo base (solo protegido pelo filtro)**

Categoria do solo base	%<0,075 mm (após ajuste da curva, quando aplicado)	Descrição do solo base
1	>85	Siltes finos e argilas
2 A	35 – 85	Areia siltosa e argilosa; argilas arenosas; e mistura de argila, silte, areia e pedregulho
4 A	15 – 35	Areia siltosa e argilosa e pedregulhos
3	<15	Areias, cascalhos e pedregulhos

**Passo 5:** para satisfazer os requisitos de filtragem, determinar o valor máximo de D<sub>15F</sub>, conforme a Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 – Critério de filtragem para o filtro – máximo D<sub>15F</sub>**

Categoria do solo base	Critério de filtragem
1	< 9 x D <sub>85B</sub> , mas não inferior a 0,2 mm; para solos dispersivos, adota-se < 6 x D <sub>85B</sub>
2 A	< 0,7 mm; para solos dispersivos, adota-se < 0,5 mm
3	< 4 x D <sub>85B</sub> do solo ajustado
4 A	$[(35 - A)/(35-15)] \cdot [(4 \times D_{85B}) - 0,7] + 0,7$ onde A = % passante na # 200 (0,075 mm) após ajuste, mas se $(4 \times D_{85B}) < 0,7$ mm, usar 0,7 mm

**Passo 6:** para garantir que o filtro é suficientemente permeável, determinar o valor mínimo para o D<sub>15F</sub>, conforme a Tabela 4.4. A permeabilidade requerida é determinada através do D<sub>15B</sub> do solo base após ajuste.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>20/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 4.4 – Critério de permeabilidade – mínimo  $D_{15F}$**

Categoria do solo base	Critério de permeabilidade
Todas as categorias	Mínimo $D_{15F} > 4 \times D_{15B}$ , sendo o $D_{15B}$ obtido na curva granulométrica após ajuste, mas não menor que 0,1 mm
	$< 2\%$ (ou no máximo 5%) de finos passando em 0,075 mm; finos não plástico

**Passo 7:** a largura da faixa de filtro determinada deve se manter estreita em toda a extensão, de forma a prevenir o uso de solo com falhas ou lacunas na graduação (*gap-graded soil*), mas largo suficiente para permitir o manuseio. Com isso, deve-se ajustar o  $D_{15F}$  máximo e mínimo determinados no passo 5 e 6, de forma que a razão entre o máximo e o mínimo seja inferior a 5. Além disso, deve-se o coeficiente de não uniformidade (CU) deve ser inferior a 6.

**Passo 8:** critério da segregação. Para evitar a segregação, deve-se: (i) adotar o diâmetro máximo do filtro entre 50 e 75 mm; e (ii) considerar a relação entre o máximo  $D_{90F}$  e o mínimo  $D_{10F}$ , conforme a Tabela 4.5. O valor de  $D_{10F}$  mínimo pode ser obtido dividindo-se o  $D_{15F}$  por 1,2 (garantir o coeficiente de não uniformidade da curva igual ou menor a 6).

**Tabela 4.5 – Critério da segregação**

Categoria do solo base	Se $D_{10F}$ (mm) é:	Então, o máximo $D_{90F}$ é:
Todas as categorias	$< 0,5$	20
	0,5 – 1,0	25
	1,0 – 2,0	30
	2,0 – 5,0	40
	5,0 – 10	50
	$> 10$	60

**Passo 9:** Depois de terminado todos os passos anteriores, procede-se na plotagem dos pontos definidos no mesmo gráfico onde está apresentado a curva granulométrica, e assim definindo-se a faixa granulométrica que o filtro deverá apresentar.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>21/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

Por se tratar de uma etapa de projeto conceitual, onde não foram disponibilizadas curvas granulométricas dos materiais a serem considerados para o desenvolvimento dos estudos, foi considerado como ponto de partida as curvas granulométricas de agregados miúdos (areia) e graúdos (britas 0, 1, 2, 3 e 4), apresentados na NBR 7211 (ABNT, 2009) para agregados de concreto.

#### 4.4 TÚNEL DE RESTITUIÇÃO

Devido a sinuosidade do curso do córrego Lamarão na área da EAC, foi verificado que a adoção de galerias para a região não atenderia as boas práticas de engenharia, pois:

- Necessitaria de obras de terraplenagem para a sua implantação, incluindo obras de aterro compactado com controle tecnológico na região do curso d'água, que podem ser zonas preferenciais de recalques;
- Para a região do leito do córrego Lamarão, poderiam ser necessárias obras de escavação adicional por possivelmente apresentar depósito aluvionar, com aumento significativo da movimentação de terra, obras de reforço e outras atividades necessárias; e
- Cria ponto de fragilidade para a EAC, pois a galeria pode tornar-se um ponto preferencial de percolação.

Desta forma, optou-se pela utilização de túnel para garantir o desvio do córrego Lamarão na região. O túnel será dimensionado seguindo o conceito utilizado em barragens para controle de cheias, ou seja, elas devem manter o reservatório vazio, em estado de espera, para cheias recorrentes e amortecer eventos pluviométricos extremos (TR's de 100, 1.000 e 10.000 anos), com tempo de esvaziamento do reservatório menor que um dia, atendendo os critérios do DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento usualmente adotados em barragens de contenção de cheias no Brasil.

#### 4.5 SISTEMA EXTRAVASOR

Para o sistema extravasor deverão ser considerados os períodos de retorno estabelecidos na NBR 13.028 (ABNT, 2017) – Mineração – Elaboração e apresentação de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Para a EAC, optou-se pelo

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>22/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

dimensionamento atendendo o período de retorno (TR) estabelecido para a condição de fechamento, correspondente a 10.000 anos, conforme estabelecido na referida norma. Adicionalmente, foi considerada uma borda livre mínima de 1,0m até a crista da barragem.

## 5.0 INTERFERÊNCIAS

Para o desenvolvimento dos estudos da Estrutura Ambiental de Contenção, foram consideradas as seguintes interferências disponibilizadas pela SAM para o presente trabalho:

- Limite da Área Diretamente Afetada (ADA) prevista para o empreendimento, conforme identificado no documento “BLC8-2010-M-0001\_R00” que apresenta o Plano Diretor desenvolvido pela SAM em 2018;
- Planta final da cava no Ano 18, conforme documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA29\_05\_2018\_rev1”, desenvolvido pela VENTURINI Consultoria em 2018.

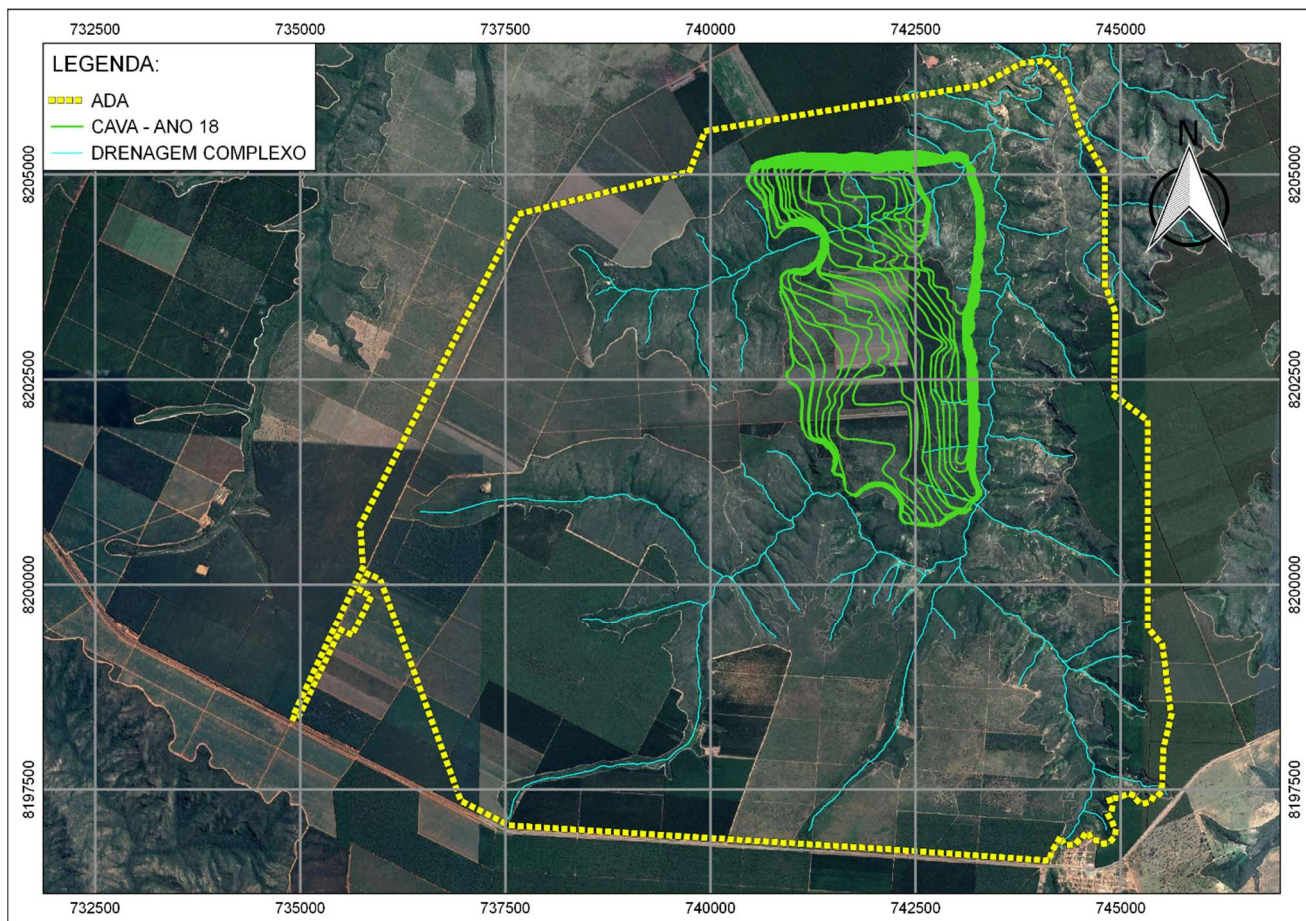
A Figura 5.1 representa as interferências do projeto da EAC.

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**23/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

**Figura 5.1 – Mapa de Interferências – Projeto Bloco 8.**

## 6.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para a elaboração deste trabalho foram consultados os seguintes documentos:

- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-02 – Relatório de Consolidação dos Estudos Locacionais. – Disposição de Rejeitos e Estéril Elaborado pela WALM em julho de 2018;
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-04 – Relatório Técnico – Atualização do Modelo Hidrogeológico do Complexo mineral Projeto Bloco 8. Elaborado pela WALM em outubro de 2018;
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-07 – Relatório Técnico – Balanço Hídrico Integrado. Elaborado pela WALM em outubro de 2018;
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-08 – Relatório de Estudos Tecnológicos de Disposição de Rejeitos – Disposição de rejeitos e estéril. Elaborado pela WALM em agosto de 2019;

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>24/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-09 – Memorial de Caracterização. Elaborado pela WALM em outubro de 2018;
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-15 – Relatório do Estudo de Ruptura Hipotética (*Dam Break*) da Barragem 1 – Disposição de Rejeitos e Estéril. Elaborado pela WALM em outubro de 2018;
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-31 – Relatório Técnico – Barragem 1. Elaborado pela WALM em outubro de 2018;
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-36 – Projeto Conceitual da Estrutura Ambiental de Contenção. Elaborado pela WALM em 2018;
- BLC8-2010-M-0001\_R00 - Plano Diretor– Plano Diretor. Elaborado pela SAM em setembro de 2018; e
- VRP-2010-O-0001\_R0 – Topografia Bloco 8. Elaborado pela SAM em abril de 2013.
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-36 – Revisão Estudos de Ruptura Hipotética – Estudo para Identificação do Cenário de Maior Dano – Barragem 1. Elaborado pela WALM em fevereiro de 2021;
- MINA\_BLC8007-1010-G-RE-37 – Revisão Estudos de Ruptura Hipotética – Relatório do Estudo de Ruptura Hipotética (*Dam Break*) da Barragem 1. Elaborado pela WALM em fevereiro de 2021.

## 7.0 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO – EAC

A concepção deste projeto objetivou a redução dos impactos verificados nas manchas de inundação do estudo de ruptura hipotética (*Dam Break*) da Barragem 1, apresentado no documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-15 elaborado pela WALM em 2018. O estudo apontou o rompimento em cascata da Barragem do Rio Vacaria nos dois cenários avaliados (barragem inicial e final), cuja mancha de maior magnitude apresenta extensão da ordem de 399 km, atingindo o rio Jequitinhonha (considerado os critérios de paralização por comparação de vazões).

Assim, para mitigar os impactos que essa ruptura causaria sobre a estrutura de contenção de água no curso do Vacaria e nos respectivos cursos d'água e em comunidades a jusante, a SAM solicitou que fosse elaborada uma solução que implicasse na redução dos impactos diretos do possível colapso e, ao mesmo tempo, evitasse o rompimento da Barragem de água do Rio Vacaria.



		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>25/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

Além disto, os estudos deverão considerar ainda a maximização da ocupação da cava do Projeto Bloco 8, localizado a jusante das Barragem 1 e 2, com a implantação de uma estrutura no córrego Lamarão na região a jusante da cava e montante da foz do rio Vacaria.

Para a definição da solução de engenharia a ser empregada para esta finalidade, foi considerada a realização de estudos preliminares de ruptura hipotética, de modo a se determinar a configuração que atenderia a todos os requisitos solicitados pela SAM.

Em função das características do Projeto Bloco 8, optou-se pela construção de uma estrutura de contenção.

Para tal, as condições de contorno dos modelos levaram em consideração os cenários estudados para a Barragem 1 na etapa do projeto conceitual e da configuração das cavas ao longo dos anos de operação, além da ocupação da cava.

Os itens 7.1.1 a 7.1.4 apresentam as condições de contorno para a elaboração dos estudos preliminares de ruptura hipotética considerando a Barragem 1, Cavas, *Backfill* e definição dos possíveis eixos a serem utilizados para atendimento as premissas do presente trabalho.

Os itens 0 a 7.1.7 apresentam a atualização dos estudos desenvolvidos, visando o atendimento das diretrizes preconizadas pela ANM n°32/2020.

### **7.1.1 Estudos em nível conceitual realizados para a Barragem 1**

Os estudos em nível conceitual desenvolvidos pela WALM em 2018, apresentados no documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-31, apresentam a configuração geométrica da Barragem 1, contemplando-a na sua configuração inicial (EL. 890,00 m) e final (EL.935,00 m), sendo projetada para atender à disposição hidráulica dos rejeitos gerados no processo industrial da SAM entre os anos 3 e 18.

A Barragem 1 será construída na bacia de contribuição do córrego Lamarão, na porção sudoeste da cava do Projeto Bloco 8. Ela será construída em etapas, sendo que inicialmente o dique de partida será concebido em solo compactado e atenderá a produção do empreendimento entre os anos 3 e 7 de operação. A partir do ano 8, a estrutura será alteada de maneira contínua (alteamentos

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>26/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

sucessivos), considerando a utilização do rejeito grosso como material de construção. No processo industrial da SAM, o rejeito é processado e segregado na Planta Industrial, gerando três tipos de rejeitos denominados como grosso (“*underflow*”), fino (“*overflow*”) e lama. Estes materiais chegaram separados nas barragens de disposição de rejeitos, onde o rejeito grosso “*underflow*” apresenta características adequadas para a construção de maciços e será o material utilizado para os alteamentos sucessivos.

Para o alteamento sucessivo da barragem, a sua construção ocorre a partir da disposição hidráulica no talude de jusante da estrutura. Cabe destacar que o rejeito grosso a ser utilizado, deverá apresentar o controle tecnológico através da utilização de teores de sólidos adequados para o lançamento e formação dos taludes, controle da espessura, compactação em grau de compactação adequado, como base nos estudos e ensaios em desenvolvimento pela SAM.

Destaca-se, ainda, que a Barragem 1 será alteada sucessivamente entre os anos 8 e 18, até que seja esgotada a sua capacidade, bem como o fim das operações do Projeto Bloco 8.

A Barragem inicial apresenta altura máxima de 119,00 m e capacidade de acumulação de 262.600 Mm<sup>3</sup>. Ao término das atividades no ano 18 de operação, considerando os alteamentos sucessivos, a Barragem 1 apresenta altura final de 159,00 m capacidade total de armazenamento de 867,66 Mm<sup>3</sup>.

A Figura 7.1 e Figura 7.2 apresentam os arranjos geométricos da Barragem 1 nas suas configurações iniciais e final, respectivamente. Já a Tabela 7.1 apresenta a ficha técnica da estrutura.

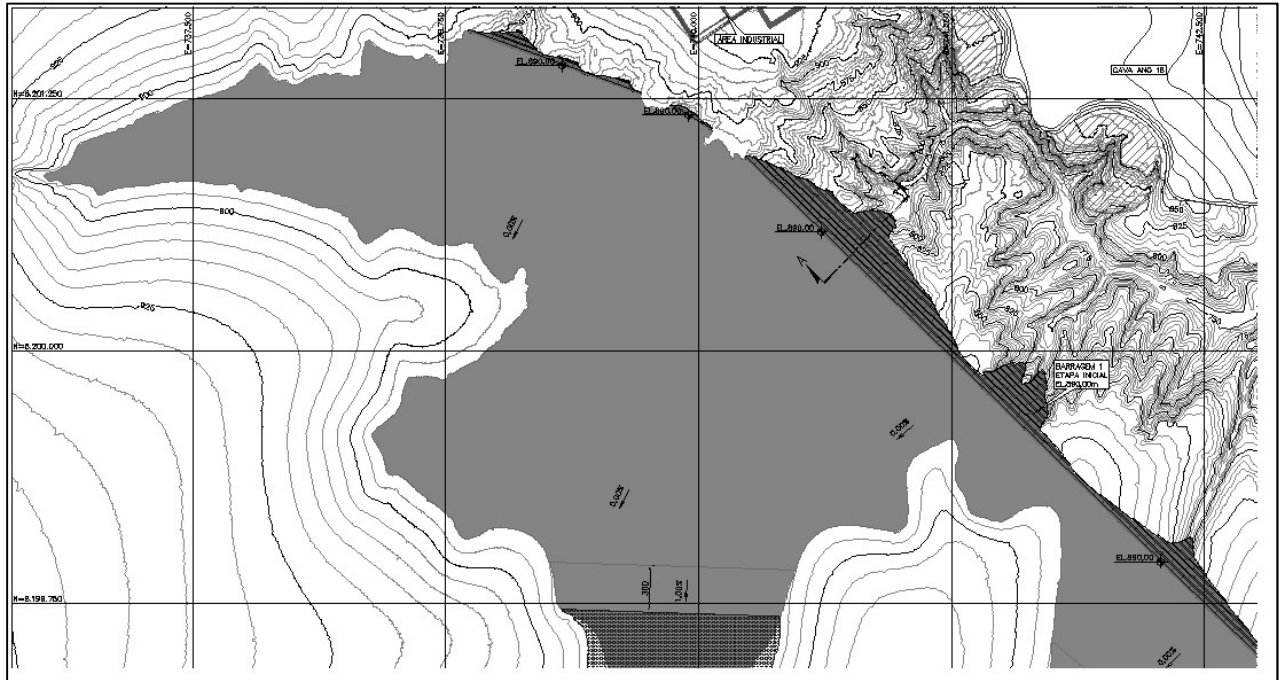
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

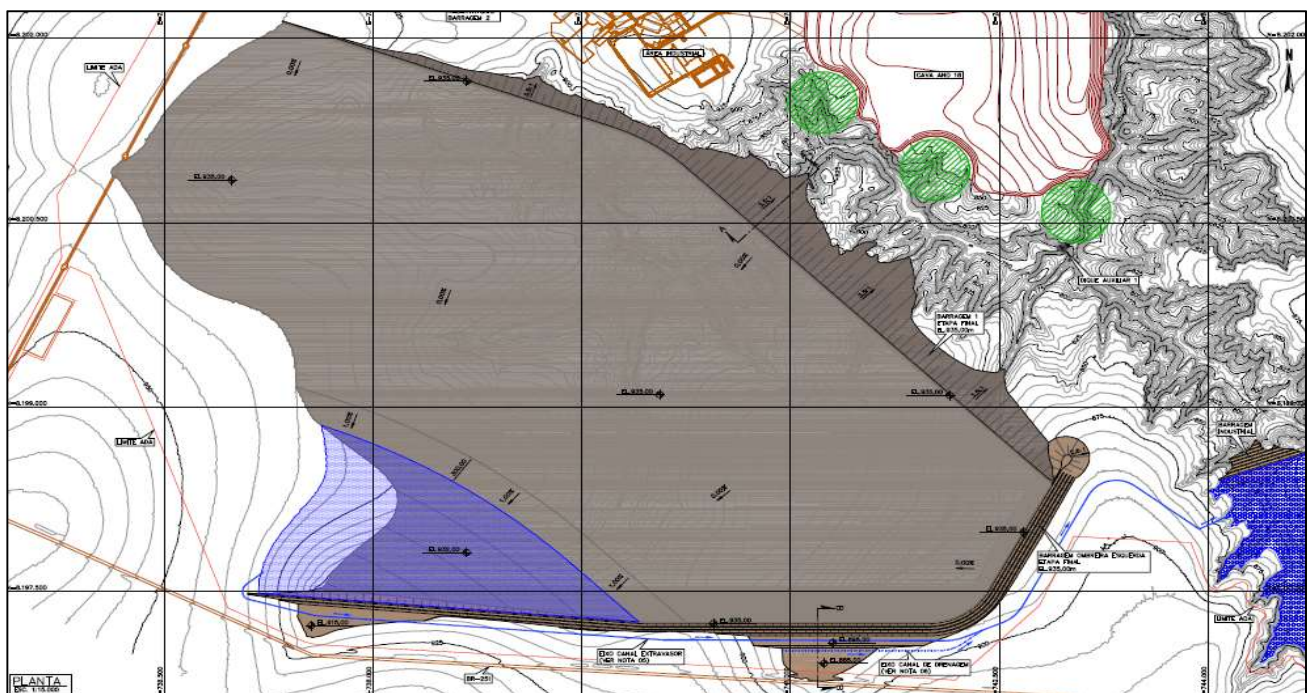
Folha  
**27/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 7.1 - Arranjo geral da Barragem 1 – Inicial – El. 890,00 m**



**Figura 7.2 – Arranjo geral da Barragem 1 – Final – El. 935,00 m**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>28/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 7.1 – Ficha técnica da Barragem 1**

<b>Estrutura</b>	<b>Dados</b>
Elevação Crista Inicial (m)	890,00
Elevação Crista Final (m)	935,00
Elevação Base (m)	776,00
Altura Máxima Inicial (m)	119,00
Altura Máxima Final (m)	159,00
Largura de Crista (m)	10,00
Comprimento de Crista Inicial (m)	4763,11
Comprimento de Crista Final (m)	6827,66
Talude locais (H:V)	2,0 H : 1,0 V
Desnível máximo entre bermas (m)	10,00
Largura de bermas (m)	6,00
Taludes Globais Jusante (H:V)	3,5 H : 1,0 V
Borda livre reservatório (m)	3,00
Cota do nível d'água operacional (m)	932,00
Área de Maciço Inicial (m <sup>2</sup> )	730.006,88
Área de Maciço Final (m <sup>2</sup> )	1.898.242,93
Volume total Maciço Inicial (m <sup>3</sup> )	18.950.000,00
Volume total Maciço Final (m <sup>3</sup> )	65.400.000,00
Área máxima de espelho d'água (m <sup>2</sup> )	2.196.120,27
Volume total do Reservatório Inicial (m <sup>3</sup> )	262.600.000,00
Volume total do Reservatório Final (m <sup>3</sup> )	867.659.584,00

### **7.1.2 Cavas consideradas para os estudos preliminares de ruptura hipotética**

Nos estudos desenvolvidos em 2018 pela WALM, foi disponibilizado pela SAM o sequenciamento anual de cava, conforme apresenta o documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29\_05\_2018\_rev1”. O sequenciamento considera a exploração contínua da cava do projeto entre a pré-produção e o seu término de exploração no ano 18.

Ao longo dos estudos de disposição, disponibilidade hídrica e demais estudos realizados, foi definido um cronograma conceitual de implantação das estruturas, considerando os volumes do Plano de Produção para as barragens de rejeitos. Como resultado, definiu-se o seu início de construção,

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>29/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

previsão de ocupação, definição do início das etapas de alteamento e previsão de finalização da disposição na estrutura.

Conforme os estudos apresentados no item 7.1.1, verifica-se que a barragem inicial deverá operar até o final do ano 7. Já o esgotamento total do reservatório da Barragem 1 corresponde ao final do empreendimento no ano 18.

Desta forma, para a definição do cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1, inicialmente verificou-se o balanço entre a soma dos volumes disponíveis nos reservatórios dos barramentos (barragens de rejeito B1, B2 e barragens de água Industrial e do Córrego do Vale) e o volume disponível de “amortecimento” na cava, sempre considerando, de forma conservadora, o volume da cava do ano anterior. Dessa avaliação concluiu-se que o ano de operação 18, considerando a cava do Ano 18, possui o balanço mais desfavorável em termos volumétricos.

Nas figuras seguintes são apresentados os cenários finais das cavas para os anos de operação 17 e 18. Como pode ser observado, no Ano 18, a cava aprofunda em sua porção nordeste, mantendo a mesma área de abrangência do Ano 17. Entretanto, em termos de volume disponível para amortecimento, o Ano 18 possui cerca de 117,04Mm<sup>3</sup>, superior em mais de 100% quando comparado com o volume da cava do Ano 17, de 54,2Mm<sup>2</sup>. Essa diferença de volume de amortecimento justifica a adoção da cava no ano 17 nos estudos de Dam Break, de forma conservadora.

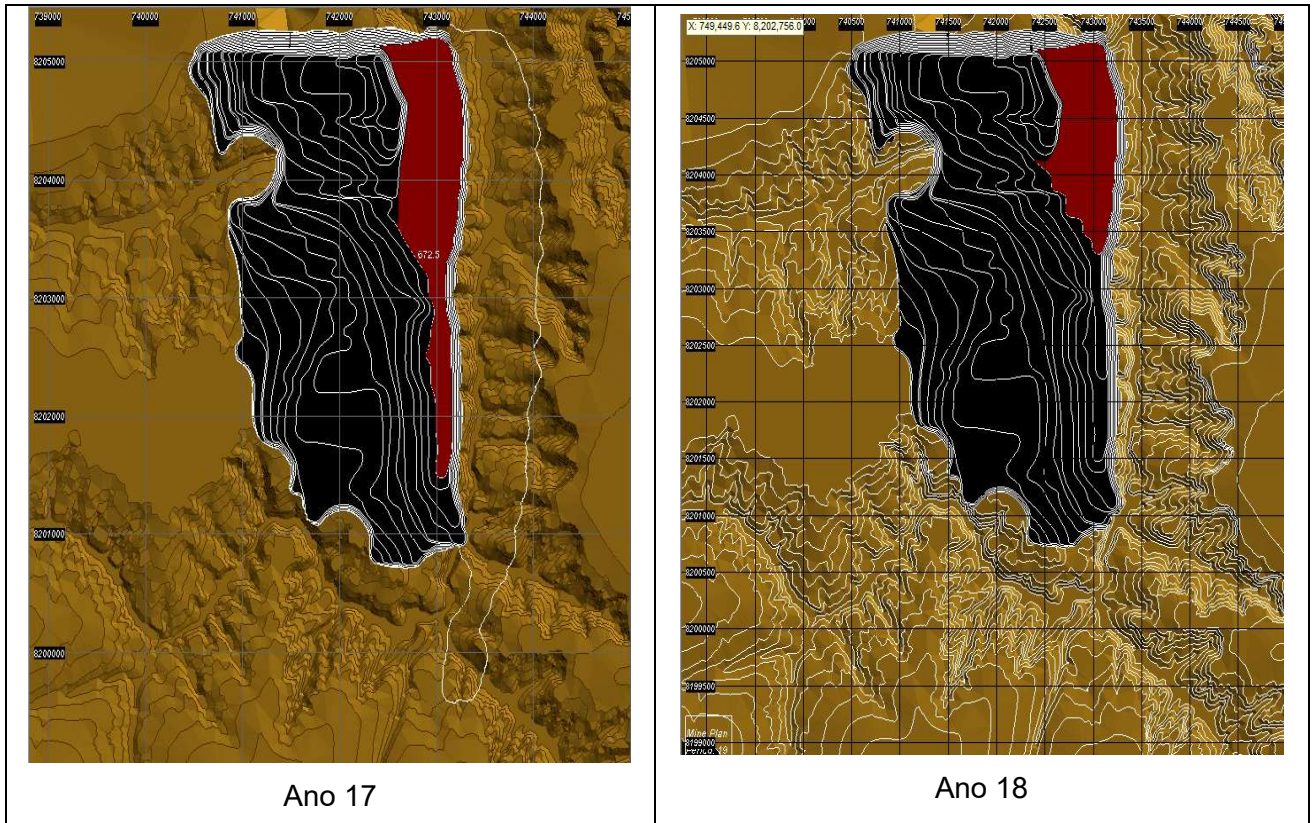
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**30/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 7.3 – Arranjo geral das Cavas do Projeto Bloco 8 nos cenários de 17 e 18 anos**

### 7.1.3 Backfill

De acordo com os estudos elaborados em 2018, o estéril gerado na cava do empreendimento, será utilizado em partes, para a concepção dos maciços das Barragens 1 e 2 do projeto, com vistas ao atendimento da construção do maciço inicial destas estruturas. O Estéril da pré-produção e do Ano 1, serão totalmente utilizados nas estruturas. A partir do Ano 2 o estéril gerado deverá ser direcionado para as estruturas de disposição do Projeto Bloco 8.

Para o Projeto Bloco 8, a estrutura responsável pela disposição do estéril gerado ao longo dos 18 anos de operação será direcionada para as frentes exauridas da cava, a partir de um sequenciamento verde, denominado como “Backfill”. Cabe ressaltar que o estéril gerado nas atividades de abertura de lavra e na pré-produção, serão utilizados para a construção do maciço inicial da Barragem 2. O empilhamento no interior da cava será adequado ao avanço da lavra, conforme o sequenciamento definido pela SAM e dos usos do estéril para a construção dos maciços das Barragens 1 e 2 (maciço inicial e alteamento da Barragem 2).

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**31/104**

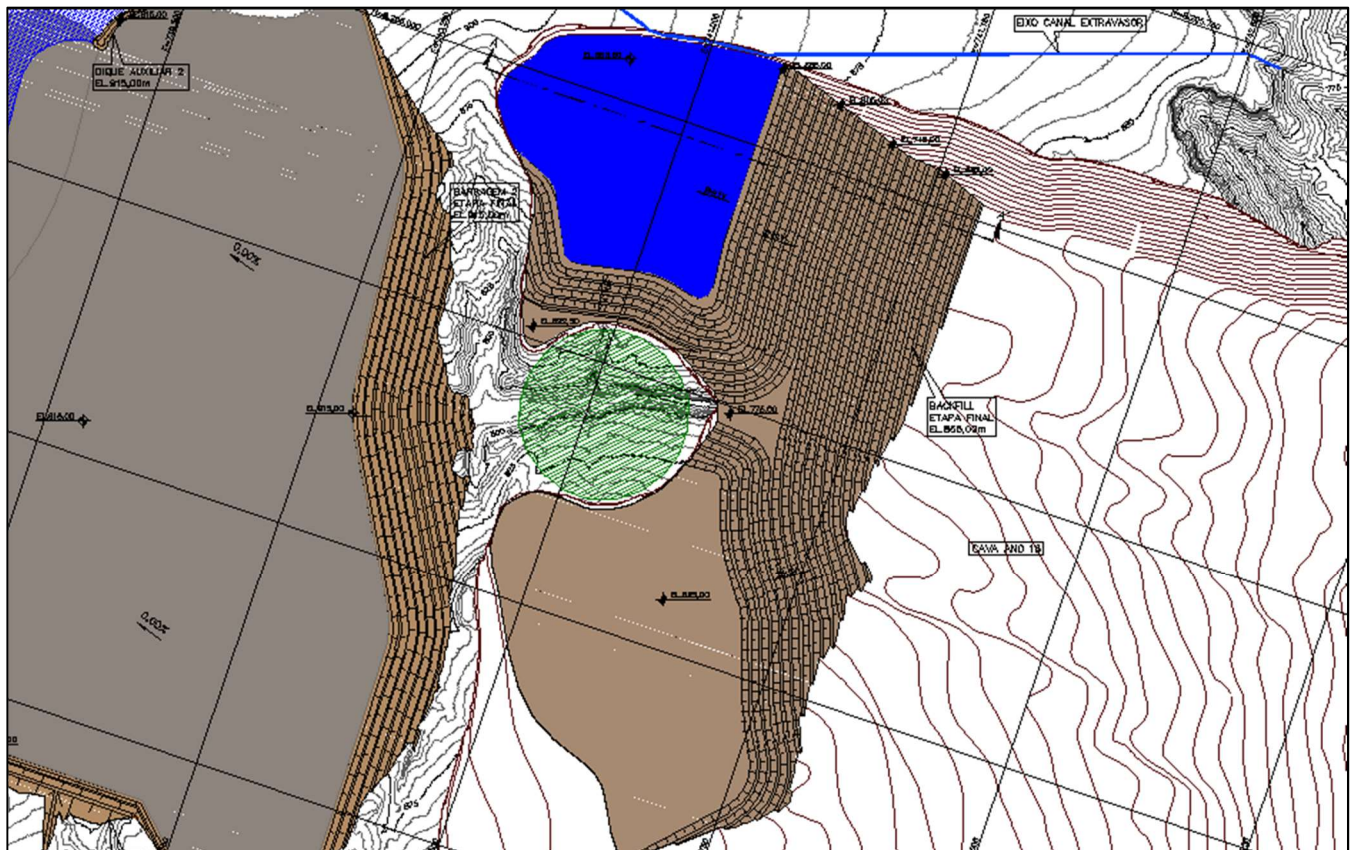
WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

Nos estudos realizados pela SAM para o sequenciamento da cava, foram fornecidas as massas de estéril a serem geradas ao longo dos anos de exploração da estrutura. Com base nestes valores e em estudos preliminares, foi definido o volume anual de estéril gerado. Considerando o balanço de materiais para a construção das estruturas de disposição dos rejeitos e do material a ser gerado para a cava, verifica-se que o volume para a disposição do estéril seria de 121,00 Mm<sup>3</sup>.

Baseado nestes volumes foram realizados os estudos em nível conceitual para o *Backfill*, onde a estrutura final apresenta capacidade de acumulação de 125,00 Mm<sup>3</sup>, suficiente para a disposição do volume total de estéril estimado para o Projeto Bloco 8 de 121,00Mm<sup>3</sup>, restando ainda uma “folga” de 4,0 Mm<sup>3</sup>. Adicionalmente, foi considerado um possível volume para a disposição de rejeitos de maneira hidráulica e/ou a seco (a ser definido em etapa futura) com volume da ordem de 19,46 Mm<sup>3</sup>.

A Figura 7.4 apresenta o arranjo geral para o *Backfill* e a Tabela 7.2 apresenta a ficha técnica da estrutura.



**Figura 7.4 – Arranjo Geral do Backfill – Projeto Bloco 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>32/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 7.2 – Ficha técnica da *Backfill***

<b>Estrutura</b>	<b>Dados</b>
Elevação Crista (m)	865,00
Elevação Base (m)	642,50
Altura Máxima (m)	225,50
Largura de Crista (m)	20,00
Comprimento de Crista (m)	1.547,73
Talude locais (H:V)	2:1
Desnível máximo entre bermas (m)	10,00
Largura de bermas (m)	6,00
Taludes Globais Jusante (H:V)	2,60
Borda livre reservatório (m)	1,50
Cota do nível d'água operacional (m)	863,50
Área de Ocupação (m <sup>2</sup> )	2.008.858,00
Volume total de Disposição de Estéril (Mm <sup>3</sup> )	125,00
Volume total do Reservatório (Mm <sup>3</sup> )	19,46
Área total de espelho D'água (m <sup>2</sup> )	428.930,04

O *Backfill* será construído no interior da cava do Projeto Bloco 8, ocupando a porção nordeste da estrutura, reduzindo o volume disponível de armazenamento na cava em uma eventual ruptura da Barragem 1. Para os estudos conceituais, como ainda não foram desenvolvidos os sequenciamentos de disposição do estéril na cava do empreendimento, foi considerado apenas o cenário final de ocupação do *Backfill*, referente ao Ano18 de operação.

A Figura 7.5 apresenta o cenário a ser adotado para os estudos preliminares de ruptura hipotética da Barragem 1 para o Ano 18 de operação.



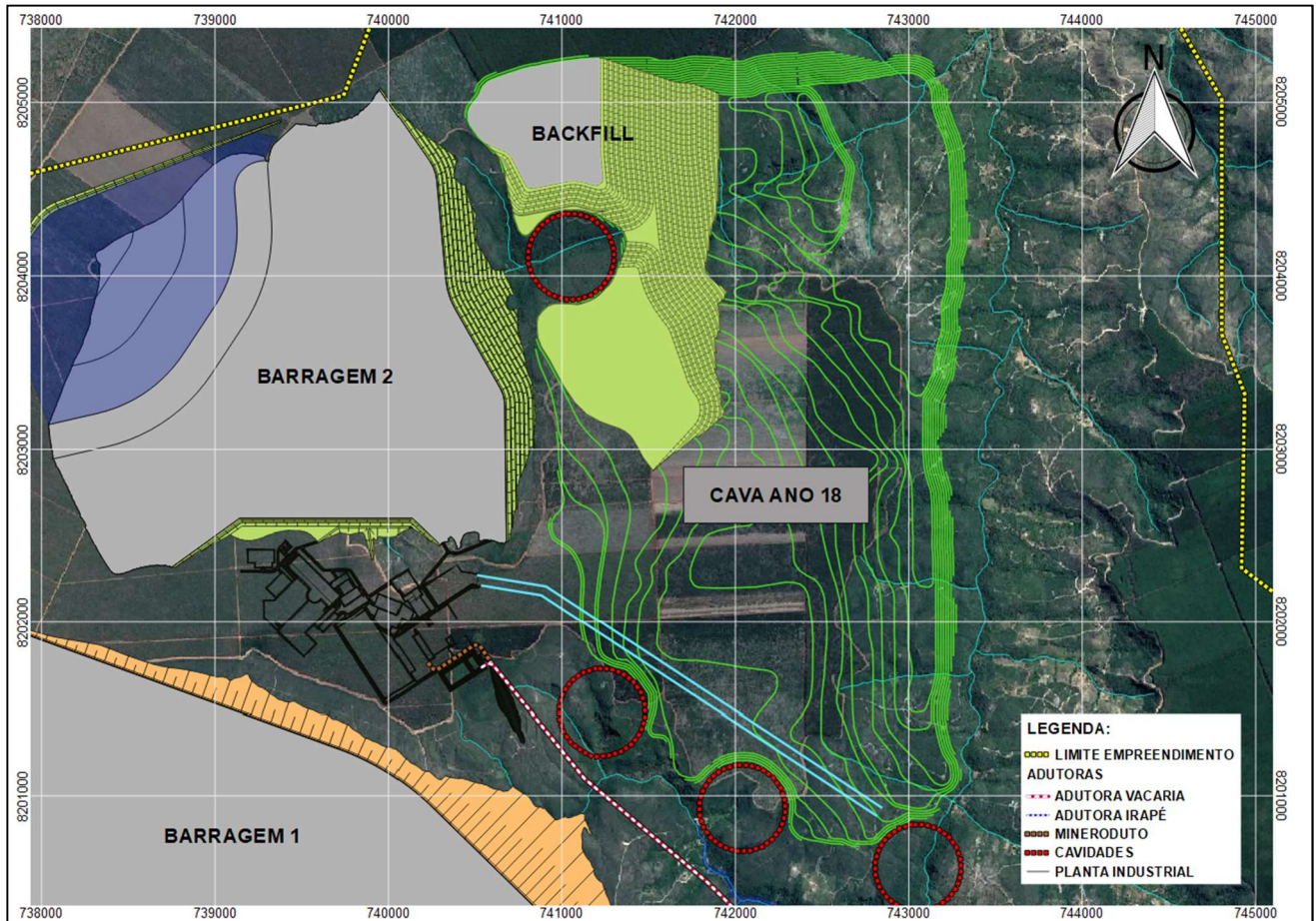
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**33/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 7.5 – Configuração da cava dos 18 anos com *Backfill*.**

#### **7.1.4 Definição dos possíveis eixos da EAC**

Baseado nas informações do projeto conceitual da Barragem 1, *Backfill* e das cavas a serem consideradas para o Projeto Bloco 8, em 2018, foi realizado um estudo preliminar, visando a definição dos possíveis eixos a serem considerados para a contenção. Como premissa básica, foram estudados eixos para a implantação da estrutura de contenção, posicionados ao longo do curso d'água do córrego Lamarão, no trecho compreendido entre a cava e a região da Barragem de água do Rio Vacaria.

Buscou-se ainda, em relação à topografia, as melhores opções de eixo, considerando o nível atual de detalhamento da topografia do empreendimento, condição dos talwegues, presença de espigões e impactos em drenagens adjacentes.

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

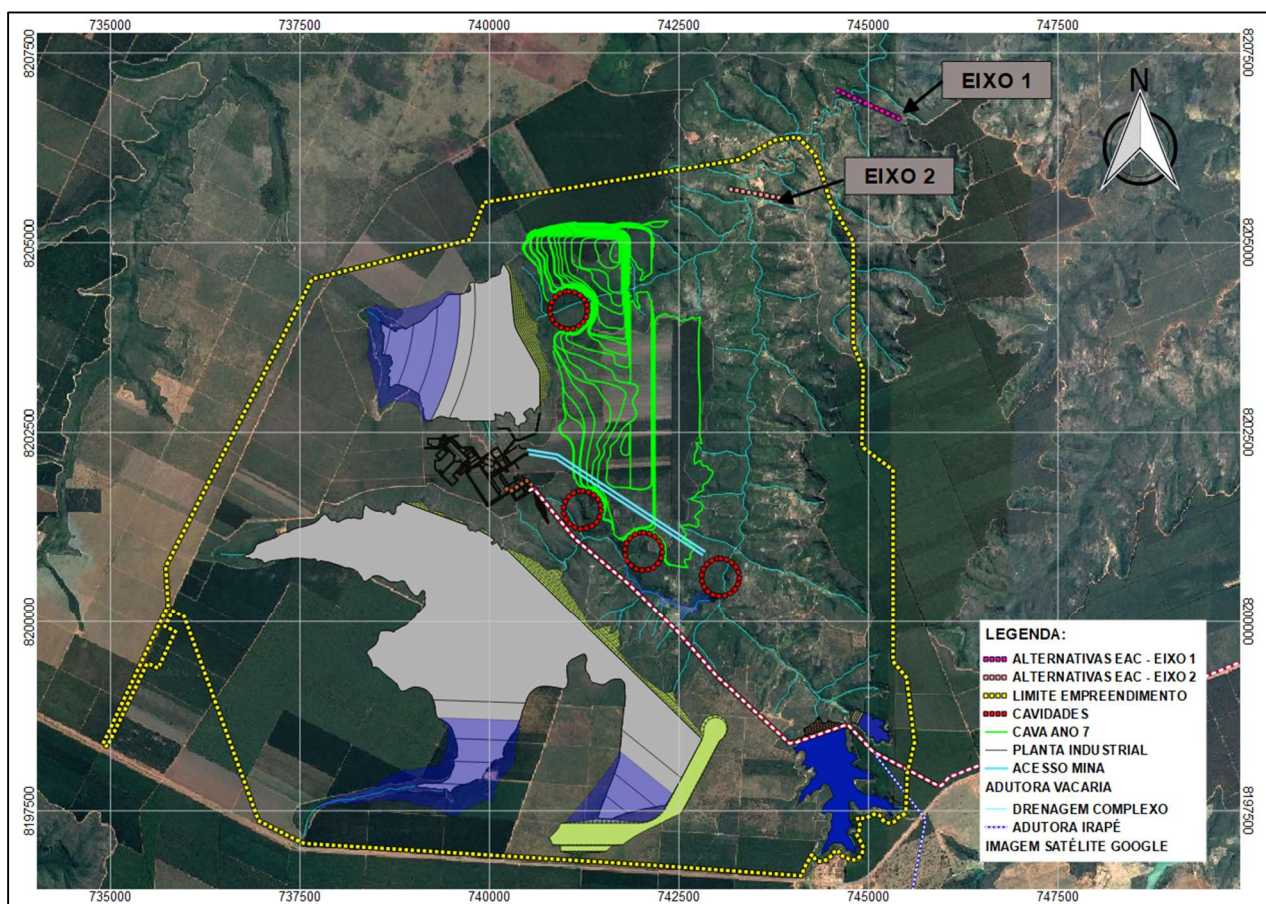
Folha  
**34/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

Com base nestes dois critérios, foram definidos dois eixos para a estrutura de contenção. O Eixo 1 localizado a 10,70 km da Barragem 1 (distância medida em relação ao curso d'água), com um afastamento maior em relação a cava do empreendimento, localizado em uma região do córrego Lamarão, em região menos sinuosa, apresentando boas características de implantação. Já o Eixo 2, encontra-se a 9,50 km do eixo da Barragem 1 (recauado em 1,20 km do Eixo 1) em zonas de talwegues mais sinuosos, porém em zona de talvegue mais encaixado que a encontrada para o Eixo 1. Além disso, situa-se dentro do limite previsto do empreendimento em área já estudada pela SAM.

A utilização do Eixo 2 (eixo a montante) visou a redução do impacto ambiental na região do córrego Lamarão, dentro dos limites da Área Diretamente Afetada do Projeto Bloco 8. A Figura 7.6 e a Figura 7.7 apresentam os eixos estudados para os dois eixos considerando a configuração do Projeto Bloco 8 nos anos 7 e 18, respectivamente.



**Figura 7.6 – Posição dos eixos estudados para a estrutura ambiental de contenção – Ano 7**

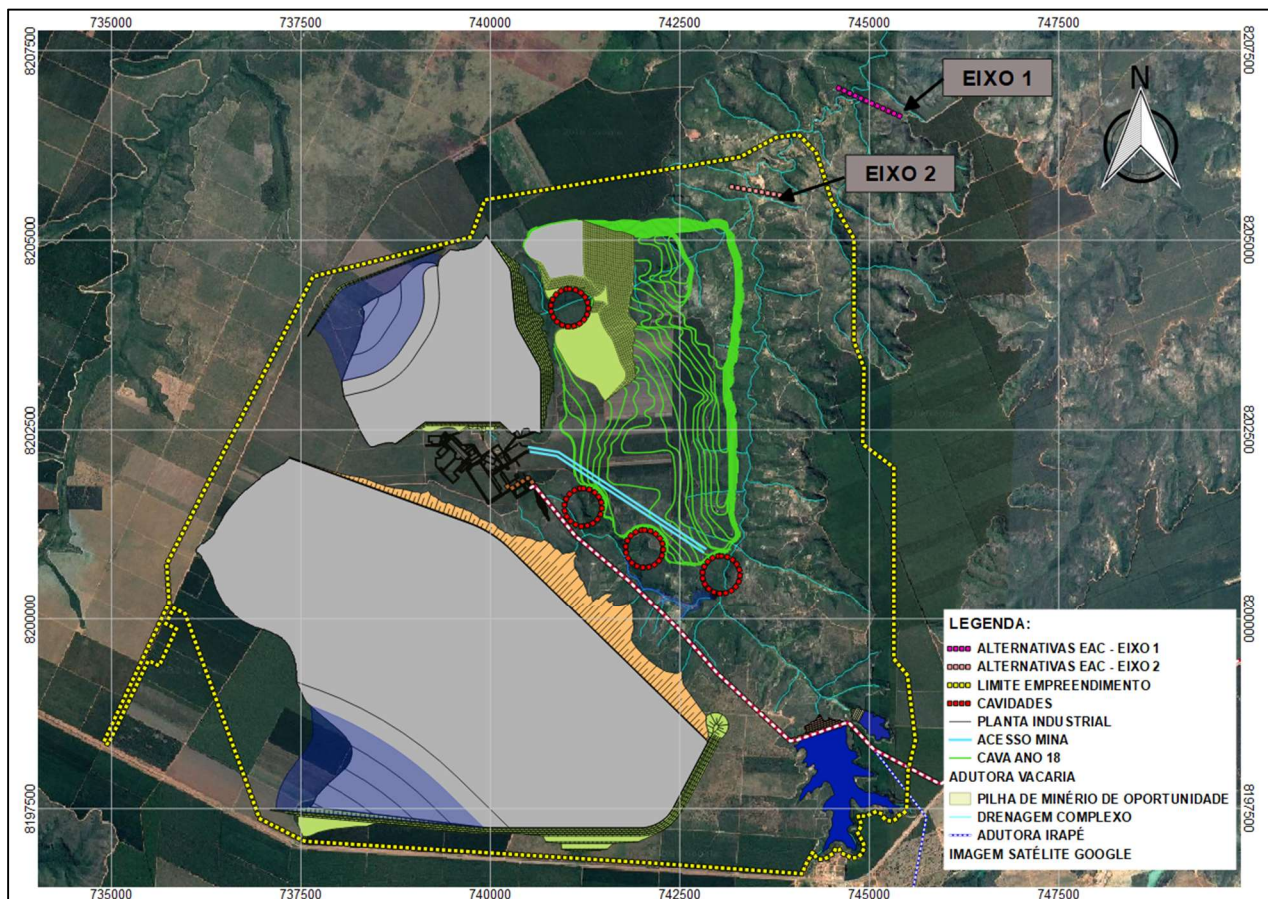
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**35/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 7.7 – Posição dos eixos estudados para a estrutura ambiental de contenção – Ano 18**

A partir da definição dos eixos, foram desenvolvidos novos estudos preliminares de ruptura para a definição das cotas máximas de rejeito oriundas de cenários de rompimento hipotético da Barragem 1, na sua condição inicial e final e conseqüentemente pode-se definir a localização e altura da EAC projetada.

Para o desenvolvimento dos estudos de ruptura hipotética para a definição das cotas máximas a serem atingidas pelo rejeito mobilizado da Barragem 1, foram consideradas as mesmas premissas dos estudos de ruptura da Barragem 1, desenvolvido pela WALM em 2018, conforme o documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-15-03, para a Barragem 1 na sua configuração inicial e final, respectivamente.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>36/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

Para o estudo foi considerada a implantação de um maciço de altura infinita nos eixos 1 e 2, de modo a verificar a sobrelevação máxima do rejeito para a contenção do material mobilizado em relação aos cenários da barragem inicial e final.

Cabe ressaltar que, para os estudos realizados para a eventual ruptura da Barragem de rejeitos 1 (inicial e final), um dos pontos verificado, foi a sobrelevação do rejeito na região da cava. Como a cava intercepta o córrego Mundo Novo, onde a Barragem 2 deverá ser implantada, uma sobrelevação superior a EL. 780,00 m, poderia atingir a estrutura, podendo levar a uma ruptura em cascata. Deste modo o estudo limitou-se a níveis na cava inferiores a EL. 775,00 m, conta referente à transposição da cava para o córrego mundo novo.

Ainda em referência aos estudos realizados em 2018, para a propagação de cheias de ruptura (tempo x espaço) e consequente 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. Assim, esse *software* foi 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..

Para o Eixo 1, considerando o cenário relacionado à Barragem 1 – Inicial e Cava no Ano 7, a cota máxima atingida pelo rejeito foi referente à elevação 711,32 m, sendo que a cava foi responsável por reter cerca de 6,20 Mm<sup>3</sup>. Já no cenário considerando a Barragem 1 – Final, a altura máxima alcançada pelo rejeito foi referente à cota 727,80 m, em que 136,40 Mm<sup>3</sup> ficariam armazenados na cava.

Em ambos os cenários, a cota máxima encontrada representou a contenção total do rejeito, de forma a impedir que ele atinja a Barragem do Rio Vacaria e haja o rompimento em cascata. A Figura 7.8 apresenta os resultados obtidos referentes ao Eixo 1.

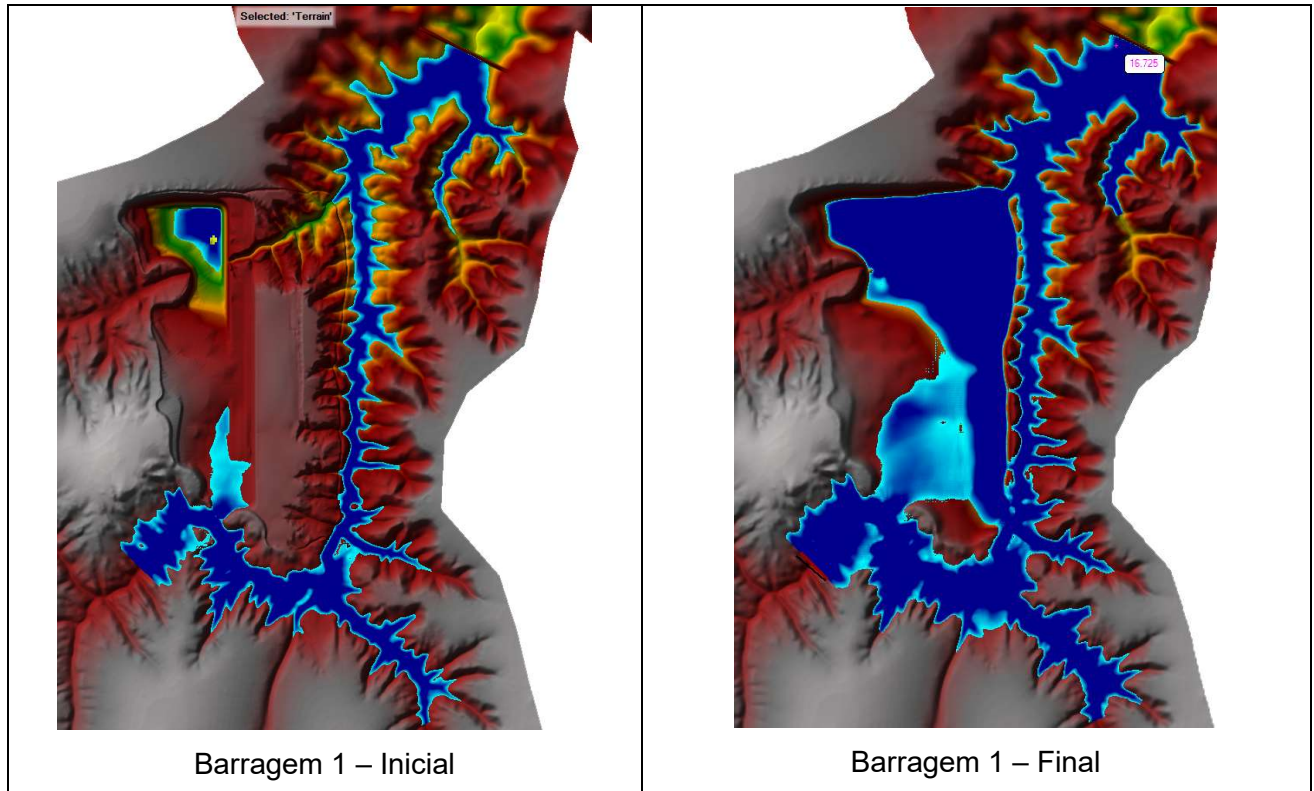
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**37/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

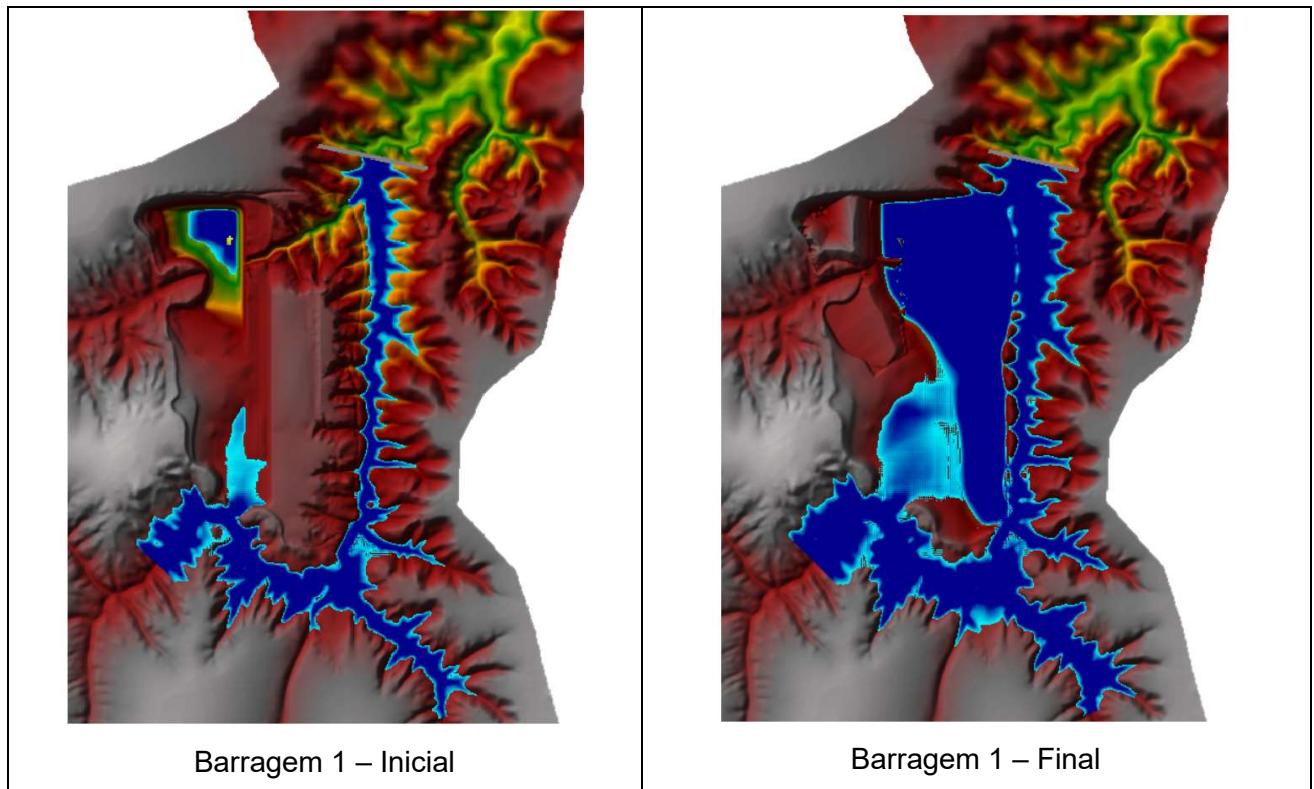
Revisão  
02



**Figura 7.8 – Mancha obtida nos estudos preliminares de ruptura hipotética da Barragem 1 para o Eixo 1**

Para os estudos de ruptura hipotética relacionados ao Eixo 2, considerando a Barragem Inicial, foi verificado que a cota máxima da contenção do rejeito mobilizado é referente à elevação 722,70 m e para o cenário da Barragem na sua configuração final, a cota máxima atingida é referente a elevação 743,9 m. A Figura 7.9 apresenta a visão geral da mancha de ruptura para aos estudos realizados para o Eixo 2.

Assim como observado nos estudos relacionados ao Eixo 1, todo o material seria contido no reservatório da estrutura de contenção localizada no Eixo 2.



**Figura 7.9 – Mancha obtida nos estudos preliminares de ruptura hipotética da Barragem 1 para o Eixo 2**

Comparando os dois cenários estudados, verifica-se que os Eixos 1 e 2 estudados para o projeto atendem a condição de retenção total dos materiais mobilizados por uma eventual ruptura da Barragem 1. Para ambos os cenários, o colapso da estrutura na sua condição final, levaria as maiores elevações do rejeito, associados à configuração da cava (Ano 18), sendo que a diferença entre as elevações das estruturas seria da ordem de 16,10 m entre os resultados obtidos para o Eixo 1 e para o Eixo 2.

Em relação a área impactada, o Eixo 1 apresenta maior impacto no córrego Lamarão, englobando ainda áreas não estudadas pela SAM para os estudos de EIA/RIMA. Além disto, o reservatório do Eixo 1 apresentaria uma maior zona de benfeitorias atingidas, sendo uma desvantagem em relação ao Eixo 2.

Portanto, a fim de reduzir o impacto ambiental e o número de benfeitorias atingidas em relação a mancha de ruptura, foi considerado para os estudos a utilização do Eixo 2.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>39/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

### **7.1.5 Definição da cota mínima para a geometria da Estrutura Ambiental de Contenção**

Nos estudos de ruptura preliminares elaborados pela WALM em 2019, a cota máxima dos rejeitos para o volume mobilizado na Barragem 1, no cenário mais crítico (barragem final), implicou na elevação máxima do reservatório até a EL. 743,90 m, tendo sido admitida a cota da soleira do sistema extravasor da EAC na EL.745,00m, e a cota da crista na EL. 750,00m.

Na atualização dos estudos desenvolvidos pela WALM em 2021, a cota da Estrutura Ambiental de Contenção foi definida com base na revisão dos estudos de ruptura hipotética da Barragem 1, visando o atendimento das diretrizes preconizadas pela ANM n° 32/2020 e na identificação do cenário de maior dano, conforme descrito nos itens 7.1.6.

De acordo com os resultados obtidos na revisão do Dam Break da Barragem 1 mostrados no item 7.1.7, considerando o volume total mobilizado na Barragem 1, para o cenário mais crítico (barragem final), a onda de ruptura atingiu a EL. 775,38 m. Assim, admitiu-se a elevação da soleira do sistema extravasor da EAC na EL. 776,00 m.

Considerando a cota da soleira na EL. 776,00 m, foi realizada a verificação do sistema extravasor da estrutura, baseado nos critérios da NBR 13.028 (ABNT, 2017). Com base nos estudos iniciais, foi considerado um pré-dimensionamento desta estrutura, levando a uma sobrelevação de aproximadamente 1,93 m, correspondente a El. 777,93m. De maneira a garantir uma borda livre de, pelo menos 1,0 m, adotou-se a cota da crista na El. 779,00m.

### **7.1.6 Revisão do Estudo de Ruptura Hipotética da Barragem 1**

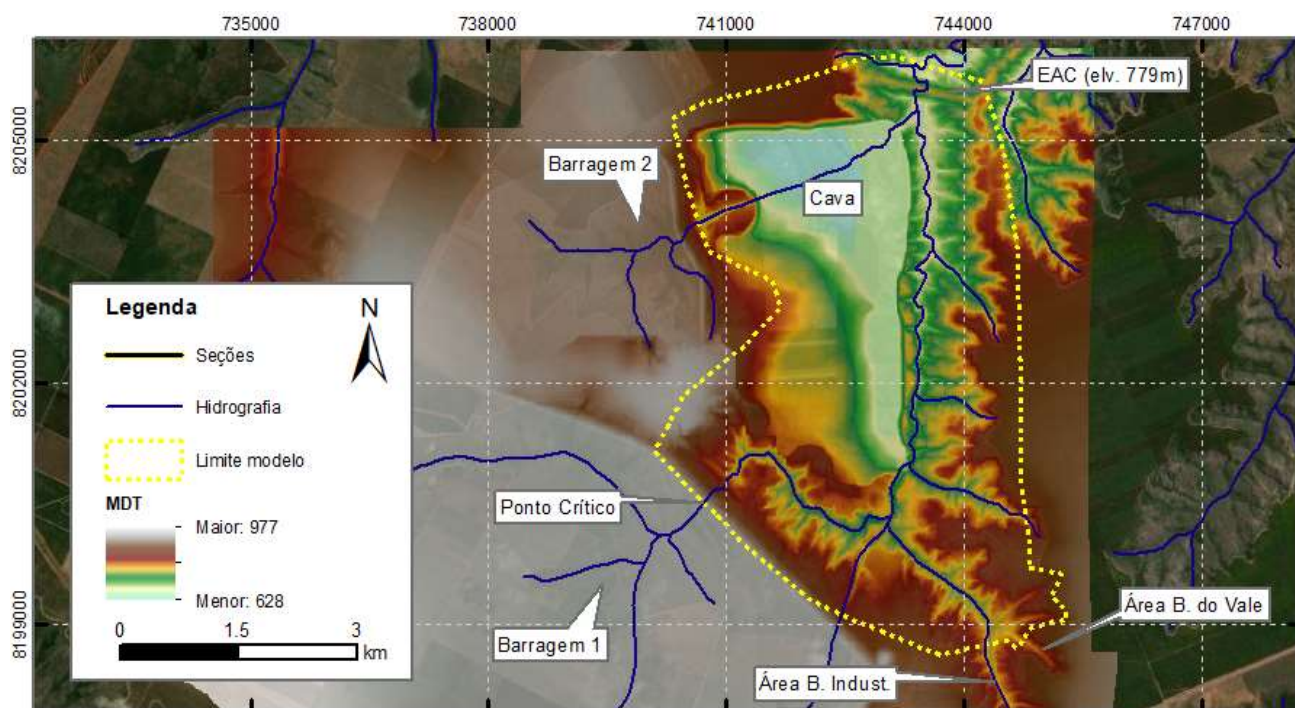
A partir dos estudos de ruptura preliminares elaborados pela WALM em 2018 e apresentados no item 7.1.4 o Eixo 2 de locação da Estrutura Ambiental de Contenção foi aquele que se mostrou como a melhor escolha para os estudos, levando-se em consideração os critérios ambientais e sociais.

Desta maneira, na revisão dos estudos de ruptura hipotética da Barragem 1 visando o atendimento das diretrizes preconizadas pela ANM n° 32/2020, foi considerada a EAC no Eixo 2.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>40/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

Desta maneira, na revisão dos estudos de ruptura hipotética da Barragem 1, realizada em 2021, visando o atendimento das diretrizes preconizadas pela ANM nº 32/2020, foi considerada a EAC no Eixo 2.

A revisão citada foi realizada considerando o cenário mais crítico obtido a partir dos estudos apresentados no relatório “MINA\_BLC8007-1010-G-RE-36”. Neste documento, procurou-se avaliar o cenário crítico de ruptura hipotética da Barragem 1 em termos temporais e locais e chegou-se à conclusão que tal cenário se daria no ano 18 de operação e com ponto de ruptura localizado na porção do barramento principal de maior altura. Adicionalmente, foi verificado o mecanismo de ruptura potencialmente mais danoso para o vale a jusante, dentre os mais prováveis de ocorrência, sendo admitido o modo de falha por galgamento. A Figura 7.10 ilustra a configuração topográfica para o cenário determinado e a localização do ponto inicial de ruptura.



**Figura 7.10 – Ponto crítico de ruptura.**

O volume de rejeito mobilizado foi calculado a partir da construção de cunha elíptica partindo da elevação da fundação no respectivo ponto e seguindo uma declividade considerada para o ângulo de repouso dos rejeitos. Ressalta-se que, uma vez que não estão disponíveis estudos reológicos para melhor embasar a definição do ângulo de repouso, assumiu-se o valor conservador de 1%. Nos



		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>41/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

termos descritos, as cotas de fundo consideradas foi 795,0 m e o volume de rejeito mobilizado foi de 544.223.821,52 m<sup>3</sup>.

Os estudos preliminares indicaram também que para o cenário crítico a onda de ruptura atingiria a fundação das barragens de água Industrial e barragem de água Córrego do Vale. Diante desse fato, considerou-se também a mobilização integral dos maciços e volumes de água contidos nos reservatórios das referidas estruturas, correspondendo à um total de 21.941.297 m<sup>3</sup> para a Barragem Industrial e 2.286.495 m<sup>3</sup> para a Barragem do Vale.

A partir da definição do volume e considerando-se as características geotécnicas dos materiais componentes do barramento da Barragem 1 no ponto de ruptura, foi construído modelo de erodibilidade do maciço, tendo como gatilho o processo de galgamento. Dessa forma, foi gerado um hidrograma de ruptura hipotética.

Por fim, utilizou-se o modelo hidráulico bidimensional RiverFlow2D, para simular a propagação dos hidrogramas de ruptura, considerando a concentração volumétrica (cv) da mistura da massa de rejeitos mobilizada, água livre e barramento e sua variação ao longo do evento simulado, sendo, portanto, considerada a condição de escoamento não-newtoniano.

Devido à atuação da Estrutura Ambiental de Contenção todo o volume mobilizado ficou retido a montante da mesma. Assim, o modelo restringiu-se aos limites da ADA do futuro empreendimento. Os resultados obtidos mostram que a onda de ruptura inicialmente alcança a EAC com aproximadamente 18 min, atingindo a elevação máxima de 775,38 m, nesse caso em cerca de 1 h e 3 min após o início do evento de ruptura.

Além dos mapas contendo as manchas de inundação máxima, são apresentados resultados que representam os parâmetros de velocidade e profundidade da inundação, bem como o tempo de chegada da frente de onda, tempo para máxima profundidade e risco hidrodinâmico. Assim, é possível atender aos requisitos definidos para a quantificação dos riscos. Os resultados obtidos mostram que a mancha de inundação não intercepta nenhuma edificação da área industrial, porém, atinge as áreas espeleológicas de interesse ambiental, que se localizam no entorno da cava. Assim, nos termos definidos pela Portaria da ANM nº32/2020, considera-se que a Barragem 1 apresenta Dano Potencial Associado (DPA) alto.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>42/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

Tendo em vista os resultados e os critérios definidos nos termos da portaria do DNPM nº 70.389/2017, e, tendo em vista que a EAC se encontra à uma distância inferior a 10 km do barramento no ponto de ruptura, definiu-se como Zona de Autossalvamento (ZAS) toda a área atingida.

## 8.0 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO - EAC

Para a concepção da Estrutura Ambiental de Contenção - EAC, foi considerada a disponibilidade dos materiais na área do Projeto Bloco 8, constituído por solos de matriz argilosa, argilo-siltosa e/ou silto-argilosa oriunda de frentes de abertura de lavra e de material rochoso obtido da cava e/ou de áreas de empréstimo no entorno, tais como, Barragem Rio Vacaria e jazidas de empréstimo para agregados de concreto.

Com base nos materiais disponibilizadas, o maciço da EAC será constituído em seção mista, com taludes de montante e jusante em enrocamento e núcleo impermeável em solo compactado considerando material de matriz argilosa. Para a concepção desta estrutura, foi considerada a seguinte geometria

- Crista na EL. 779,00 m e largura de 10,00 m;
- Taludes em bloco de rocha de montante e jusante com inclinação de 2,00H : 1,00 V (26°);
- Largura mínima da crista em solo argiloso de 6,00 m (para propiciar a compactação em todas as camadas);
- Taludes em solo de matriz argiloso com inclinação e 1,00H : 1,00 V (45°);

Para atendimento as condições de compatibilização entre os materiais do núcleo e da face externa, foi proposto a utilização de transição geotécnica formada por areia, brita 0, brita 3 e pedra de mão.

Por se tratar de uma estrutura concebida com o intuito de conter a ruptura hipotética da Barragem 1, a mesma não deverá apresentar formação de reservatório permanente a montante do maciço. Como a EAC irá propiciar o barramento do curso d'água do córrego Lamarão, a estrutura deverá apresentar dispositivo de drenagem para a transposição do fluxo natural. Além disto, para atendimento ao cenário de um eventual rompimento, onde a mesma torna-se uma estrutura operacional do

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>43/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

empreendimento, a EAC deve apresentar sistema extravasor para evitar o possível rompimento da mesma.

Com base na definição do eixo e das geometrias propostas, da base topográfica disponibilizada pela SAM para o desenvolvimento do presente trabalho e dos estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, são apresentadas a geometria final da EAC, conforme item 8.1 a 8.5.

Cabe destacar que o arranjo geral das estruturas constituintes da EAC é apresentado no documento MINA\_BLC8007-1010-O-0130 do APÊNDICE A – DESENHOS.

## 8.1 MACIÇO

O presente item apresenta as principais características da Estrutura Ambiental de Contenção do Projeto Bloco 8, cujo objetivo é a contenção da possível cheia gerada pela ruptura hipotética da Barragem 1. Esta estrutura de contenção abrange uma área de 308.761,21 m<sup>2</sup> e se localiza dentro da ADA. A ficha técnica a seguir (Tabela 8.1) apresenta as características desta estrutura, assim como o arranjo geral e a seção típica.

**Tabela 8.1 – Ficha técnica da Estrutura de Contenção.**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
PARÂMETROS GEOMÉTRICOS	DADOS
Elevação Crista (m)	779,00
Altura Máxima (m)	94,00
Largura de Crista (m)	10,00
Comprimento de Crista (m)	1.336,70
Taludes de Jusante e de Montante (H:V)	2,000:1,00
Área de Maciço (m <sup>2</sup> )	308.761,21
Volume total Maciço (m <sup>3</sup> )	8.425.320,84
Volume de enrocamento (m <sup>3</sup> )	4.401.006,68
Volume de solo argiloso (m <sup>3</sup> )	3.649.029,94
Volume da transição (m <sup>3</sup> ) – Areia, brita 0, brita 3 e pedra-de-mão	237.247,25
Volume de areia (m <sup>3</sup> )	49.702,01
Volume de brita 0 (m <sup>3</sup> )	47.780,66
Volume de brita 3 (m <sup>3</sup> )	51.870,84
Volume de pedra-de-mão (m <sup>3</sup> )	87.893,74
Cota do nível d'água operacional (m) – Soleira do Extravasor	776,00
Capacidade do Reservatório (m <sup>3</sup> ) – Até a Soleira EL. 776,00 m	172.811.376,86
Volume Total do Reservatório (m <sup>3</sup> ) – Até a Crista EL. 779,00 m	190.398.965,44

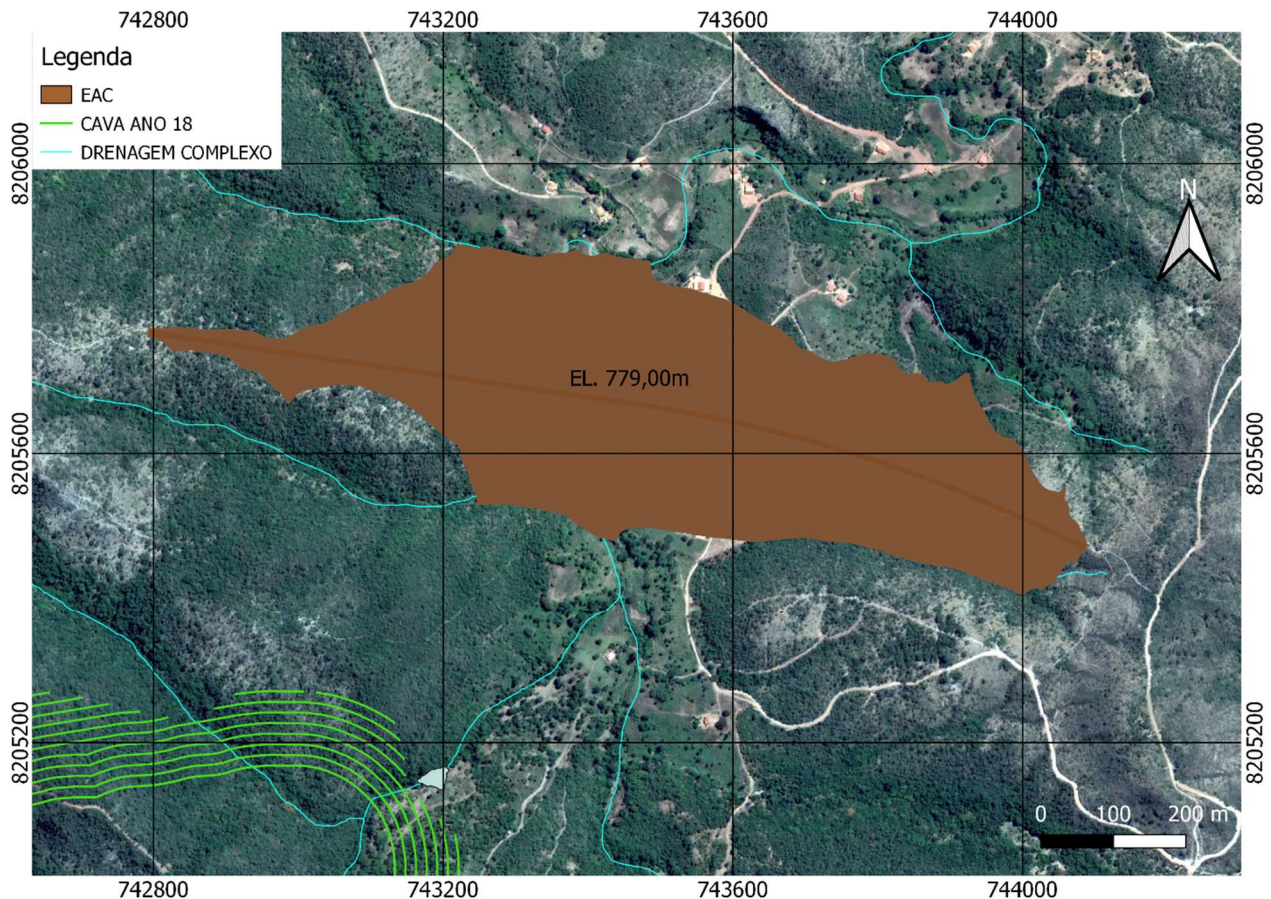
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**44/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 8.1 – Arranjo da Estrutura de Contenção do Projeto Bloco 8.**

A estrutura de contenção será construída de modo contínuo ao longo dos anos de operação, com materiais oriundos das frentes de lavra da cava e/ou de jazidas de empréstimo da região. Como a Barragem 1 na configuração do seu maciço inicial será constituída por maciço em solo compactado (construído em etapa única), e deverá apresentar baixo volume de armazenamento no primeiro ano de atividade (18,95 Mm<sup>3</sup> no final do Ano 3), a execução do maciço da EAC foi prevista até a EL.725,00m, executado entre os anos 2 e 3 de operação, sendo o seu alteamento de forma progressiva, à medida da evolução da construção da Barragem 1. Recomenda-se, entretanto, que essa estrutura esteja concluída até o final do Ano 07 de operação, quando dará início ao alteamento da Barragem 1 considerando a utilização do rejeito grosso como material de construção (alteamentos sucessivos).

As principais características geométricas do maciço em sua configuração final são: crista na El. 779,00 m, com 10,00 m de largura e 1.336,70 m de comprimento; altura máxima de 94,00 m;

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**45/104**

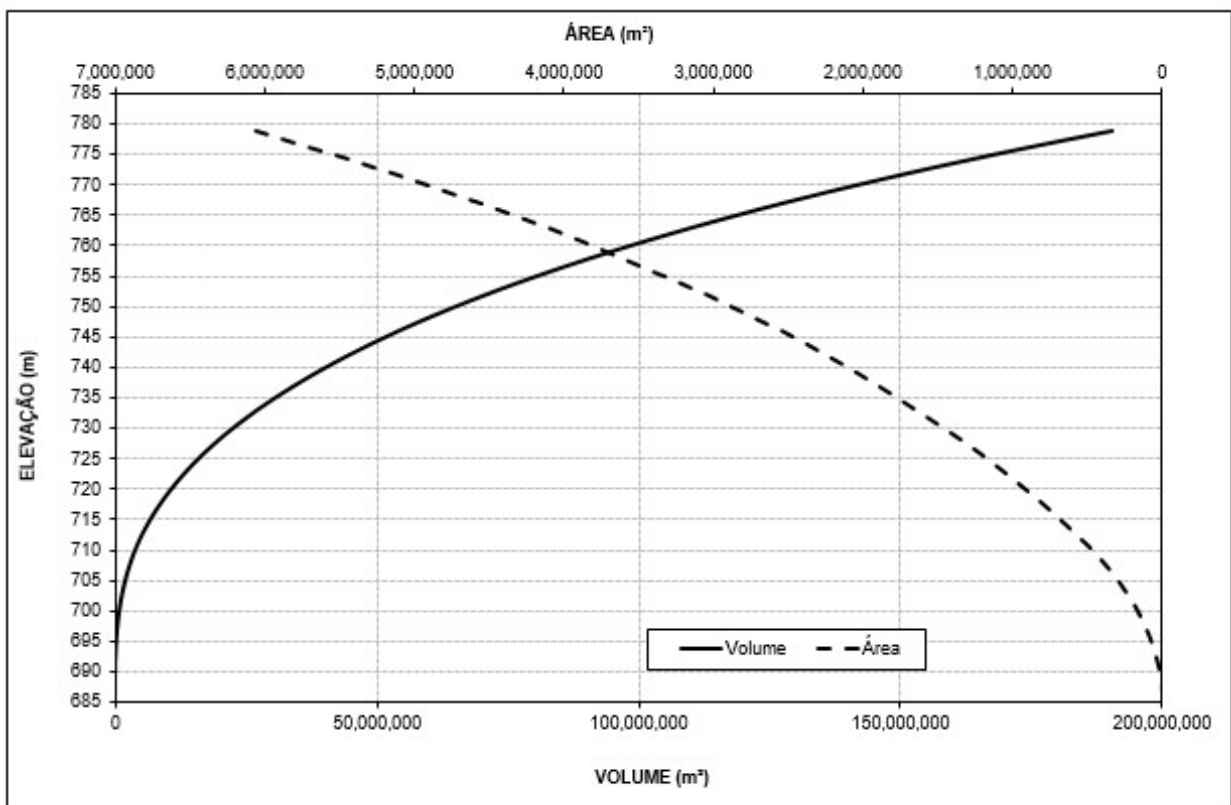
WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

inclinação do talude de jusante e montante de 1V:2H sem bermas. Para o material em matriz argilosa, foi considerado crista na EL. 778,00 m com largura de 4,00 m e taludes com inclinação de 1V:1H, de modo a receber as transições entre a matriz solo/enrocamento.

Para evitar o carreamento de partículas que resultariam em processos erosivos do núcleo argiloso, foi considerada a adoção de transições geotécnicas no contato solo/enrocamento. Para tanto, estas serão compostas por areia, brita 0, brita 3 e pedra de mão, respectivamente.

A Figura 8.2 apresenta a curva cota x área x volume do reservatório da Estrutura Ambiental de Contenção.



**Figura 8.2 – Arranjo da Estrutura de Contenção do Projeto Bloco 8.**

Para mais detalhes em relação a EAC ver o documento MINA\_BLC8007-1010-O-0131 do APÊNDICE A – DESENHOS.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>46/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

## 8.2 SISTEMA DE DESVIO DO CÓRREGO LAMARÃO – TÚNEL DE RESTITUIÇÃO

Como a Estrutura Ambiental de Contenção tem o caráter de impedir um possível impacto gerado pela cheia advinda de uma ruptura hipotética da Barragem 1, seu reservatório deve apresentar volume disponível para amortecimento, permitindo a passagem contínua do fluxo do córrego Lamarão, com a inexistência de um reservatório a montante. Para tanto, foi prevista a implantação de um sistema de desvio na região, visando garantir a permanência da vazão do curso do Lamarão.

O sistema de desvio foi concebido considerando a utilização de um túnel sob o maciço da EAC, constituído com seção composta por uma parte retangular (inferior) e outra semicircular (superior), cujas dimensões são de 6,00 m (largura) x 3,00 m (altura) e raio do semicírculo de 3,00 m, respectivamente.

O túnel foi dimensionado seguindo o conceito utilizado em barragens para controle de cheias, ou seja, elas devem manter o reservatório vazio, em estado de espera, para cheias recorrentes e amortecer eventos pluviométricos extremos (períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos), com tempo de esvaziamento do reservatório menor que um dia, atendendo os critérios do DNOS usualmente adotados em barragens de contenção de cheias no Brasil.

Por se tratar de um estudo em nível conceitual, onde não foram desenvolvidos os modelos geomecânicos e geológicos-geotécnico para a região, optou-se pela utilização de túnel com revestimento em concreto, sendo adotado uma espessura preliminar de 0,50 m para as paredes. A seção de emboque foi concebida com a soleira situada na EL. 686,00m e desemboque na El. 680,00m, perfazendo uma extensão total de 699,00 m e declividade longitudinal de 0,85%. A jusante desta estrutura foi prevista uma comporta que deverá ser programada para fechar automaticamente em caso de uma eventual ruptura da Barragem 1, impedindo o fluxo de rejeito.

A Figura 8.3 apresenta o estudo realizado para o túnel a ser implantado na ombreira direita da Estrutura Ambiental de Contenção.

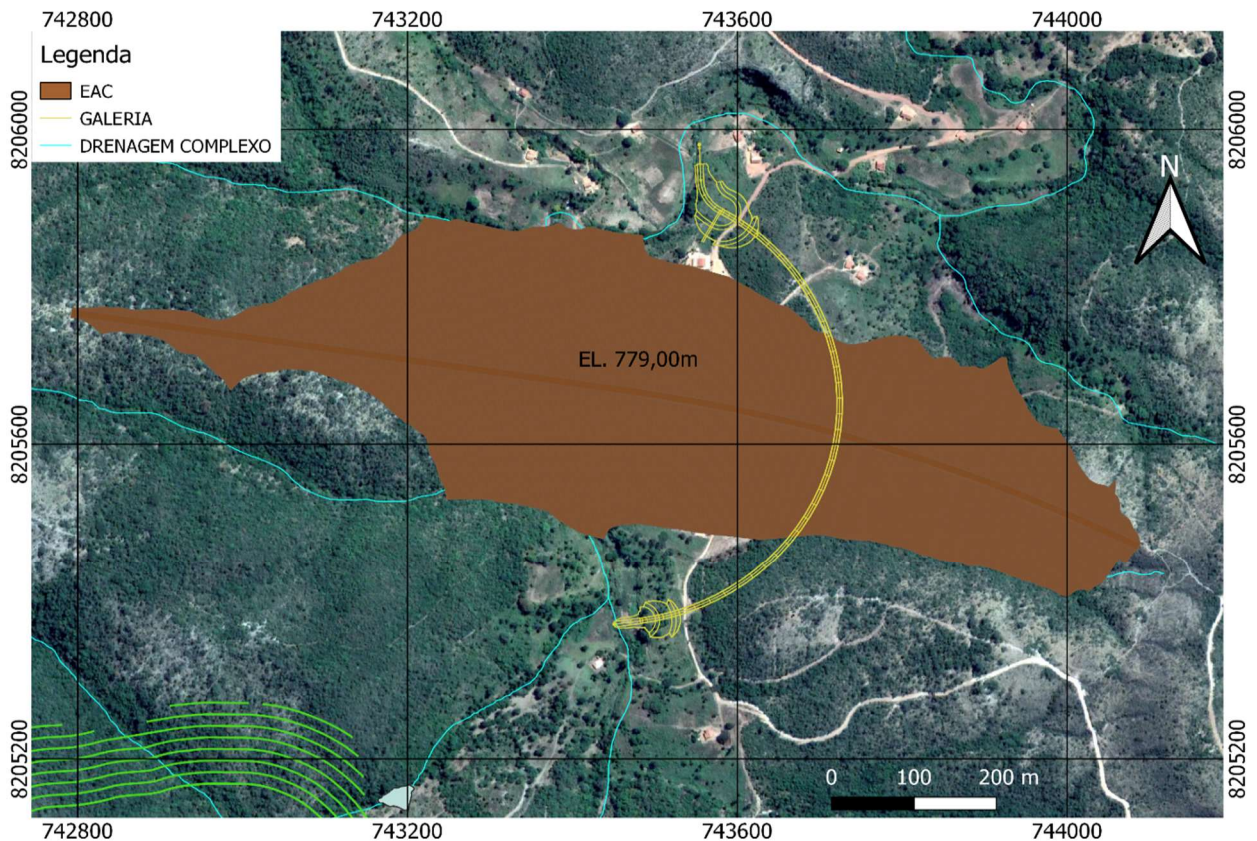
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**47/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 8.3 – Arranjo Geral da EAC e a posição do túnel.**

Para o túnel de restituição ver documento MINA\_BLC8007-1010-O-0132 do APÊNDICE A – DESENHOS.

### 8.3 SISTEMA EXTRAVASOR

No cenário de rompimento da Barragem 1, as comportas do túnel de desvio deverão ser fechadas para não permitir a passagem do rejeito para jusante da estrutura. Este cenário se caracteriza pela formação de um novo reservatório e, conseqüentemente, necessita de um sistema extravasor de forma a conduzir ordenadamente as vazões defluentes do reservatório até o talvegue natural, garantindo a segurança hidráulica do maciço. Para atendimento ao cenário de trânsito de cheias, foi considerado as diretrizes da NBR 13.028 (ABNT, 2017), que definem um período de retorno para a definição da passagem de cheias na estrutura.

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**48/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

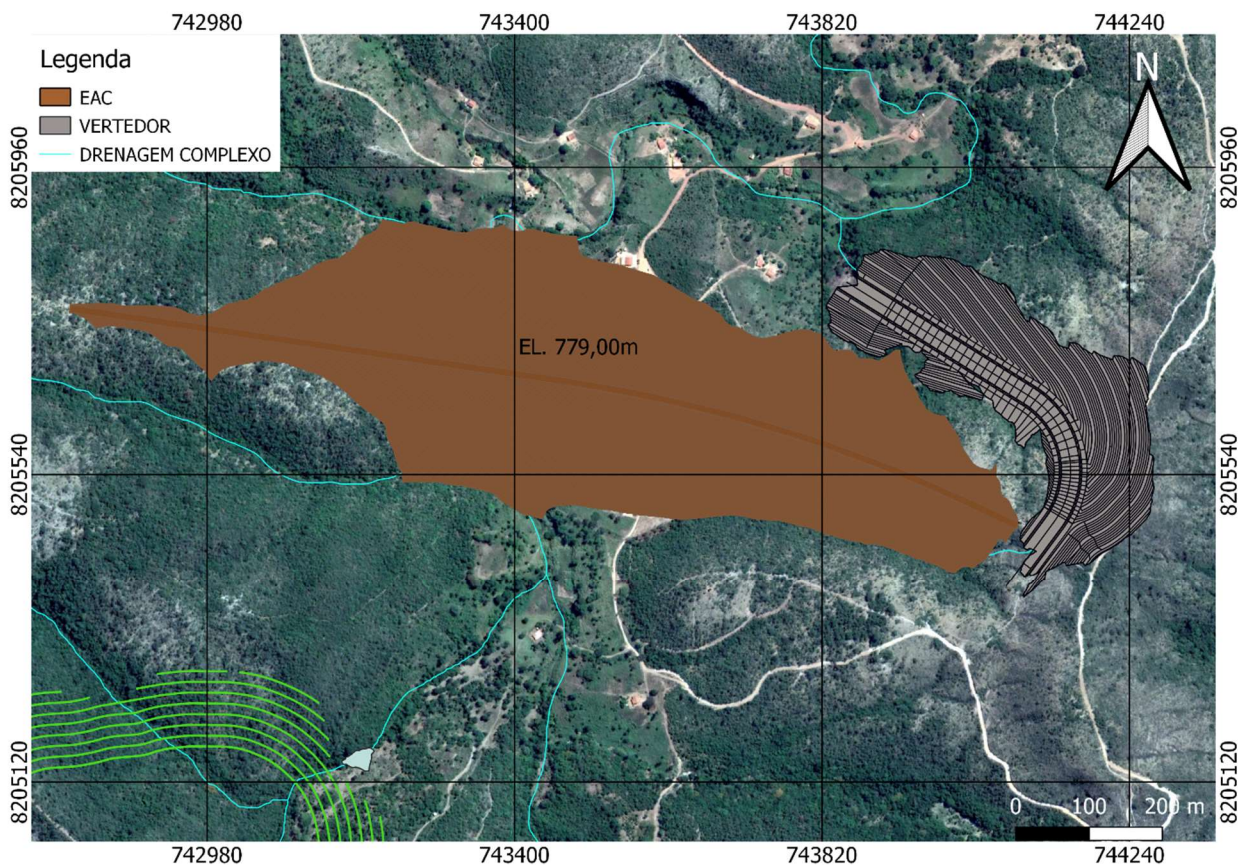
Revisão  
02

Baseado nos estudos de ruptura hipotética e nos critérios da NBR 13.028 (ABNT, 2017), foi considerado a adoção de período de retorno de 10.000 anos para o extravasor da EAC. Os estudos hidráulicos demonstraram que para atendimento a este cenário o mesmo deve apresentar a seguinte dimensão:

Esse sistema foi concebido na ombreira direita do maciço e é composto por vertedor em concreto armado de seção trapezoidal com as seguintes características:

- Taludes Laterais: 1V:1H
- Dimensões: 25,00 m de largura (base menor) x 3,00 m de altura;
- Cota da soleira: 776,00 m.

A Figura 8.4 apresenta o sistema extravasor da EAC do Projeto Bloco 8.



**Figura 8.4 – Vertedor da Estrutura Ambiental de Contenção.**



		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>49/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

Para o sistema extravasor da EAC ver documento MINA\_BLC8007-1010-O-0133 do APÊNDICE A – DESENHOS.

#### 8.4 DIQUE AUXILIAR DE PROTEÇÃO DA CAVA

Em uma análise do trânsito de cheias com período de retorno de 10.000 anos, constatou-se que a sobrelevação máxima do túnel é de 9,64 m, alcançando a cota 695,64 m do córrego Lamarão à montante da EAC. Isso implicaria no surgimento de remanso no córrego que, por consequência, elevaria o nível d'água do córrego Mundo Novo (afluente do Lamarão), podendo implicar em retorno de água para o interior da cava. Este retorno pode ocasionar problemas em relação a drenagem a ser prevista para a cava.

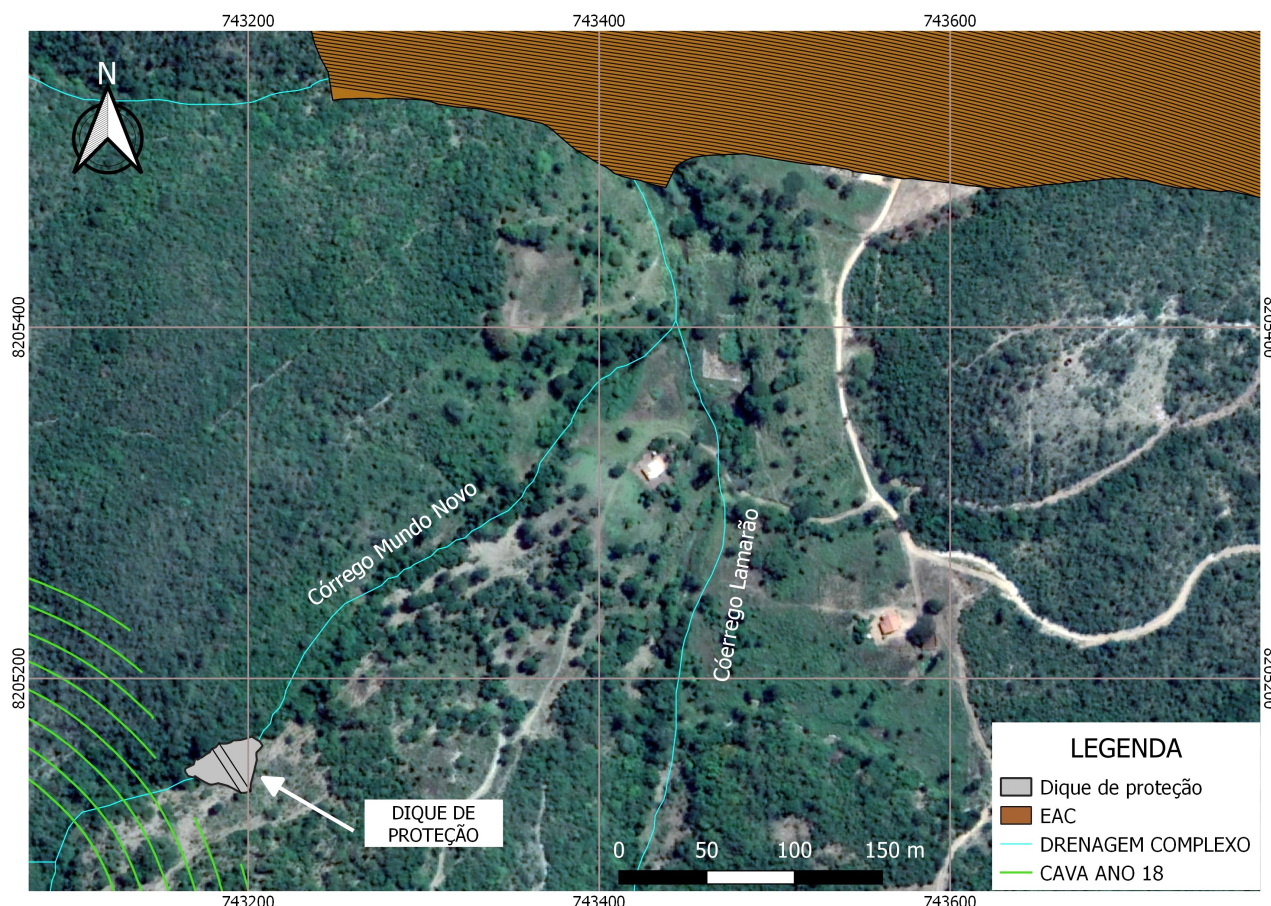
Desse modo, no intuito de evitar este problema, será necessária a construção de um dique de proteção próximo ao limite da cava do Projeto Bloco 8 no córrego Mundo Novo.

Para esta estrutura, foi considerado a utilização de solo compactado para a sua concepção, baseada na geometria apresentada a seguir:

- Crista na EL. 700,00 m e largura de 5,00 m;
- Talude de montante e jusante com inclinação de 2,00 H : 1,00V; e
- Maciço em solo compactado.

Baseado na topografia do empreendimento, foi proposto a implantação do eixo nas proximidades da cava, ao longo do trecho do córrego Mundo Novo, levando em consideração o arranjo geométrico da cava no Ano 18, conforme mostra a Figura 8.5.

Este dique servirá exclusivamente para impedir o remanso para a condição referente a chuvas com período de retorno de 10.000 anos, considerando os critérios do DNOS. As principais características do Dique de Proteção da Cava são apresentadas na Tabela 8.2.



**Figura 8.5 – Dique de proteção da Cava – Cenário do Ano 18.**

**Tabela 8.2 – Ficha técnica do dique de proteção da cava.**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS	DADOS
Elevação Crista (m)	700,00
Altura Máxima (m)	10,00
Largura de Crista (m)	5,00
Comprimento de Crista (m)	32,83
Taludes de Jusante e Montante (H:V)	2,00:1,00
Área de Maciço (m <sup>2</sup> )	911,04
Volume total Maciço em solo compactado (m <sup>3</sup> )	3103,06
Volume Escavação Fundação (m <sup>3</sup> )	415,69

Para o Dique Auxiliar da Cava ver documento MINA\_BLC8007-1010-O-0134 do APÊNDICE A – DESENHOS.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>51/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

## 8.5 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO

A EAC foi concebida para atender ao possível rompimento da Barragem 1 do Projeto Bloco 8, evitando a propagação da onda de ruptura ao longo do córrego Lamarão, Barragem do Rio Vacaria e demais cursos d'água a jusante, tais como o Rio Jequitinhonha e comunidades.

Nos estudos realizados em 2018, considerando o Plano de Disposição dos Rejeitos nas Barragens 1 e 2 do Projeto Bloco 8, o rejeito será disposto entre os anos 1 e 2, somente na Barragem 2. A partir do Ano 3, a Barragem 1 entrará em operação, para auxiliar a disposição simultânea nas Barragens 1 e 2 do empreendimento, considerando as proporções apresentadas nos estudos da Barragem 1, conforme item 7.2.4 do documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-31, onde o maciço inicial deverá atender o volume gerado no empreendimento até o final do Ano 7 de operação.

Desta forma, espera-se que a EAC entre em operação no início das atividades da Barragem 1 de modo a atender aos possíveis cenários de rompimento da estrutura. Como a Barragem 1 na configuração do seu maciço inicial será constituída por maciço em solo compactado (construído em etapa única), e deverá apresentar baixo volume de armazenamento no seu primeiro ano de atividade (18,95 Mm<sup>3</sup> no final do Ano 3), a construção do maciço da EAC foi prevista até a EL. 725,00 m, executada entre os anos 2 e 3 de operação, sendo o seu alteamento realizado de forma progressiva, à medida da evolução da construção da Barragem 1. Recomenda-se, entretanto, que essa estrutura esteja executada até a El. 750,00 m no final do Ano 4 e concluída até o final do Ano 07 de operação, quando dará início ao alteamento da Barragem 1 considerando a utilização do rejeito grosso como material de construção (alteamentos sucessivos).

Assim, para a verificação do seu sequenciamento e da disponibilidade de material para a sua utilização, foi avaliada a curva de geração do estéril do Projeto Bloco 8, baseado nos estudos elaborados para o *Backfill*, conforme apresenta o documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-33.

A Tabela 8.3 apresenta a geração anual do estéril para o Projeto Bloco 8, considerando os volumes a serem utilizados para a implantação das barragens de rejeito.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>52/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 8.3 – Volumes de geração de estéril para o Projeto Bloco 8.**

Volumes de Estéril para Construção (m <sup>3</sup> )						
Ano de Operação	Plano de Produção Estéril	Volumes Barragem 1 (m <sup>3</sup> )		Volumes Barragem 2 (m <sup>3</sup> )		Volume de Disposição em Backfill (m <sup>3</sup> )
	Volume de Estéril Gerado Anualmente (Empolamento de 30%) m <sup>3</sup>	Requerido (Arranjos)	Construção	Requerido (Arranjos)	Construção	
0	11.377.437,50			19.700.778,79	11.377.437,50	0
1	16.702.562,50		13.702.562,50		3.000.000,00	0
2	8.698.625,00	18.955.967,79	5.253.405,29		2.020.828,39	1.424.391,32
3	14.512.875,00			5.020.828,39		14.512.875,00
4	14.859.812,50					14.859.812,50
5	7.847.125,00					7.847.125,00
6	14.798.875,00					14.798.875,00
7	15.192.937,50				2.000.000,00	13.192.937,50
8	4.996.875,00				2.600.141,84	2.396.733,16
9	4.337.937,50			4.600.141,84		4.337.937,50
10	8.798.562,50					8.798.562,50
11	4.524.000,00					4.524.000,00
12	4.110.437,50					4.110.437,50
13	7.910.500,00					7.910.500,00
14	4.368.000,00					4.368.000,00
15	3.208.562,50					3.208.562,50
16	3.176.875,00					3.176.875,00
17	4.762.062,50					4.762.062,50
18	6.933.875,00					6.933.875,00
					<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>121.163.561,98</b>

Com base na Tabela 8.3, verifica-se que para o Ano 2, ainda se encontram disponíveis 1,42 Mm<sup>3</sup> de material, que poderão ser empregados para a EAC. Cabe destacar que o estéril do Projeto Bloco 8 é constituído preferencialmente por solos, onde segundo os estudos iniciais realizados, indicam que o material tem potencial para atendimento a construção de barramento, sendo inclusive, utilizados para a concepção dos maciços iniciais das Barragens 1 e 2. Deste modo, avaliando a demanda de fração solo para atendimento a construção da EAC, que segundo os estudos realizados necessita de volume de 3,65 Mm<sup>3</sup>, o volume disponível do Ano 2 poderia ser utilizado para a construção de parte da estrutura. Já no Ano 03, verifica-se que no balanço considerando a implantação das Barragens 1

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>53/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

e 2, estariam disponíveis 14,51Mm<sup>3</sup> de estéril (solo), em que poderiam ser empregados para completar a construção da EAC até a sua configuração final na EL.779,00 m.

Para a fração rochosa da EAC, o material poderá ser oriundo da fração rochosa da base das atividades da lavra, ou de outras áreas de empréstimo localizadas na área do empreendimento, jazidas de empréstimo na área da Barragem do Rio Vacaria ou das jazidas de agregados para concreto a ser utilizado no Projeto Bloco 8. Deste modo, os 4,41Mm<sup>3</sup> de enrocamento para a EAC deverão ser produzidos pela SAM, para garantir a implantação da estrutura entre os Anos 2 e 7 de operação do empreendimento.

Diante do exposto, tendo em vista a disponibilidade de material, a construção do maciço da EAC foi prevista até a EL. 725,00 m, executado entre os anos 2 e 3 de operação, sendo o seu alteamento realizado de forma progressiva, à medida da evolução da construção da Barragem 1, atingindo a sua disponibilidade total de volume de armazenamento, no final do Ano 07 de operação.

A Tabela 8.4 apresenta o cronograma macro de implantação do Projeto Bloco 8, considerando a introdução da EAC ao empreendimento. Já a Tabela 8.5 apresenta a revisão dos estudos volumétricos do estéril para o *Backfill*, considerando a utilização do estéril (fração solo) para atendimento a construção da EAC.



PROJETO CONCEITUAL  
 MINA  
 ENGENHARIA  
 REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
 ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**54/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão 02

Tabela 8.4 – Cronograma de Implantação do Projeto Bloco 8.

Estruturas	Implantação do Empreendimento			Operação do Projeto Bloco 8																		
	ANO -2	ANO -1	Pré-Produção	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	ANO 14	ANO 15	ANO 16	ANO 17	ANO 18	
Barragem do Rio Vacaria																						
Planta Industrial																						
Barragem do Vale																						
Barragem Industrial																						
Adutora (Irapé e/ou Vacaria)																						
Cava Projeto Bloco 8																						
Barragem 1																						
Estrutura Ambiental de Contenção																						
Barragem 2																						
Backfill																						
Pilha de Baixo Teor																						

Legenda:	
Construção	
Enchimento Natural	
Enchimento com aporte (Vacaria e/ou Irapé)	
Pré-Operação	
Operação	



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**55/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02**Tabela 8.5 – Volume de Estéril corrigido para o Backfill, considerando a implantação da EAC**

Volumes de Estéril para Construção (m³)									
Ano de Operação	Plano de Produção Estéril	Volumes Barragem 1 (m³)		Volumes Barragem 2 (m³)		Estrutura Ambiental de Controle (m³)			Volume de Disposição em Backfill (m³)
	Volume de Estéril Gerado Anualmente (Empolamento de 30%) m³	Requerido (Arranjos)	Construção	Requerido (Arranjos)	Construção	Requerido (Arranjos)	Construção	Elevação da Crista (m)	
0	11.377.437,50			19.700.778,79	11.377.437,50				0
1	16.702.562,50		13.702.562,50		3.000.000,00				0
2	8.698.625,00	18.955.967,79	5.253.405,29		2.020.828,39		700	707	0
3	14.512.875,00			5.020.828,39			1.000.000	725	12.288.236,38
4	14.859.812,50						1.000.000	750	14.859.812,50
5	7.847.125,00						400	760	7.847.125,00
6	14.798.875,00						400	770	14.798.875,00
7	15.192.937,50				2.000.000,00	3.649.029,94	149.029,94	779	13.192.937,50
8	4.996.875,00				2.600.141,84				2.396.733,16
9	4.337.937,50			4.600.141,84					4.337.937,50
10	8.798.562,50								8.798.562,50
11	4.524.000,00								4.524.000,00
12	4.110.437,50								4.110.437,50
13	7.910.500,00								7.910.500,00
14	4.368.000,00								4.368.000,00
15	3.208.562,50								3.208.562,50
16	3.176.875,00								3.176.875,00
17	4.762.062,50								4.762.062,50
18	6.933.875,00								6.933.875,00
					Total (m³)				117.514.532,04

## 9.0 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Neste item estão indicados os resultados provenientes dos estudos feitos, assim como o pré-dimensionamento geotécnico da Estrutura Ambiental de Contenção a jusante do complexo do Projeto Bloco 8.

É importante frisar que os resultados estão atrelados às premissas adotadas. Ao longo do desenvolvimento das demais etapas de projeto, as informações deverão ser atualizadas a partir de campanha de sondagens, ensaios de campo e laboratório para a área do projeto e deverão ser utilizadas para a validação dos estudos apresentados em nível conceitual.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>56/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

Os itens **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam as informações pertinentes ao tratamento de fundação e os estudos geotécnicos empregados para a estrutura.

## 9.1 TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

Para o projeto em nível conceitual, não houve mapeamento geológico-geotécnico e investigações geológico geotécnicas que subsidiasse a definição de materiais inconsolidados e/ou com baixa capacidade de suporte. Deste modo, optou-se por uma estimativa inicial de limpeza de fundação, sendo esta aferida nas demais etapas de projeto,

Ademais, foi considerada uma limpeza de 0,50 m em toda área da EAC com finalidade de remover materiais vegetais com presença de raízes e matéria orgânica e para regularização do terreno.

## 9.2 DIMENSIONAMENTOS GEOTÉCNICOS

### 9.2.1 Análises de percolação

Utilizou-se o Método dos Elementos Finitos (MEF) nas análises de percolação, sob a condição normal de operação. A modelagem foi feita no *software* Slide 2018 com o objetivo de avaliar a pressão e o fluxo através do maciço e da fundação da barragem, bem como as vazões percoladas a fim de verificar o comportamento da superfície freática em uma eventual utilização da EAC como barragem (colapso da Barragem 1), de modo a validar a estabilidade geotécnica para a estrutura.

Para isso, as premissas adotadas para a elaboração dos modelos foram:

- Isotropia de permeabilidade para a fundação ( $k_h = k_v$ );
- Condição normal de operação do sistema corresponde ao nível d'água máximo normal obtido do estudo de *Dam Break*;
- Condição crítica de operação do sistema na elevação do  $NA_{\text{máx. maximum}}$  durante o período de trânsito de cheias;



		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>57/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

- Parâmetros geotécnicos e hidráulicos dos materiais de fundação definidos a partir de dados de literatura, conforme apresentado em CRUZ (2004); e
- Parâmetros hidráulicos dos rejeitos definidos a partir da granulometria dos rejeitos pela fórmula de Hazen.

A análise de percolação foi averiguada para a seção principal do maciço da EAC apresentada no documento MINA\_BLC8007-1010-O-0131 do APÊNDICE A – DESENHOS.

Os parâmetros de condutividade hidráulica adotados para as análises de percolação são apresentados na Tabela 9.1.

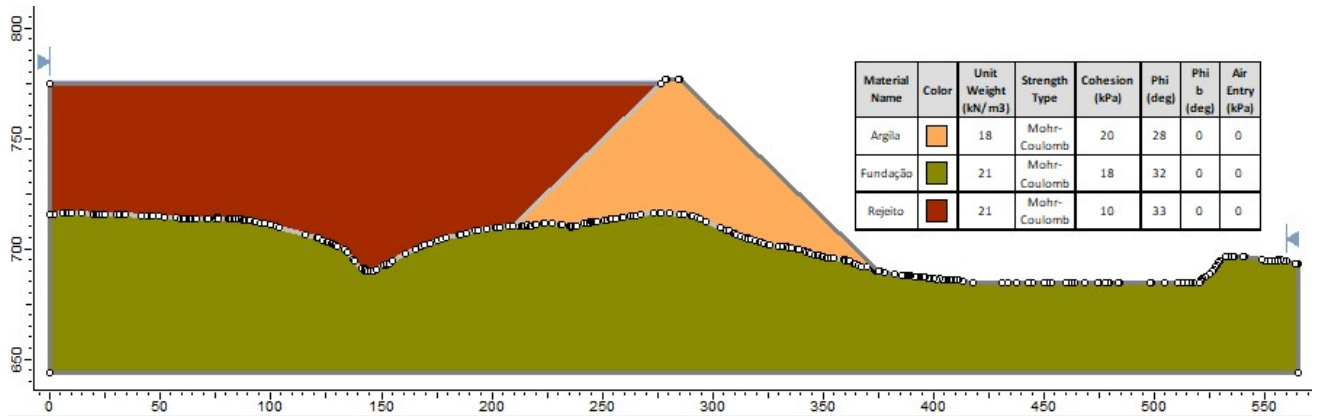
**Tabela 9.1 – Coeficientes de permeabilidade dos materiais.**

Material	Coeficiente de permeabilidade [m/s]	$k_v/k_h$
Fundação	$1,0 \times 10^{-7}$	1,00
Núcleo argiloso	$1,0 \times 10^{-8}$	1,00
Rejeito	$1,0 \times 10^{-6}$	0,25

Nota: Não foram definidos parâmetros de permeabilidade para o enrocamento e os materiais de transição conforme modelo adotado e apresentado na Figura 9.1.

Os modelos de análise de percolação, em geral, têm limitação para representar as transições de materiais com permeabilidade muito diferente entre si (diferenças da ordem de 100 vezes entre os coeficientes). Assim, como haveria uma perda de carga pouco significativa tanto na transição entre o reservatório e o talude de montante quanto no enrocamento a jusante, foi considerado que o nível d'água à montante da EAC permanece constante até contato com o núcleo argiloso. Ou seja, nível normal na cota de 776,00 m e nível máximo *maximorum* em 778,00 m (conforme os estudos hidrológicos).

A Figura 9.1 apresenta a seção em que as análises de percolação foram realizadas.



**Figura 9.1 – Seção para análise de percolação no núcleo argiloso da EAC.**

Os resultados da análise de percolação podem ser verificados no APENDICE B – ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO, tanto para o nível máximo normal (Figura B.1) quanto para o nível máximo *maximorum* (Figura B.2).

Fundamentado por esses resultados, foi estabelecida a linha freática para os estudos de análise de estabilidade dos taludes de jusante e de montante da Estrutura Ambiental de Contenção para as condições recomendadas pela NBR 13.028 (ABNT, 2017).

### **9.2.2 Análises de estabilidade**

Para Verificação da geometria proposta, foram realizadas análises de estabilidade utilizando o *software* Slide 8.0, por meio do método de equilíbrio limite de Spencer.

Os critérios de aceitação para as análises foram estabelecidos de acordo com a norma técnica NBR 13.028 (ABNT, 2017).

Quanto à determinação dos fatores de segurança, em termos de tensões efetivas, foram consideradas as seguintes premissas gerais:

- Materiais isotrópicos e homogêneos;
- Ruptura global do talude do tipo circular;
- Níveis freáticos, normal e crítico, obtidos pela análise de percolação;

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>59/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

- Para final de construção, foi considerado o fator de poropressão ( $r_u = u / \sigma_v$ ) igual a 0,15 para o solo compactado e  $r_u = 0,10$  para o solo de fundação.

Para simulação da superfície freática normal, foi considerada a perfeita transição do enrocamento e do núcleo argiloso. Para a análise da superfície crítica, o NA foi definido pelo trânsito de cheias para um período de retorno de 10.000 anos, quando maior nível do reservatório alcança o máximo maximorum.

Quanto aos parâmetros de resistência empregados, os valores foram estimados pela equipe da WALM com base em solos similares. Contudo, salienta-se que após a realização de ensaios de amostras dos materiais a serem utilizados, estas análises deverão ser refeitas com os dados atualizados.

A Tabela 9.2 resume os parâmetros de resistência dos materiais considerados.

**Tabela 9.2 – Parâmetros de resistência dos materiais.**

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Areia	18	0	32
Brita 0	20	0	36
Brita 3	22	0	36
Pedra de mão	20	0	36
Enrocamento*	25	Leps, T.M. (1970)	
Fundação	21	20	32
Núcleo Argiloso	18	20	28
Rejeito	21	10	33

Os parâmetros de resistência para o enrocamento foram baseados nos trabalhos publicados por Leps, T.M. (1970) em “*Review of Shearing Strength of Rock Fill. Proceedings of the ASCE, Journal of the Soil*”.

A curva considerada foi a classificada como “enrocamento de boa qualidade”:

**Tabela 9.3 – Dados de entrada para definição da envoltória de resistência do enrocamento .**

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>60/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

Tensão Normal	Tensão Cisalhante	tanφ
0	0	
14	22,4	1,6000
35	50	1,4286
70	92,9	1,3271
140	172,9	1,2350
350	388,7	1,1106
700	737,6	1,0537
1400	1352	0,9657
2500	2331,3	0,9325
3500	3096,5	0,8847
$\tau = \sigma n \times \tan\phi$		

A modelagem foi feita no *software* Slide 8.0 considerando a seção da estaca 9,0 + 0,00, conforme desenho MINA\_BLC8007-1010-O-111. O talude de jusante desta seção é o mais alto do projeto e finaliza na cota mais baixa do talvegue do córrego Lamarão, 685,00 m.

**Tabela 9.4 – Resultados das análises de estabilidade.**

Condição	Talude	FS Requerido	FS Obtido	Figura
Final de Construção	Jusante	1,30	1,485	Figura C.1
	Montante		1,494	Figura C.3
Condição operacional (reservatório vazio)	Jusante	1,50	1,517	Figura C.5
	Montante	1,50	1,616	Figura C.7
Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,501	Figura C.9
Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,493	Figura C.11

A partir dos fatores de segurança (FS) obtidos, verifica-se que a EAC atende critérios requeridos pela NBR 13.028 quanto à estabilidade física.

No APÊNDICE C – ANÁLISE DE ESTABILIDADE, são apresentadas as figuras com os resultados obtidos para as análises de estabilidade realizadas.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>61/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

### 9.2.3 Análise sísmica

O objetivo da análise de sismo (pseudo-estática) é simular, preliminarmente, o efeito dos impulsos gerados pelo sismo natural e do sismo desencadeado pelas detonações na cava do Projeto Bloco 8.

As análises para a estrutura EAC, por estar no interior da ADA e pela abrangência do sísmico, é similar aos estudos da Barragem 1 e Barragem 2 realizados pela WALM anteriormente, em 2018.

#### 9.2.3.1 Sismo natural

##### 9.2.3.1.1 Determinação do coeficiente sísmico

Para o estudo da estabilidade sísmica da EAC foi utilizado o Método Pseudo-Estático para avaliação da influência do sismo natural na estabilidade geotécnica da estrutura.

Esse método, também conhecido por Método do Coeficiente Sísmico, é uma extensão do Método das Lamelas, o qual se baseia na Teoria do Equilíbrio Limite. Trata-se de um método simplificado no qual o efeito sísmico é considerado por meio do acréscimo de força estática, cuja intensidade é obtida por meio do produto do peso  $W$  da massa de solo potencialmente instável por um coeficiente ( $k$ ) – denominado coeficiente sísmico.

Segundo Kramer (1996), as forças de inércia geradas pelo carregamento dinâmico devido ao sismo são dadas pela Equação 9.1 e pela Equação 9.2:

$$F_h = k_h x W \quad \text{Equação 9.1}$$

$$F_v = k_v x W \quad \text{Equação 9.2}$$

Em que  $F_h$  e  $F_v$  são as componentes horizontal e vertical da força de inércia gerada pelo carregamento dinâmico.

Nas análises de estabilidade pseudo-estáticas a componente vertical do esforço sísmico é desprezada nos cálculos, uma vez que não possui efeito significativo.

Dessa forma, consoante Kramer (1996) e Duncan & Wright (2005), a fórmula a ser utilizada para cálculos da força do sismo considerado pode ser obtida por meio da Equação 9.3:

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>62/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

$$F_h = k_h x W$$

Equação 9.3

O coeficiente sísmico é definido pela Equação 9.3.

$$k = \frac{a_{ref}}{g} \times \frac{a}{a_{ref}}$$

Equação 9.4

Em que:

$a_{ref}$  = aceleração de referência de pico;

$g$  = aceleração da gravidade;

$a/a_{ref}$  = multiplicador de aceleração.

A definição da aceleração de pico na área do Projeto Bloco 8 mereceu uma análise de sismicidade particular, na qual os dados de epicentros de diversos eventos foram avaliados até um raio máximo de 300 km em relação ao empreendimento.

As informações dos eventos foram obtidas por meio do relatório MINA\_BLC8007-1010-G-RE-34 e em três bibliografias, abaixo citadas:

- Livro “Sismicidade do Brasil” (Berrocal et al. 1984), para os eventos históricos e até 1981;
- “Boletim Sísmico Brasileiro” (descontínuo), publicado pela Revista Brasileira de Geofísica entre 1983 e 1997, para os sismos ocorridos entre 1982 e 1995;
- Intercâmbio técnico-científico entre os grupos de Sismologia do IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo), do OS/UnB (Observatório Sismológico da Universidade de Brasília), do ON-RJ (Observatório Nacional), da UFRN (Grupo de Geofísica) e do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.), para os sismos ocorridos após 1996.

Os estudos de sismo natural desenvolvidos pela WALM compreenderam a avaliação dos dados existentes e tratamento estatístico para eliminar dados não representativos dos eventos, de tal forma que houvesse uma análise uniformizada do fenômeno. Com os limites considerados nas análises realizadas, foram determinadas as estimativas de probabilidade de ocorrência de determinados níveis de aceleração no ponto central da área de interesse, oriundos de eventos locais e regionais.

Para os estudos, foi considerado a avaliação do Perigo Sísmico utilizando as metodologias veiculadas por Burton (1978) e Assumpção (1985). Com as seguintes hipóteses:

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>63/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

- A sismicidade ocorre em uma área grande e que o local de interesse esteja longe das bordas da área considerada;
- Considera-se para o cálculo das probabilidades de ocorrência de uma dada aceleração no local de interesse, a contribuição (em termos de probabilidade) da ocorrência de todas as magnitudes em qualquer ponto da área sísmica (hipótese de “sismicidade difusa”).

Para os estudos, foi considerado ainda, a atenuação de aceleração com a distância epicentral para estimar os níveis de aceleração para o empreendimento, sendo importante salientar que a Lei de Atenuação se refere às acelerações em nível do perfil rochoso.

Tendo em vista a vida útil do empreendimento considerada para o estudo de sismo de 50 anos, a avaliação do perigo sísmico apontou para níveis máximos de aceleração de pico na rocha são de 0,037 g, incluindo a incerteza da lei de atenuação com período de retorno de 965 anos ( $a_{\text{pico rocha}} = 0,037 \text{ g}$ ).

Para mais detalhes em relação ao estudo de sismo natural para a área do Projeto Bloco 8, consultar o documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-34 elaborado pela WALM.

Também se levou em consideração o Mapa Sismológico Brasileiro, que contém a distribuição das acelerações de pico em rocha com probabilidade de excedência de 10% em 50 anos, que corresponde a um período de recorrência de 475 anos (inferior ao tempo de retorno estimado nos estudos realizados pela WALM).

O Mapa de Ameaça Sísmica é apresentado na Figura 9.2, sendo o mais atualizado para o território brasileiro. Foi desenvolvido por Assumpção *et al.* (2006) e publicado no Boletim nº 96 da Sociedade Brasileira de Geofísica. Nesse mapa, a região do Projeto Bloco 8 se encontra na mancha referente a uma aceleração de 0,04 g ( $a_{\text{pico}} = 0,04 \text{ g}$ ).

Portanto, comparando os estudos realizados no documento MINA\_BLC8007-1010-G-RE-34-00 e o Mapa de Ameaça Sísmica (Figura 9.2), ratifica-se que os valores obtidos de aceleração de pico nos estudos realizados pela WALM ( $a_{\text{pico}} = 0,037 \text{ g}$ ) são extremamente próximos aos valores do Mapa de Ameaça Sísmica ( $a_{\text{pico}} = 0,04 \text{ g}$ ), mostrando a consistência desse dado para prosseguir com o estudo.

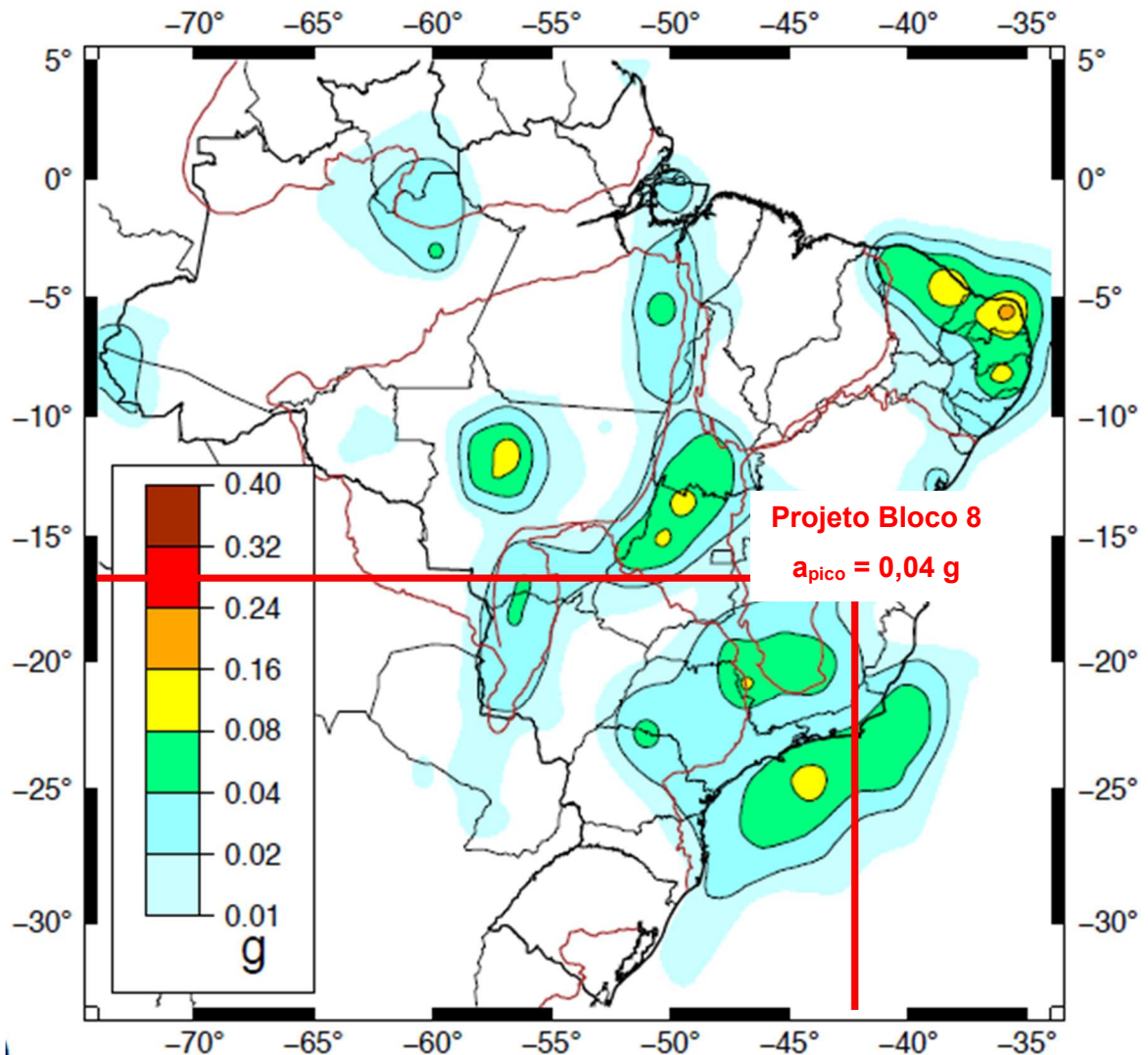
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**64/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 9.2 – Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro (Assumpção et al., 2016) – Acelerações de pico em rocha (PGArock). Probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos.**

A fim de determinar a sensibilidade dos efeitos causados pela aceleração de pico obtida para o empreendimento (0,037g), buscou-se correlações existentes em literatura, sendo que a Escala de MECALLI Modificada (MM) foi considerada a mais adequada neste contexto. Nela, os efeitos causados por sismos se correlacionam com a intensidade e aceleração de pico, conforme Tabela 9.5.



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>65/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 9.5 – Escala de Intensidade de MERCALLI Modificada (Assumpção & Dias Neto, 2000)**

Grau	Descrição dos Efeitos	Aceleração (g)
<b>I (imperceptível)</b>	Não sentido, exceto em condições extremamente favoráveis. Leves efeitos de período longo de terremotos grandes e distantes. Registrado ("sentido") apenas pelos sismógrafos.	-
<b>II (Muito Fraco)</b>	Sentido apenas por algumas pessoas, especialmente em prédios altos. Objetos leves podem balançar.	<0,003
<b>III (Fraco)</b>	Sentido por algumas pessoas em casa, especialmente em prédios altos. Alguns objetos pendurados oscilam. Vibração parecida com a da passagem de um caminhão leve. Duração estimada. Pode não ser reconhecido como um abalo sísmico.	0,003 a 0,008
<b>IV (Moderado)</b>	Sentido em casa por muitas pessoas, e na rua por poucas pessoas durante o dia. À noite algumas pessoas despertam. Pratos, janelas e portas vibram, e as paredes podem ranger. Os carros e motos parados balançam visivelmente. A vibração é semelhante à provocada pela passagem de veículos pesados ou à sensação de uma pancada de uma bola pesada nas paredes.	0,008 a 0,015
<b>V (Forte)</b>	<b>Sentido por praticamente todas as pessoas; muitos despertam. As pessoas conseguem identificar a direção do movimento. Líquido em recipiente é perturbado. Objetos pequenos e instáveis são deslocados. Portas oscilam, fecham, abrem. Os movimentos de pêndulos podem parar.</b>	<b>0,015 a 0,04</b>
<b>VI (Forte)</b>	Sentido por todas as pessoas; muitos se amedrontam e saem às ruas. Pessoas andam sem firmeza. Algumas mobílias pesadas podem se movimentar. Louças e alguns vidros de janelas são quebrados. Objetos e livros caem de prateleiras. Observação de danos moderados em estruturas civis de má qualidade. Pequenos sinos tocam em igrejas e escolas.	0,04 a 0,08
<b>VII (Muito Forte)</b>	Difícil manter-se me pé. Objetos suspensos vibram. Moveis quebram. Danos em construção de má qualidade, algumas trincas em construção normal. Queda de reboco, ladrilhos ou tijolos mal assentados e telhas. Ondas em piscinas. Pequenos escorregamentos em taludes arenosos.	0,08 a 0,15
<b>VIII (Muito Forte)</b>	Danos em construções normais com colapso parcial. Algum dano em construções reforçadas. Queda de estuque e alguns muros de alvenaria. Queda de chaminés, monumentos, torres e caixas d'água. Galhos de árvores são quebrados. Trincas são evidenciadas na superfície.	0,15 a 0,30
<b>IX (Muito Forte)</b>	Pânico Geral. Construções comuns bastante danificadas, às vezes com colapso total. Danos em construções reforçadas. Tubulações subterrâneas quebradas. Rachadura visível na superfície do solo.	0,30 a 0,60
<b>X (Catastrófico)</b>	Maioria das construções destruídas, inclusive fundações. Danos sérios a Barragens e Dique. Grandes escorregamentos de terra. Água jogada nas margens de rios e canais. Trilhos levemente distorcidos.	0,60 a 1,00
<b>XI (Catastrófico)</b>	Trilhos bastante distorcidos, Tubulações subterrâneas completamente destruídas.	1,00 a 2,00
<b>XII (Catastrófico)</b>	Destruição quase total. Grandes blocos de rocha deslocados. Linhas de visada e níveis alterados. Objetos atirados ao ar.	> 2,00

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>66/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

A partir da escala de MERCALLI Modificada, verifica-se que as acelerações de pico obtidas através do estudo realizado para o Projeto Bloco 8, bem como obtidas pelo mapa de ameaça sísmica, enquadram-se em Intensidades de **Grau V (Forte)**.

Para a definição do multiplicador de aceleração ( $\frac{a}{a_{ref}}$ ), a bibliografia consultada compila diversos métodos para realização de análises pseudo-estáticas na determinação de sismos.

A Tabela 9.6, apresentada em Duncan e Wright (2005), reúne os métodos que podem ser utilizados para realização destas análises.

**Tabela 9.6– Métodos de análises pseudo-estáticas (Duncan e Wright, 2005)**

Referência	Aceleração de Referência $a_{ref}$	Multiplicador de Aceleração $a/a_{ref}$	Fator de Redução de Resistência do Solo	Fator de Segurança Mínimo	Deslocamento Tolerável
Makdisi & Seed (1978)	0,2 g (M~6 ½)	0,5	0,8	1,15	Aprox. 1,0 m
Makdisi & Seed (1978)	0,75 g (M~8 ¼)	0,2	0,8	1,15	Aprox. 1,0 m
Hynes-Griffin & Franklin (1984)	PHA <sub>rock</sub>	0,5	0,8	1	1,0 m
Bray et. al (1998)	PHA <sub>rock</sub>	0,75	Recomendado o uso de forças conservadoras (por exemplo, residual)	1	0,30 m para a superfície de aterros; 0,15 m para a base de deslizamento de aterros
Kavazanjian et. al (1997)	PHA <sub>soil</sub>	0,17 se a análise de resposta é realizada 0,5 se a análise de resposta não é realizada	0,8 para argilas totalmente saturadas ou sensitivas	1	1

Tendo em vista todas as informações supracitadas e seguindo método de Hynes-Griffin & Franklin (1984) para a determinação do multiplicador de aceleração, os valores adotados para determinação do coeficiente sísmico natural para a EAC a partir da atividade sísmica “natural” no Brasil resultou em:

$$k = \frac{0,037g}{g} \times \frac{a}{a_{ref}}$$

$$k = 0,037 \times 0,5 = 0,0185$$

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>67/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

Fundamentado nesses estudos, portanto, utilizou-se o coeficiente sísmico de 0,0185. A análise de sismo desencadeado pela atividade sísmica do Brasil foi realizada através do software Slide 2018, desenvolvido pela *Rocscience*, onde os fatores de segurança apresentados na Tabela 9.7 e comparados com aqueles requeridos pela NBR 13.028.

**Tabela 9.7 – Resultados das análises de estabilidade com sismo atuante.**

Condição	Talude	FS Requerido	FS Obtido	Figura
Final de Construção	Jusante	1,10	1,423	Figura C.2
	Montante		1,432	Figura C.4
Operacional	Jusante	1,10	1,450	Figura C.6
	Montante		1,551	Figura C.8
Superfície Freática Normal	Jusante	1,10	1,435	Figura C.10
Superfície Freática Crítica	Jusante	1,10	1,425	Figura C.12

Observando os fatores de segurança (FS) obtidos, ratifica-se que a EAC atende critérios requeridos pela NBR 13.028 quanto à estabilidade física.

No APÊNDICE C – ANÁLISE DE ESTABILIDADE, são apresentadas as figuras com os resultados obtidos para as análises de estabilidade realizadas.

### 9.2.3.2 Sismo desencadeado por detonação

Para as operações de exploração da cava do Projeto Bloco 8 a SAM irá realizar o desmonte dos materiais com utilização de explosivos. Estas atividades irão desencadear sismo pelo efeito das detonações na área do empreendimento, sendo que seus efeitos deverão ser controlados, com o intuito de garantir a segurança das estruturas civis, industriais e geotécnicas a serem construídas na área do projeto.

Estas estruturas englobam as barragens de contenção de rejeitos e armazenamento de água, empilhamento do estéril e a Estrutura Ambiental de Contenção. Para a verificação dos impactos causados pelas detonações ao longo do empreendimento, foi realizado pela SAM o estudo relativo ao sismo desencadeado pelas detonações na área do Projeto Bloco 8, considerando o Plano de

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>68/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

Lavra proposto pela VENTURINI Consultoria (2018) representado pelo documento PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29\_05\_2018\_rev1.

Os estudos de sismo desencadeado pelas detonações foram desenvolvidos pela VMA Engenharia de Explosivos e Vibrações e consiste na estimativa dos níveis de vibração a serem produzidos nos desmontes, conforme o plano de lavra.

Para os estudos, foi elaborado o modelo para a determinação das velocidades de deslocamento de partículas em relação as cargas de detonação (carga por espera) e distância entre o ponto de detonação e as estruturas em questão.

Os estudos basearam-se na avaliação das vibrações pelo terreno que se propagam em áreas de cenários similares ao do Projeto Bloco 8. Foi tomado como referência, estudos desenvolvidos para diferentes minerações de ferro no Brasil, que apresentam dados de monitoramento de campo.

A partir dos estudos realizados pela SAM/VMA, determinou-se um modelo de projeção sismográfica para um cenário similar ao do Projeto Bloco 8, sendo representado pela Equação 9.5

$$V_{p\_m\acute{a}x} = 600 \times \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,113} \quad \text{Equação 9.5}$$

Em que:

$V_{p\_max}$  = velocidade máxima de partícula em mm/s;

D = distância entre a detonação e o ponto de estudo alvo de alguma proteção em metros (m);

Q = carga detonada por espera em kg.

A NBR 9.653 (ABNT, 2018) considera alguns limites em função da frequência, que varia bastante em função principalmente da rocha e de características do desmonte, e ainda da faixa de distâncias.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>69/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 9.8 – Limites de vibração pelo terreno conforme NBR 9.653/2018.**

Faixa de Frequência	Limites de Velocidade de Vibração de Partícula de Pico
4 a 15 Hz	Iniciando em 15 mm/s, aumenta linearmente até 20 mm/s
15 a 40 Hz	Acima de 20 mm/s, aumenta linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s

Para o presente estudo, não foram realizadas análises pseudo-estáticas para a avaliação da estabilidade da EAC para o sismo desencadeado por detonações devido ao fato de se necessitar medição da frequência em campo e, assim, determinar-se a aceleração de pico.

Nesta etapa dos estudos, a WALM recomenda que as detonações para a EAC se limitem a  $V_{p\_max} = 25 \text{ mm/s}$ , conforme recomendação do U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation no *paper* “Review of Present Practices used in Predicting the effects of Blasting on Pore Pressure”.

Em relação ao estudo de sismo desencadeado por detonações, para as demais etapas, recomenda-se que a SAM realize o monitoramento sismológico da abertura da lavra (pré-stripping), para avaliação das frequências e velocidades máximas de partículas, subsidiando a calibração do modelo desenvolvido no estudo realizado pela SAM/VMA, bem como para a estimativa precisa das velocidades de pico para a área da Estrutura Ambiental de Contenção.

Salienta-se, ainda, que em relação ao arranjo geométrico da EAC elaborado pela WALM, considera a configuração da Cava final do projeto para 18 anos, cuja distância mínima entre o maciço e a cava é de aproximadamente 400,00 m. Para as demais etapas de projeto, deverão ser realizados os estudos para a avaliação das detonações na cava e validar a necessidade de controle das cargas de espera e das detonações na cava do Projeto Bloco 8, de modo a atender a recomendação do U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation.

#### **9.2.4 Filtro de transição**

Com base nos critérios apresentados no item 4.3, foi elaborada a transição geotécnica para a Estrutura Ambiental de Contenção de modo a atender aos critérios estabelecidos a seguir:

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>70/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

- Condição 1: As interfaces das transições devem ter uma alta condutividade hidráulica para impedir a geração de grandes forças de percolação e pressões hidrostáticas aplicadas à transição;
- Condição 2: As dimensões dos vazios no material da transição devem ser suficientemente pequenas para reter as partículas maiores do material protegido.

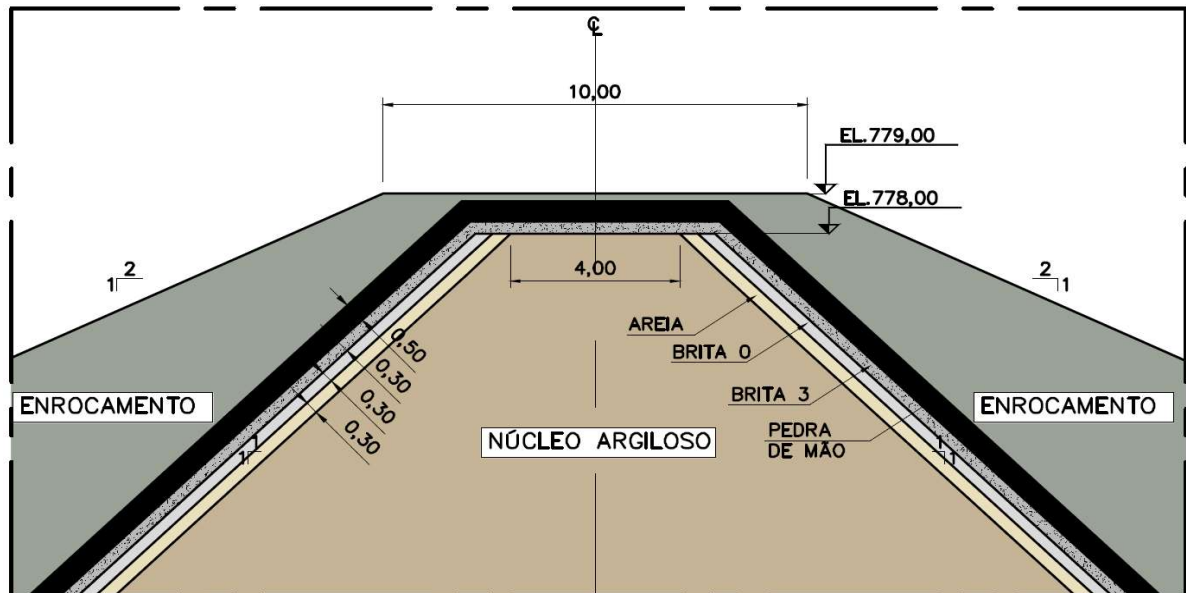
Para tanto, foi utilizada a metodologia do Soil Conservation Service – SCS, apresentada no livro “*Geotechnical Engineering of Dams*” (FELL, 2005) e detalhada no item 4.3 do presente relatório. Na ausência de curvas granulométricas, em função do nível do estudo, foi considerado como ponto de partida as curvas granulométricas de agregados miúdos (areia) e grãos (britas 0, 1, 2, 3 e 4), apresentados na NBR 7211 (ABNT, 2009) para agregados de concreto.

Aplicando a metodologia do SCS, verificou-se que as curvas granulométricas referentes a brita 0 e brita 3 (item 6.1.1, tabela 6 da referida norma), atenderiam aos critérios de filtragem e permeabilidade apresentados. Como pretende-se utilizar enrocamento para o revestimento, foi realizada a verificação da faixa superior a brita 3, levando a um enrocamento com diâmetro médio equivalente (D50) variando entre 150 e 175 mm, enquadrando-se nas categorias de pedra de mão.

Assim, preliminarmente, as transições que atenderiam a geometria da Estrutura de Contenção são as apresentadas a seguir:

- Pedra de mão: camada de 50 cm,
- Brita 3: camada de 30 cm;
- Brita 0: camada de 30 cm;
- Areia: camada de 30 cm.

A Figura 9.3 mostra a disposição dessas camadas.



**Figura 9.3 – Detalhe típico da transição da Estrutura Ambiental de Contenção**

## 10.0 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos foram elaborados com a finalidade de fornecer subsídios para o dimensionamento das estruturas hidráulicas previstas na EAC do Projeto Bloco 8, sendo compostas por:

- Sistema do túnel de desvio da EAC;
- Sistema Extravasador de Emergência da EAC.

Face à inexistência de monitoramento fluviométrico das bacias de interesse, o cálculo das vazões de projeto foi realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão. Em virtude da magnitude da área de contribuição, as vazões de projeto foram determinadas segundo o Método do Hidrograma Unitário (área de contribuição superior a 1,0 km<sup>2</sup>).

Basicamente, a metodologia adotada nos estudos hidrológicos pode ser resumida na seguinte sequência:

- Estudo das chuvas intensas na área de projeto;
- Definição das características físicas e parâmetros das bacias de contribuição, tais como, áreas de drenagem, características do terreno e tempos de concentração;
- Cálculo das vazões de projeto utilizadas no dimensionamento das estruturas hidráulicas previstas.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>72/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**10.1 CHUVAS DE PROJETO**

O cálculo das chuvas de projeto foi realizado utilizando-se os dados consistidos de altura de chuva diária das estações regionais.

Para a definição das chuvas de projeto realizou-se a análise das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) existentes nas proximidades do empreendimento, considerando-se um raio de até 50 quilômetros do mesmo. As estações existentes dentro do referido limite são apresentadas na Tabela 10.1 e Figura 10.1.

**Tabela 10.1 – Seleção das Estações Pluviométricas Utilizadas no Estudo**

Código	Nome	Município	Período	Latitude	Longitude	Distância do Projeto (km)
1642003	CANCELA	GRÃO MOGOL	1964 - 2000	-16°19'0"	-42°42'0"	7,00
1642014	GRÃO MOGOL	GRÃO MOGOL	1973 - 2018	-16°35'26"	-42°55'7"	41,0
1642026	PONTE VACARIA	PADRE CARVALHO	1993 - 2018	-16°11'35"	-42°35'46"	16,0
1543027	PENSÃO CAVEIRAS	GRÃO MOGOL	2000 - 2018	-16°18'39"	-43°6'20"	42,0



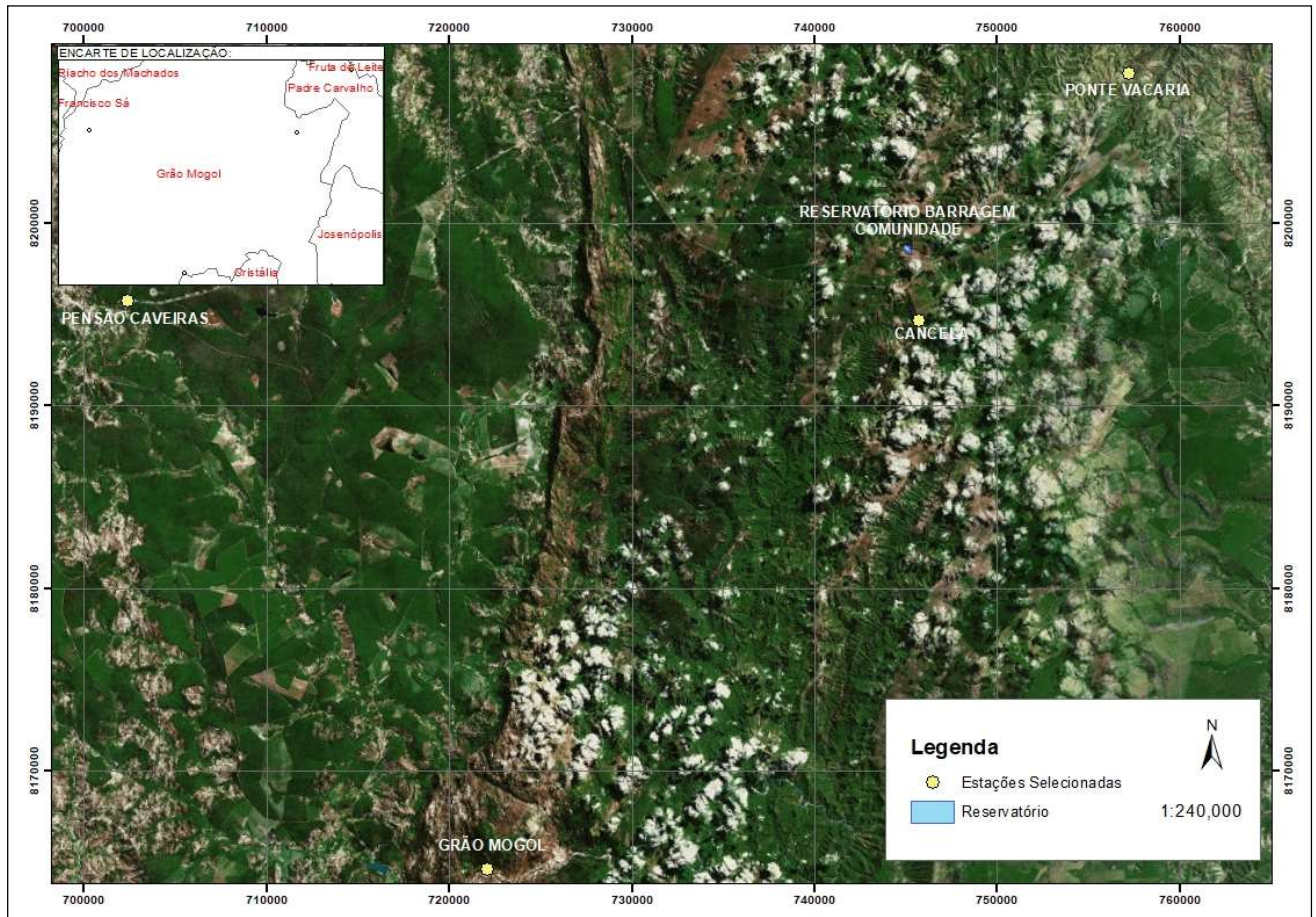
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**73/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 10.1 – Localização das Estações Pluviométricas.**

Devido à extensão da série histórica disponível, com abrangência de dados recentes de altura pluviométrica, apresentando poucas falhas e mostrando consistência global, bem como a proximidade da região em estudo, para a determinação das chuvas de projeto na área do empreendimento, foi escolhida a estação pluviométrica Grão Mogol (ANA – código 1642014).

As médias mensais da estação Grão Mogol (1642014) são apresentadas na Figura 10.2. A partir dos dados observados, conclui-se que a estação chuvosa na área do projeto estende-se de outubro a março, sendo os meses de junho, julho e agosto de menor pluviosidade.

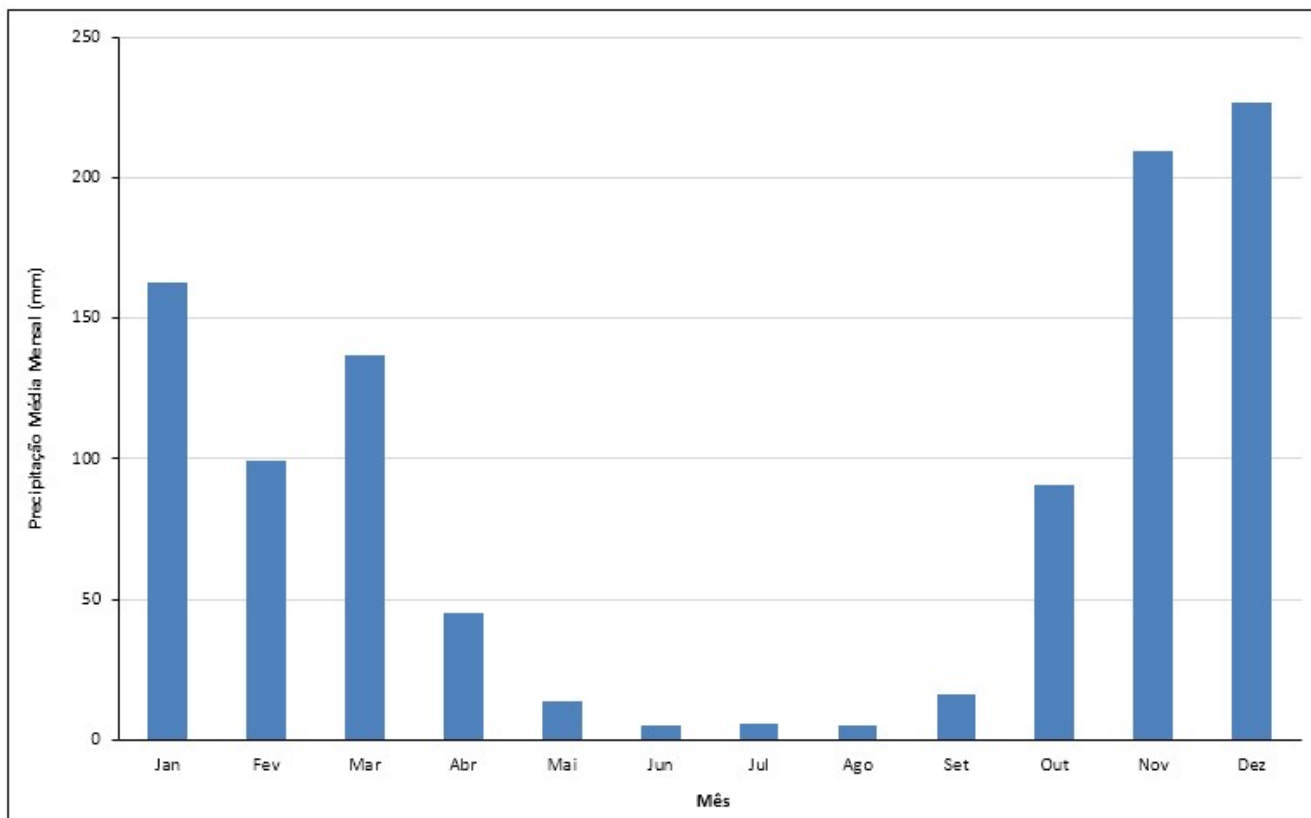
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**74/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 10.2 – Altura de chuva total média mensal da Estação Grão Mogol (1642014).**

Inicialmente, para o período de dados disponível, foram selecionados os valores máximos anuais de altura de chuva diária ocorridos na estação Grão Mogol (1642014), no período compreendido entre 1973 e 2018 para cada ano hidrológico, que se estende do mês de outubro ao mês de setembro, subsequente. Vale mencionar que os anos hidrológicos 1974/1975 e 2009/2010 foram descartados do estudo por apresentarem falhas nos meses chuvosos, resultando em uma série de dados de 42 anos.

Os dados de precipitação máxima diária anual da estação Grão Mogol (1642014) foram ordenados e plotados, empregando-se a posição de plotagem de Weibull, determinando-se as probabilidades amostrais. Em seguida, buscou-se o melhor ajuste de um modelo matemático de distribuição probabilística à sequência ordenada de eventos observados, de forma a obterem-se as alturas de chuva para tempos de retorno específicos, com especial interesse àquelas cujas probabilidades de ocorrência sejam muito baixas (eventos extremos).

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

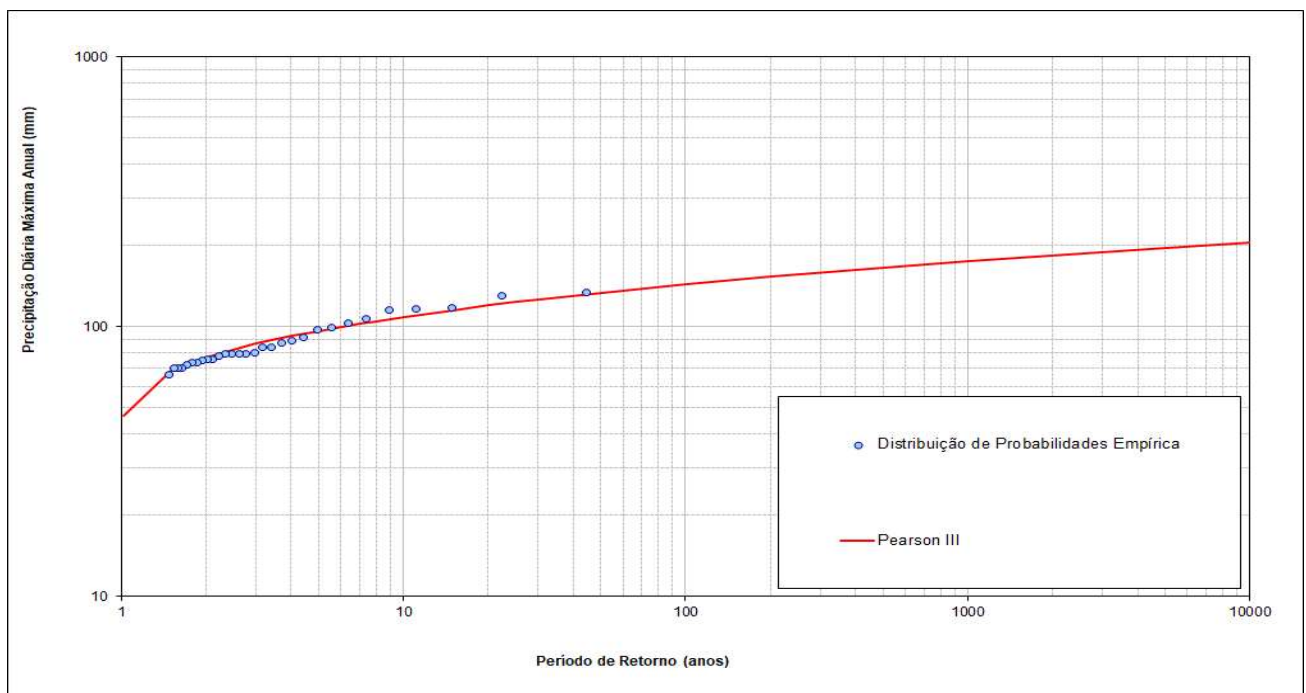
Folha  
**75/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

Aos pontos amostrais (distribuição de probabilidades empírica), foram ajustadas as seguintes distribuições de probabilidades teóricas: Log-Normal de 2 parâmetros, generalizada de Valores Extremos Tipo I (Gumbel), Distribuição Exponencial, Pearson III, Log-Pearson Tipo III e Generalizada de Valores Extremos (GEV).

As distribuições de probabilidades teóricas foram extrapoladas, permitindo a estimativa dos quantis de precipitação para períodos de retorno de até 10.000 anos. A partir da análise visual do gráfico das distribuições de probabilidades, foi escolhida a distribuição de Pearson III por apresentar a melhor aderência aos dados apresentados, conforme pode ser observado na Figura 10.3.



**Figura 10.3 – Ajuste da Distribuição Teórica de Pearson III para Alturas de Chuvas de 1 dia.**

Ressalta-se que os dados de chuvas diárias das estações pluviométricas adotadas neste estudo foram obtidos de leituras diárias de pluviômetros em certa hora do dia, geralmente às 7 horas da manhã. Essa leitura corresponde ao valor precipitado compreendido entre duas observações consecutivas. Já a precipitação de 24 horas é o maior valor de chuva correspondente a um período consecutivo de 24 horas (não necessariamente coincidente com o período de observação). Dessa forma, os valores de chuvas diárias foram corrigidos por um fator de 1,10 para a obtenção da chuva de 24 horas, valor este sugerido pelo U. S. Weather Bureau (CETESB, 1986).

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>76/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

Para a desagregação da chuva de 24 horas em alturas de chuvas de menor duração foi utilizada a seguinte metodologia utilizou-se o método das Isozonas de Torga (1974). A base do método das isozonas decorreu da constatação de que havia uma certa uniformidade regional entre as alturas de chuva de 6 minutos com 24 horas (P6min/P24) e de 1 hora com 24 horas (P1/P24), configurando as chamadas isozonas de igual relação entre as precipitações de diferentes durações.

Os quantis de altura de chuva para os diversos períodos de retorno estão apresentados na Tabela 10.2.

**Tabela 10.2 – Quantis de Altura de Chuva da Estação Grão Mogol (1642014)**

Duração	Período de Retorno (anos) - Precipitação (mm)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1.000	10.000
5 min	6,2	7,8	9	10,1	11,0	10,3	10,9	11,9	12,5	14,3
10 min	14,0	17,5	19,6	22,0	23,8	23,7	25,6	27,5	28,9	31,8
25 min	24,3	30,2	33,7	37,8	40,6	41,5	45,1	48,2	50,6	55,0
30 min	26,4	32,8	36,5	41,0	44,0	45,0	48,9	52,3	54,9	59,7
1 h	34,2	42,4	47,3	52,9	56,8	58,5	63,7	67,9	71,3	77,2
2 h	45,1	56,2	62,9	70,8	76,3	80,0	86,4	92,7	97,5	107
3 h	51,5	64,3	72,1	81,3	87,7	92,6	100	107	113	125
4 h	56,1	70,0	78,6	88,7	95,8	102	109	117	124	137
6 h	62,5	78,1	87,7	99,2	107	114	122	132	139	155
8 h	67,0	83,8	94,2	107	115	123	132	142	150	167
10 h	70,5	88,3	99,3	112	122	130	139	150	158	177
12 h	73,4	91,9	103	117	127	136	145	157	165	185
14 h	79,8	100	113	128	138	148	158	171	181	202
24 h	84,4	106	119	135	146	157	168	181	192	214
2 dias	101	127	144	165	180	195	209	228	242	287
3 dias	123	156	176	199	216	231	246	264	278	322
5 dias	156	199	223	251	270	287	304	324	339	387
7 dias	184	237	268	304	329	352	375	404	425	491
10 dias	218	276	309	347	372	396	418	446	467	530
15 dias	270	337	373	413	439	463	485	512	531	589
20 dias	312	391	433	480	511	539	565	598	621	691
30 dias	382	486	544	608	651	690	727	773	806	907

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>77/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

## 10.2 PARÂMETROS FÍSICOS

As características físicas de interesse para o estudo correspondem à área de drenagem, o tempo de concentração, o uso do solo e os valores de abstração inicial da bacia.

Para determinação da chuva efetiva, parcela da precipitação que transformará em escoamento superficial, foi utilizada a metodologia proposta pelo Soil Conservation Service (SCS), tendo como parâmetro o Número de Curva (CN).

O parâmetro CN representa o tipo de cobertura, solo e ocupação na bacia em condições normais de chuva antecedente. Os valores de referência utilizados são apresentados na Tabela 10.3.

**Tabela 10.3: Valores de referência para ponderação do CN.**

Solo	Uso do Solo	CN
Grupo B	Vegetação esparsa (média)	60
	Vegetação densa	55
	Solo exposto	75
	Vegetação rasteira/Pasto	65
	Rejeitos	85
	Reservatório - Lago	100

Tendo em vista que o túnel de restituição foi concebido para operar nas condições normais de ocupação da bacia e o sistema extravasor de emergência apenas no caso de uma eventual ruptura de barragem, admitiu-se condições de uso e ocupação distintas nas respectivas bacias. Os valores atribuídos a cada tipo de solo, considerando as condições normais de chuva antecedente (CN II) nas bacias de contribuição do túnel e sistema extravasor, estão apresentados nas Tabela 10.4 e Tabela 10.5, respectivamente.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>78/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 10.4 – Valores adotados para o CN – Túnel de Restituição**

Sub-bacias	Tipologia	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	CN II
Bacia de contribuição Barragem 1	Vegetação esparsa	0.00	0.0	60
	Vegetação densa	0.00	0.0	55
	Solo exposto	0.45	1.2	75
	Pasto/vegetação rasteira	19.55	50.3	65
	Rejeito	16.68	42.9	85
	Reservatório - Lago	2.16	5.6	100
	<b>Sub-Total</b>	<b>38.85</b>	<b>100.0</b>	<b>75.7</b>
Bacia de contribuição Barragem Industrial	Vegetação esparsa	0.00	0.0	60
	Vegetação densa	1.58	4.1	55
	Solo exposto	0.14	0.4	75
	Pasto/vegetação rasteira	1.58	4.1	65
	Rejeito	0.00	0.0	85
	Reservatório - Lago	0.78	2.0	100
	<b>Sub-Total</b>	<b>4.09</b>	<b>100.0</b>	<b>68.2</b>
Bacia de contribuição Barragem do Vale	Vegetação esparsa	0.00	0.0	60
	Vegetação densa	0.04	0.1	55
	Solo exposto	0.02	0.1	75
	Pasto/vegetação rasteira	1.05	2.7	65
	Rejeito	0.00	0.0	85
	Reservatório - Lago	0.09	0.2	100
	<b>Sub-Total</b>	<b>1.20</b>	<b>100.0</b>	<b>67.4</b>
Bacia de contribuição Barragem 2 Final	Vegetação esparsa	0.00	0.0	60
	Vegetação densa	0.00	0.0	50
	Solo exposto	0.00	0.0	75
	Pasto/vegetação rasteira	3.66	9.4	65
	Rejeito	3.66	9.4	85
	Reservatório - Lago	1.45	3.7	100
	<b>Sub-Total</b>	<b>8.78</b>	<b>100.0</b>	<b>79.1</b>
Bacia de contribuição Area remanescente	Vegetação esparsa	0.00	0.0	60
	Vegetação densa	1.01	3.2	50
	Solo exposto	9.36	29.2	75
	Pasto/vegetação rasteira	21.68	67.6	65
	Rejeito	0.00	0.0	85
	Reservatório - Lago	0.00	0.0	100
	<b>Sub-Total</b>	<b>32.05</b>	<b>100.0</b>	<b>67.4</b>
<b>Área de Drenagem Total</b>		<b>84.96</b>	<b>CN II médio</b>	<b>72.4</b>

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>79/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Tabela 10.5 – Valores adotados para o CN – Sistema Extravasor**

Sub-bacias	Tipologia	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	CN II
Bacia de contribuição pós rompimento Barragem 1, Barragem do Vale e Barragem Industrial	Vegetação esparsa	20.26	26.6	60
	Vegetação densa	1.11	1.5	50
	Solo exposto	2.78	3.7	75
	Pasto/vegetação rasteira	8.50	11.2	65
	Rejeito	43.53	57.1	85
	Reservatório - Lago	0.00	0.0	100
	<b>Sub-Total</b>	<b>76.19</b>	<b>100.0</b>	<b>75.2</b>
Bacia de contribuição da Barragem 2 - Final	Vegetação rasteira	0.00	0.0	60
	Vegetação densa	0.00	0.0	50
	Solo exposto	0.00	0.0	75
	Pasto	3.66	41.7	65
	Rejeito	3.66	41.8	85
	Reservatório - Lago	1.45	16.5	100
	<b>Sub-Total</b>	<b>8.78</b>	<b>100.0</b>	<b>79.1</b>
<b>Área de Drenagem Total</b>		<b>84.96</b>	<b>100</b>	<b>75.6</b>

A abstração inicial (Ia) corresponde à parcela de água que não se transforma em escoamento superficial, seja pelo fato de ser interceptada antes de atingir o solo (evaporação ou retenção nas folhas de árvores) ou por ficarem armazenadas em depressões presentes devido às irregularidades do solo, sendo calculada como percentual do armazenamento potencial da bacia (S).

A metodologia preconizada pelo *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), anteriormente conhecido como *Soil Conservation Service* (SCS), para determinação das chuvas efetivas, admite que a abstração inicial da bacia corresponde entre 10% e 20% do armazenamento potencial da bacia (S), sendo o valor do armazenamento calculado de acordo com o número de curva – CN e sua respectiva condição de umidade antecedente, conforme equação descrita abaixo.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Para a transformação chuva-vazão utilizou-se a metodologia do hidrograma unitário triangular sintético do NRCS, onde utiliza-se o parâmetro Lag Time, correspondente a 60% do tempo de concentração da bacia. Para obtenção do tempo de concentração foi utilizada a metodologia proposta por Kirpich, dada pela seguinte expressão:

$$t_c = 0,39 \left( \frac{L^2}{S_e} \right)^{0,385}$$

 <b>SAM</b> Sul Americana de Metais S/A	 <b>Walm</b> Engenharia	<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>80/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

Sendo: L o comprimento do talvegue (km) e  $S_e$  a declividade equivalente do talvegue (%).

Na síntese dos hidrogramas de vazões foi utilizado o método SCS, tendo como parâmetro o lagtime (Tlag) dado pela multiplicação do tempo de concentração pelo fator de 0,6.

Os parâmetros utilizados no modelo para o cálculo das vazões de projeto do túnel e sistema extravasor estão apresentados nas Tabela 10.6 e Tabela 10.7.

**Tabela 10.6 – Parâmetros Utilizados – Túnel**

Sub-Bacia	Área de Contribuição (km <sup>2</sup> )	Número de Curva Ponderado (CN II)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (min)	Lag Time (min)
Bacia de contribuição Barragem 1	38.85	75.7	16.35	127.75	76.65
Bacia de contribuição Barragem Industrial	4.09	68.2	23.70	16.40	9.84
Bacia de contribuição Barragem do Vale	1.20	67.4	24.59	15.08	9.05
Bacia de contribuição Barragem 2 Final	8.78	79.1	13.39	25.00	15.00
Bacia de contribuição Area remanescente	32.05	67.4	24.52	102.02	61.21
<b>Total</b>	<b>84.96</b>	<b>72.4</b>			

**Tabela 10.7 – Parâmetros Utilizados – Sistema Extravasor**

Sub-Bacia	Área de Contribuição (km <sup>2</sup> )	Número de Curva Ponderado (CN II)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (min)	Lag Time (min)
Bacia de contribuição pós rompimento Barragem 1, Barragem do Vale e Barragem Industrial	76.19	75.1	16.71	127.75	76.65
Bacia de contribuição da Barragem 2 - Final	8.78	79.1	13.39	25.00	15.00
<b>Total</b>	<b>84.96</b>	<b>75.6</b>			



		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>81/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

### 10.3 SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS

A partir dos valores de precipitação apresentados na Tabela 10.2, e utilizando-se métodos indiretos de transformação chuva-vazão, foram determinadas as vazões de projeto para o dimensionamento hidráulico do túnel de restituição e do sistema extravasor da Estrutura Ambiental de Contenção.

O modelo matemático utilizado foi o HEC-HMS – Hydrologic Modeling System, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center, órgão colegiado do U.S. Army Corps of Engineers, versão 3.5.

As simulações foram realizadas para os eventos de chuva com as durações variando entre 10 min até 30 dias, de maneira a se determinar a duração crítica, ou seja, aquela que resultará na maior vazão afluente. Os resultados das simulações para as vazões afluentes considerando as condições normais da bacia de contribuição e a as condições da bacia pós eventual ruptura da Barragem 1 para TR 10.000 anos podem ser visualizadas nas Figura 10.4 e Figura 10.5, respectivamente.

Ressalta-se que os efeitos do amortecimento do reservatório da Barragem estão apresentados no item 11.2, onde será apresentada a avaliação do trânsito de cheias nesse reservatório, bem como o dimensionamento do sistema extravasor.

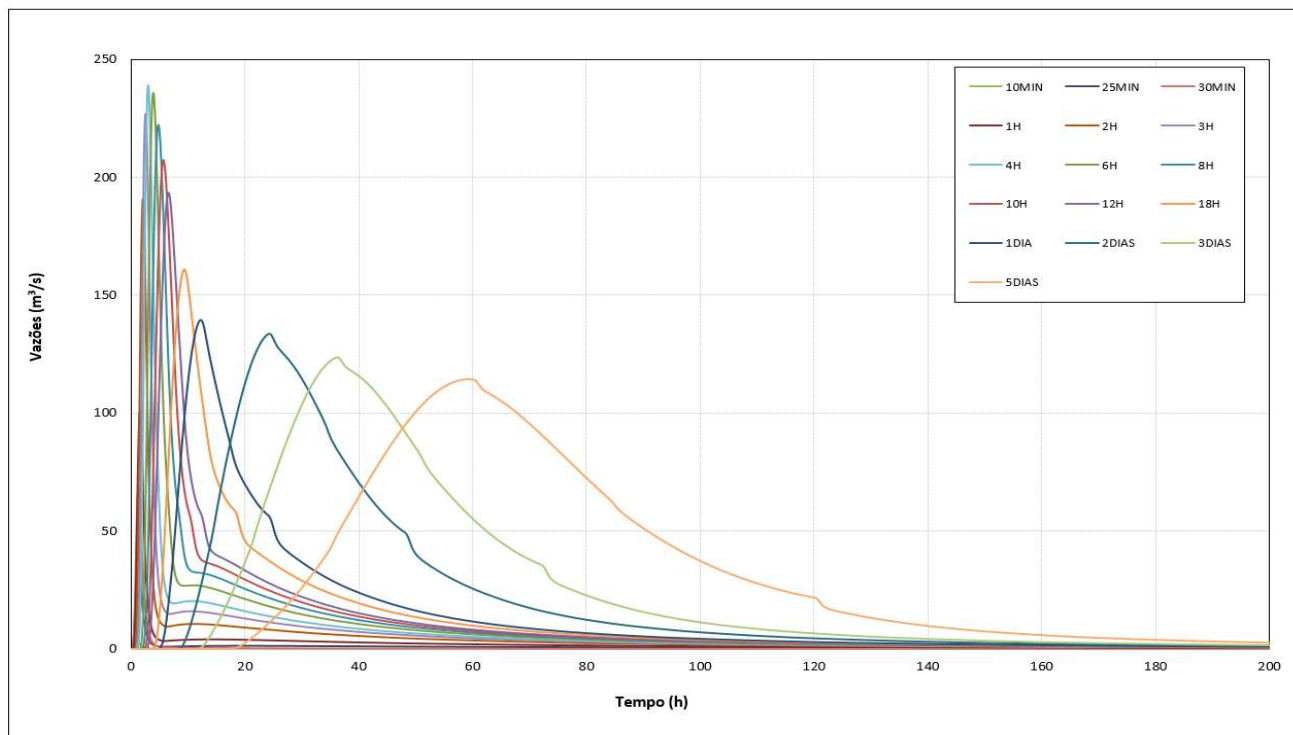
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

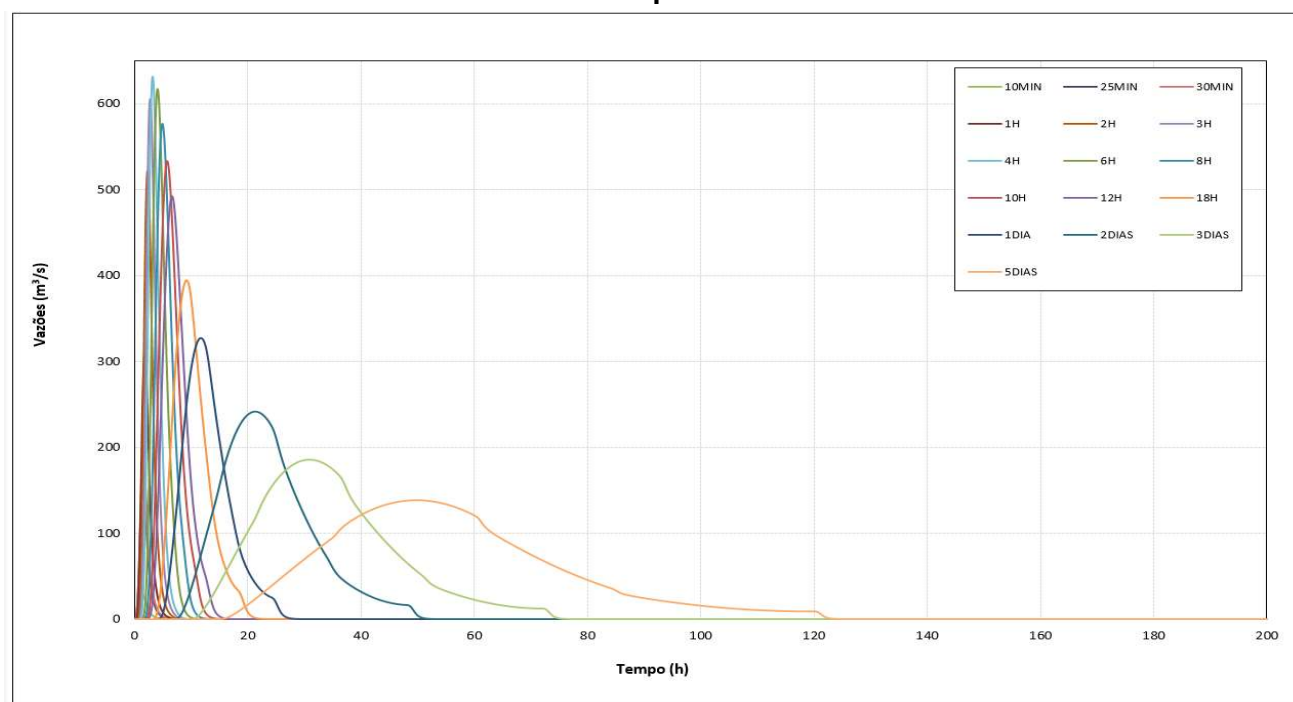
Folha  
**82/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura 10.4 – Vazões Afluentes à EAC TR 10.000 anos – Condições Normais da Bacia – Túnel**



**Figura 10.5 – Vazões Afluentes à EAC TR 10.000 anos – Condições da Bacia Pós Ruptura – Sistema Extravasor**

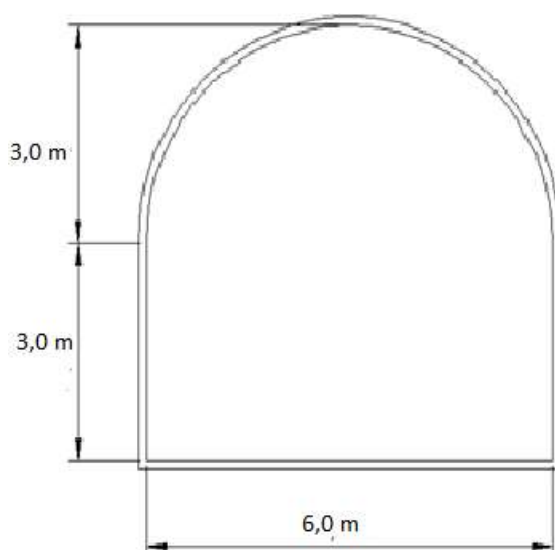
		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>83/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

## 11.0 VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA

### 11.1 TÚNEL DE DESVIO

A EAC foi concebida com o objetivo de conter a onda de rejeitos provenientes de um possível rompimento da Barragem 1. Desse modo, prevê-se um reservatório de dimensões suficientes para tal finalidade, esperando-se que durante toda a sua vida útil a estrutura opere vazia. Portanto, a estrutura deverá apresentar dispositivo de drenagem para garantir a passagem do fluxo natural do córrego Lamarão.

A passagem do fluxo pela EAC será realizada pela introdução de um túnel sob seu maciço. O túnel foi dimensionado seguindo o conceito utilizado em barragens para controle de cheias, ou seja, elas devem manter o reservatório vazio, em estado de espera, para cheias recorrentes e amortecer eventos pluviométricos extremos (TR's de 100, 1.000 e 10.000 anos), com tempo de esvaziamento do reservatório menor que um dia, atendendo os critérios do DNOS usualmente adotados em barragens de contenção de cheias no Brasil. As galerias apresentam seção semicircular e deverão apresentar o trecho inferior (seção retangular) com dimensões de 6,00 m (largura) x 3,00 m (altura) e raio do semicírculo de 3,00 m, conforme figura abaixo.



**Figura 11.1 – Seção representativa do túnel de desvio.**

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>84/104</b>	
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02	

O túnel deverá apresentar seção de emboque a montante da EAC e desemboque em uma seção regular dotada de comporta, que será programada para fechar automaticamente em caso de uma eventual ruptura da Barragem 1. Cabe destacar que o controle dos fluxos desta comporta será realizado a jusante.

O túnel de desvio foi verificado com a ajuda do programa HY-8 Culvert Hydraulic Analysis, elaborado pela Federal Highway Administration (FHWA) especificamente para a concepção de bueiros. Os dados de entrada no HY-8 são a geometria da passagem (descrita nos parágrafos anteriores), as características do emboque, as características do talvegue a jusante, a rugosidade e as vazões afluentes.

Por se tratar de um projeto conceitual, considerou-se que não existe nenhuma estrutura específica no emboque. Dessa forma, considerou-se um emboque simples, com borda quadrada e no mesmo nível que a entrada do túnel. A seção do talvegue a jusante do túnel foi determinada com a ajuda do ArcGis. Para o canal a jusante foi considerado uma rugosidade de 0,024, valor usualmente usado para leito dos rios. Para o canal interno ao túnel foi considerado-se um valor de coeficiente de Manning de 0,015, usual para concreto.

Os dados de entrada no HY-8 são apresentados na Tabela 11.1. A Figura 11.2 e Figura 11.3 apresentam, respectivamente, o modelo do extravasor no HY-8 e a curva de descarga obtida.

**Tabela 11.1 – Geometria das galerias de fundo**

Dimensão (m)	Cota do emboque (m)	Comprimento (m)	Declividade	Cota da saída (m)
6,00 x 3,00 + Semicírculo de r = 3,00	686	699	0,85%	680

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

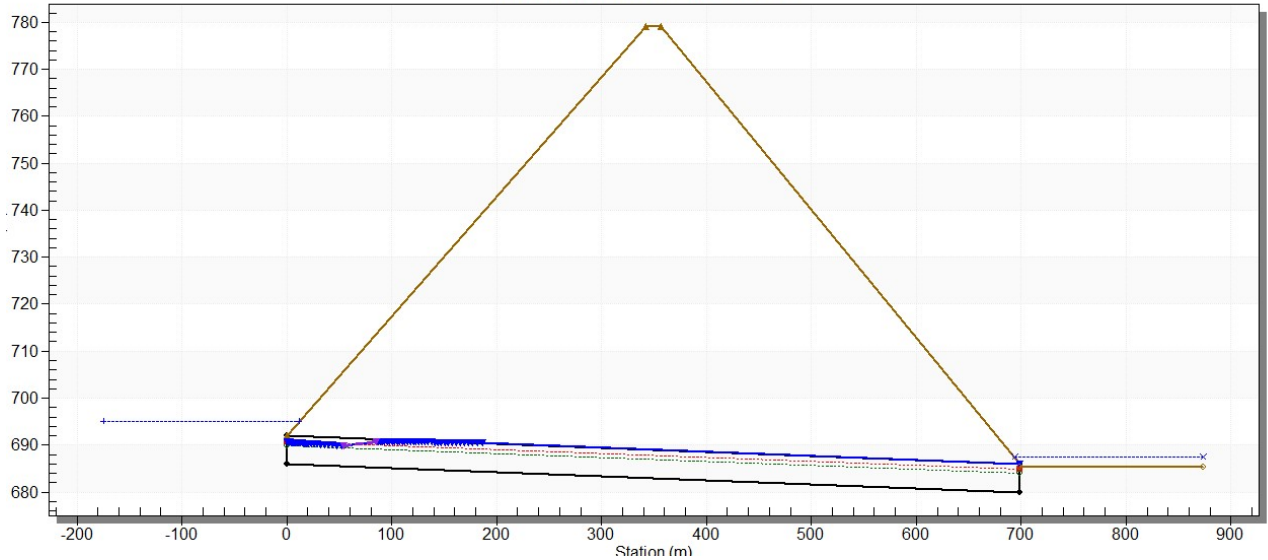
MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**85/104**

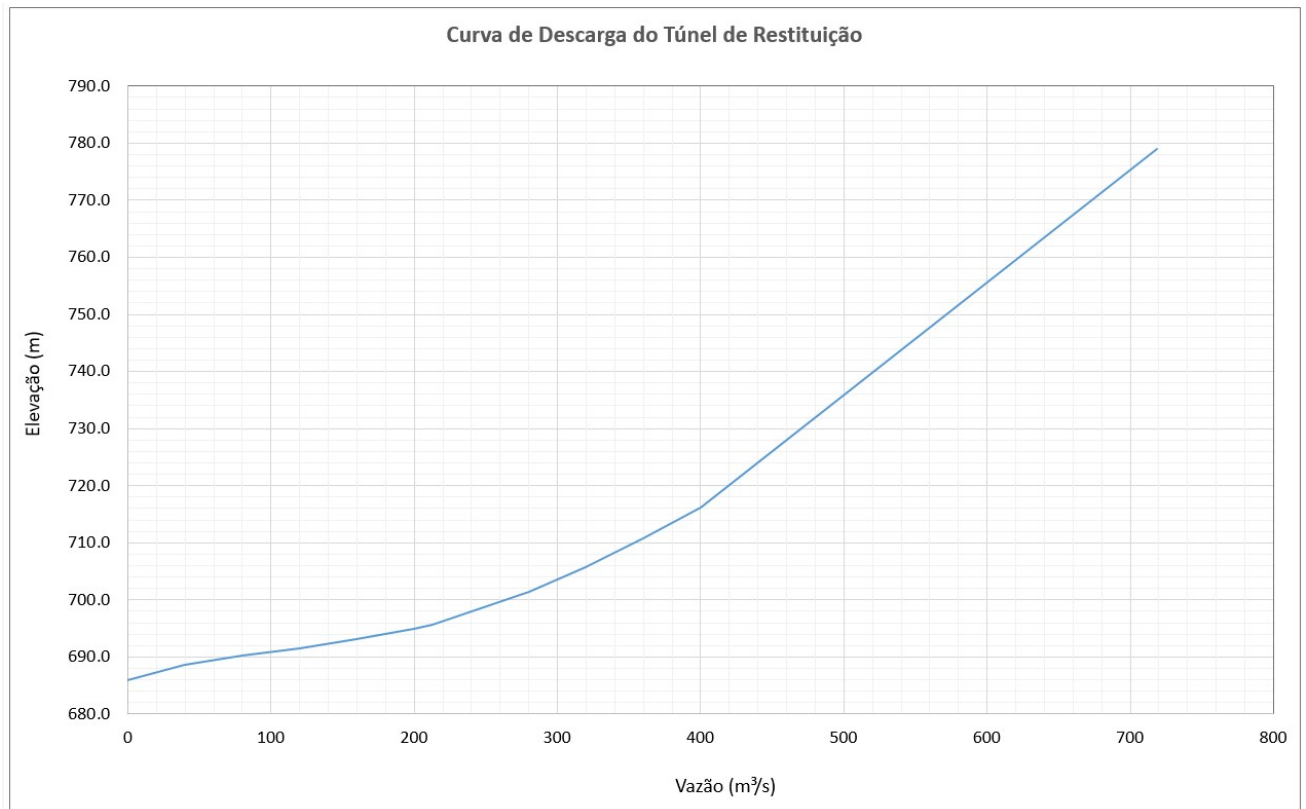
WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

Crossing - Crossing, Design Discharge - 203.61 cms  
Culvert - Galeria, Culvert Discharge - 203.61 cms



**Figura 11.2 – Modelo da passagem no HY-8 – TR 10.000 anos**



**Figura 11.3 - Curva de descarga do túnel.**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>86/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

De posse das vazões máximas afluentes associadas aos tempos de retorno (TR) de 100, 1.000 e 10.000 anos, verificou-se capacidade do túnel de desvio. A Tabela 11.2 apresenta a síntese dos resultados da simulação hidráulica para a duração crítica, ou seja, a duração que acarretou na maior sobrelevação do nível de água no emboque desta estrutura.

**Tabela 11.2 - Síntese dos resultados da simulação hidráulica.**

TR	Duração Crítica	Cota do Emboque (m)	Elevação Máxima (m)	Sobrelevação (m)	Vazão Afluente (m³/s)	Vazão Defluente (m³/s)	Tempo de esvaziamento (min.)
100	6 horas	686,00	692,29	6,29	133,43	126,90	20
1000	6 horas		694,34	8,34	194,84	175,25	30
10000	6 horas		695,64	9,64	235,61	203,61	37

De acordo com os resultados obtidos, o túnel concebido é capaz de manter o reservatório vazio, em estado de espera, para cheias recorrentes e amortecer eventos pluviométricos extremos (TR's de 100, 1.000 e 10.000 anos), com tempo de esvaziamento do reservatório muito inferiores a um dia, atendendo os critérios do DNOS usualmente adotados em barragens de contenção de cheias no Brasil.

## 11.2 SISTEMA EXTRAVASOR

Além do túnel, para permitir a passagem dos fluxos do córrego Lamarão em caso de um eventual rompimento da Barragem 1, a EAC deverá ser dotada de um sistema extravasor de emergência. Em caso de ruptura da Barragem 1 e com a chegada das vazões do deflúvio da bacia, o reservatório passaria a operar, de uma forma convencional, controlado pela cota da soleira (776,00 m), e com o volume disponível para o trânsito de cheias ( $17,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

O extravasor possui seção trapezoidal com 25 metros de base e 3 metros de altura. A Curva de Descarga do extravasor foi definida com base na equação de emboque, cuja equação é dada por:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot B \cdot H \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H}$$

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>87/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

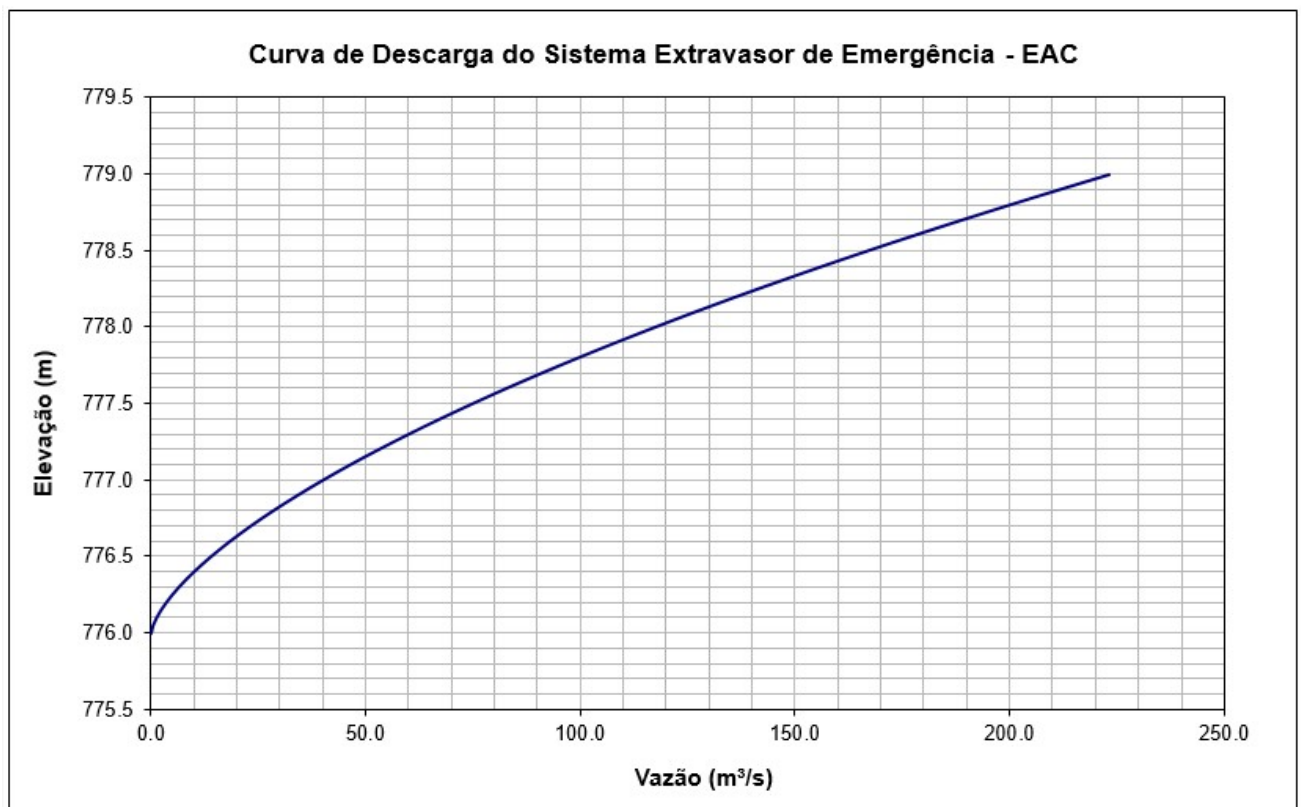
Em que:

Q = vazão de descarga ( $m^3/s$ );

Cd = coeficiente de descarga, ( $m^{0,5}/s$ ) – Cd igual a 0,90 m;

B = largura do vertedouro (m);

H1 = carga hidráulica em relação à soleira (m)



**Figura 11.4 – Curva de descarga do extravasor de emergência.**

Com base na curva de descarga do sistema extravasor de emergência e na curva cota-volume da EAC, considerou-se o nível de água na soleira do vertedouro (El 746,0 m) e realizou-se um novo trânsito de cheias com durações de 6 minutos a 30 dias para determinar a altura do vertedouro. A altura do extravasor deveria ser suficiente para garantir o escoamento das cheias de projeto com o tempo de retorno de 10.000 anos.

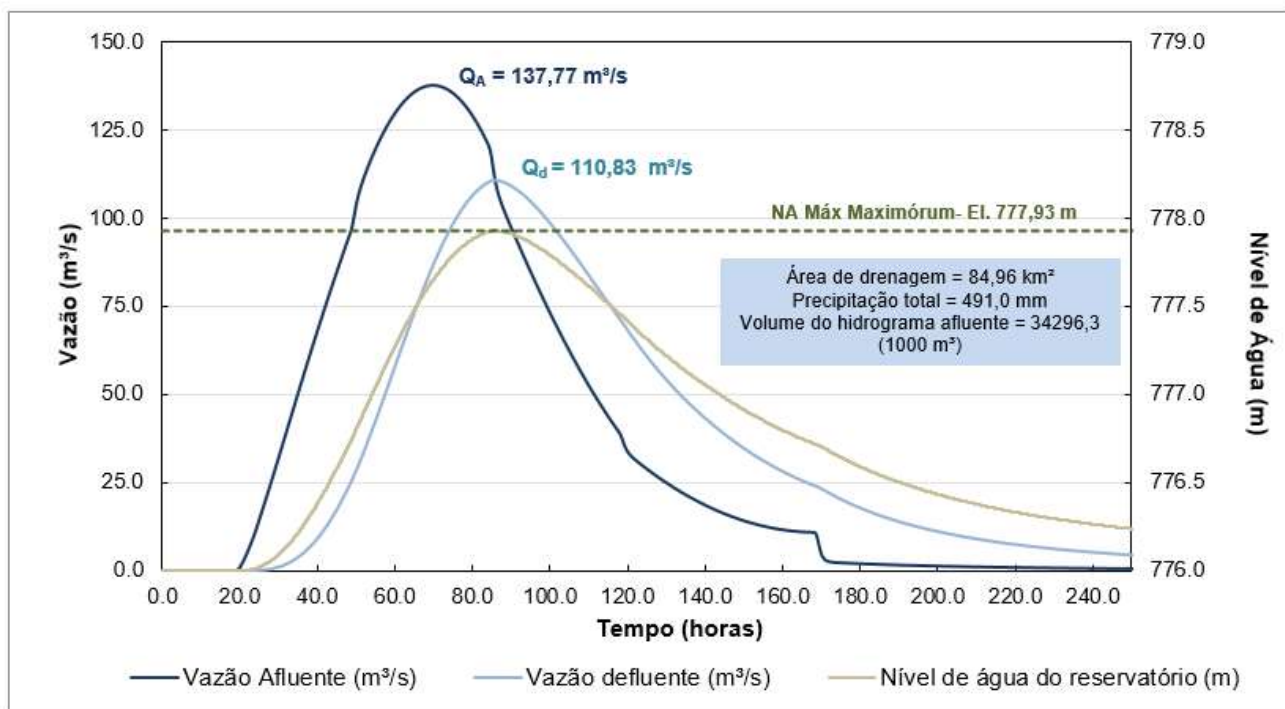
A partir do resultado do trânsito de cheias, observou-se que a duração crítica para o TR 10.000 anos é de 7 dias, causando um sobrelevação de 1,93m, ou seja, o nível de água máximo maximorum está na EL. 777,93 m, restando ainda, 1,07m de borda livre até a crista da EAC.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>88/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

A Tabela 11.3 apresenta uma síntese dos resultados do trânsito de cheias realizado na EAC para o TR 10.000 anos.

**Tabela 11.3 - Síntese Resultados do Trânsito de Cheias**

Parâmetro	Resultado (TR 10.000)
Duração Crítica (horas)	7 dias
Vazão Máxima Afluente (m <sup>3</sup> /s)	137,77
Vazão Defluente (m <sup>3</sup> /s)	110,83
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	777,93
Borda Livre (m)	1,07



**Figura 11.5 – Trânsito de Cheias no Reservatório – Sistema Extravisor TR 10.000 anos**

A partir dos resultados verificados no trânsito de cheias, constata-se que a estrutura atende ao preconizado pela Norma Brasileira NBR 13.028/2017.



		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>89/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

## 12.0 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Para subsidiar os estudos dos projetos básicos e executivo da Estrutura Ambiental de Contenção, será proposta uma campanha de investigações geológico-geotécnicas em uma etapa posterior. Dessa forma, torna-se capaz a caracterização da fundação da área de implantação e das áreas de empréstimo para construção da EAC. Além disso, será possível validar os parâmetros de resistências adotados nas análises de estabilidade e fazer os ajustes cabíveis e necessários.

## 13.0 PLANILHA DE QUANTIDADE

Para os estudos realizados para a EAC, foi desenvolvido o estudo para a determinação dos quantitativos gerados para a implantação da estrutura em nível conceitual. Nos estudos foi incorporado ainda o estudo econômico de CAPEX e OPEX, onde devido ao período construtivo da estrutura, a EAC é considerada como OPEX do empreendimento.

Os quantitativos e os custos de OPEX estimados para a EAC totalizando em cerca de 390 milhões de reais são apresentados na MINA\_BLC8007-1010-G-PL-14.

Ressalta-se que a margem de erro considerada no levantamento dos quantitativos apresentados, em virtude da fase de projeto, é da ordem de  $\pm 30\%$ . As especificações de serviços e materiais apresentadas nos itens deverão ser confirmadas em estudos futuros, quando do detalhamento do projeto.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>90/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

## 14.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento apresenta a atualização dos principais critérios e premissas para o projeto conceitual para a Estrutura Ambiental de Contenção (EAC) da onda de cheia da ruptura hipotética (*Dam Break*) da Barragem 1. Esses estudos partiram de critérios e premissas estabelecidas pela SAM e pela WALM e dos estudos conceituais da Barragem 1 e *Backfill* e da configuração anual das cavas do Projeto Bloco 8.

Para a definição a contenção da onda de cheias, optou-se pela implantação de uma estrutura na calha do córrego Lamarão no trecho a jusante da cava do empreendimento e a montante da Barragem do Rio Vacaria. Inicialmente, foram consideradas duas alternativas para a locação do eixo da EAC. Aquele que apresentou o menor dano em relação a impactos ambientais e socioeconômicos na região foi o eixo 2, localizado a 9,50 km do eixo da Barragem 1.

Para a definição da cota desta estrutura, foram realizados estudos preliminares de ruptura da Barragem 1, no cenário identificado de maior dano, visando a definição da cota máxima que o rejeito atingiria no eixo selecionado, considerando uma barragem de altura infinita. Neste conceito, todo o rejeito mobilizado da ruptura hipotética da Barragem 1, seria contido por esta estrutura.

De acordo com os estudos, a cota máxima do rejeito foi definida a partir do cenário mais crítico de rompimento, que ocorre no Ano 18, cuja cota do rejeito seria equivalente a elevação 775,38 m. Desta maneira, admitiu-se a cota da soleira do sistema extravasor na El. 776,00 m. A altura da crista foi determinada com base nos estudos de transito de cheias pelo reservatório na passagem de uma cheia decorrente da chuva com TR 10.000 anos. Adicionalmente, foi admitida uma borda livre mínima de 1,0 m. Assim a cota final da crista após os estudos preliminares, implica em cota final do maciço na EL. 779,00 m.

Esta estrutura foi denominada no presente estudo como “Estrutura Ambiental de Contenção – EAC” e deverá ser construída a partir do Ano 2, de maneira progressiva à medida da evolução da construção da Barragem 1. Recomenda-se, entretanto, que essa estrutura esteja concluída até o final do Ano 07 de operação, quando dará início ao alteamento da Barragem 1 considerando a utilização do rejeito grosso como material de construção (alteamentos sucessivos), apresentando o seu volume total operacional para atendimento ao cenário de ruptura hipotética.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>91/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

Para o maciço, foi informado pela SAM que o mesmo seria constituído preferencialmente por materiais do local, considerando principalmente o estéril a ser gerado nas frentes de abertura de lavra do Projeto Bloco 8 e que apresenta fração solo (com potencial de utilização para aterros em solo compactado para barragens) e enrocamento. Deste modo, optou-se pela utilização de maciço em seção mista, constituído por enrocamento e núcleo em material de matriz argilosa compactada. Para a compatibilização entre os materiais, foi proposta transições geotécnicas para atender as condições de filtragem e permeabilidade, evitando a formação de fluxos descontrolados com carregamento de partículas do núcleo, que seriam foco principal de formação dos processos de erosão regressiva “*piping*”.

Para garantir a passagem dos fluxos naturais do córrego Lamarão, foi proposto a utilização de um túnel na margem esquerda da estrutura de modo a direcionar os fluxos para sua porção a jusante. Este túnel deverá apresentar sistema de comporta com acionamento automático, em caso de rompimento, não permitindo a passagem da onda de cheias que seria retida na própria EAC, considerando a sua capacidade de armazenamento.

Além disto, em caso de cenário real de rompimento, a EAC, deverá ser dotada de sistema extravasor para o controle das cheias na bacia de drenagem imediatamente a montante da mesma, sendo considerado para os estudos, os critérios estabelecidos na NBR 13.028 (ABNT, 2017). O Vertedouro foi dimensionado para atendimento a chuvas com período de retorno de 10.000 anos, associado ao fechamento da estrutura.

Assim, foram desenvolvidos estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, que resultaram em um pré-dimensionamento das seguintes estruturas: maciço, sistema extravasor e sistema de desvio.

Para as demais etapas do projeto deverão ser realizadas sondagens e ensaios de laboratório dos materiais de fundação e de empréstimo, que serão de suma importância para determinação dos perfis geológico-geotécnicos e dos parâmetros de resistências a serem adotados. Tais investigações auxiliam os estudos de estabilidade nas etapas subsequentes e permitirão o refinamento dos dimensionamentos e ratificar a geometria definida para o arranjo.

Cabe destacar que para as demais etapas do projeto, deverá ser realizado um estudo detalhado do sequenciamento da construção da EAC, de modo a garantir que a mesma seja capaz de conter as

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>92/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

ondas de ruptura para os cenários compreendidos entre o final do Ano 3 e o final do ano 6 de operação do empreendimento. Ressalta-se que no final do ano 7, essa estrutura atingirá a sua configuração final e já será capaz de conter a onda de ruptura para o cenário mais crítico, identificado como o Ano 18.

Nas demais etapas deverão ser validados, o conceito empregado para Túnel de Restituição, considerando as sondagens a serem realizadas na região, onde deverão ainda ser melhor definidos o caminhamento e geometria a ser adotada para o estudo.

Por fim, cabe destacar que, para as demais etapas de estudo, a SAM deverá fornecer todas as informações necessárias para a elaboração do Projeto Básico, considerando os levantamentos topográficos atualizados, critérios e premissas a serem adotadas para o projeto, incluindo às relacionadas a EAC, bem como os aspectos ambientais a serem considerados e deverão ser avaliadas as atualizações das normativas e legislações vigentes de modo a auxiliar no desenvolvimento do projeto da estrutura.

		<b>PROJETO BLOCO 8</b>
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>93/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

## 15.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 13028:2017 – **Mineração – Elaboração e Apresentação de Projeto de Barragens para Disposição de Rejeitos, Contenção de Sedimentos e Reservação de Água**, Rio de Janeiro, RJ, 2017.

ASSUMPÇÃO, M., Pirchiner, M., Dourado, J. C., Barros, L. V. (2016). **Terremotos no Brasil: Preparando-se para eventos raros**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geofísica, nº 96/2016, p.25-29.

BARRERA, S.; Valenzuela, L.; Campaña, J. (2011). **Sand Tailings Dams: Design, Construction and Operation Proceeding of Tailings and Mine Waste 2011**. Vancouver, November 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil**. 2001. Escala: 1: 500 000 0000.

Leps, T.M. (1970). **Review of the shearing strength of rockfill**. J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol.96, No. SM4, Proc. Paper 7394, July 1970, 1159-1170.



**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>94/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**APÊNDICE A – DESENHOS**



**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>95/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**Lista de Desenho do Projeto.**

Nº SAM	Nº CONTRATADA	TÍTULO	TÍTULO SECUNDÁRIO
MINA_BLC8007-1010-O-0130	WA05520000-1-GT-DES-0001	PROJETO CONCEITUAL - MINA - ENGENHARIA – REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA	ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTROLE - ARRANJO GERAL DAS ESTRUTURAS
MINA_BLC8007-1010-O-0131	WA05520000-1-GT-DES-0002	PROJETO CONCEITUAL - MINA - ENGENHARIA – REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA	ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTROLE - ARRANJO GERAL - PLANTA E SEÇÃO TÍPICA
MINA_BLC8007-1010-O-0132	WA05520000-1-GT-DES-0003	PROJETO CONCEITUAL - MINA - ENGENHARIA – REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA	ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTROLE - TUNÉL DE RESTITUIÇÃO - PLANTA, PERFIL E SEÇÃO TÍPICA
MINA_BLC8007-1010-O-0133	WA05520000-1-GT-DES-0004	PROJETO CONCEITUAL - MINA - ENGENHARIA – REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA	ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTROLE - SISTEMA EXTRAVASOR - PLANTA, PERFIL E SEÇÃO TÍPICA
MINA_BLC8007-1010-O-0134	WA05520000-1-GT-DES-0005	PROJETO CONCEITUAL - MINA - ENGENHARIA – REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA	ESTRUTURA DE CONTENÇÃO- DIQUE DE PROTEÇÃO DA CAVA - PLANTA E SEÇÕES TÍPICAS



**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

Folha  
**96/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02

## **APENDICE B – ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO**



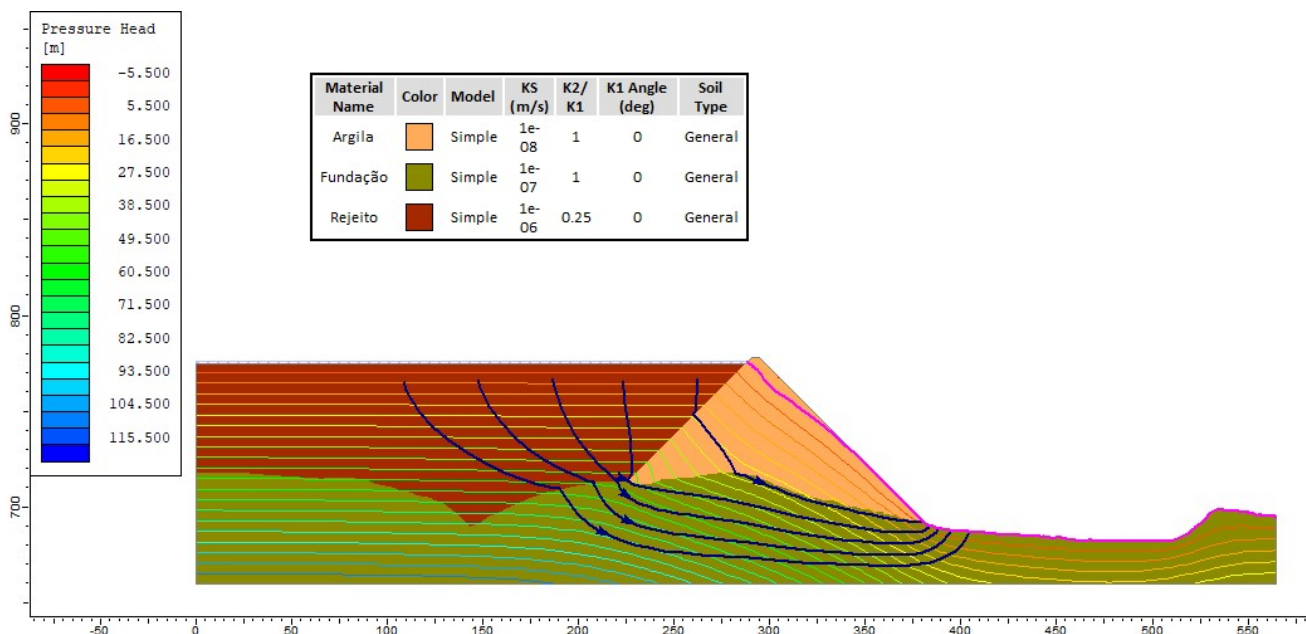
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

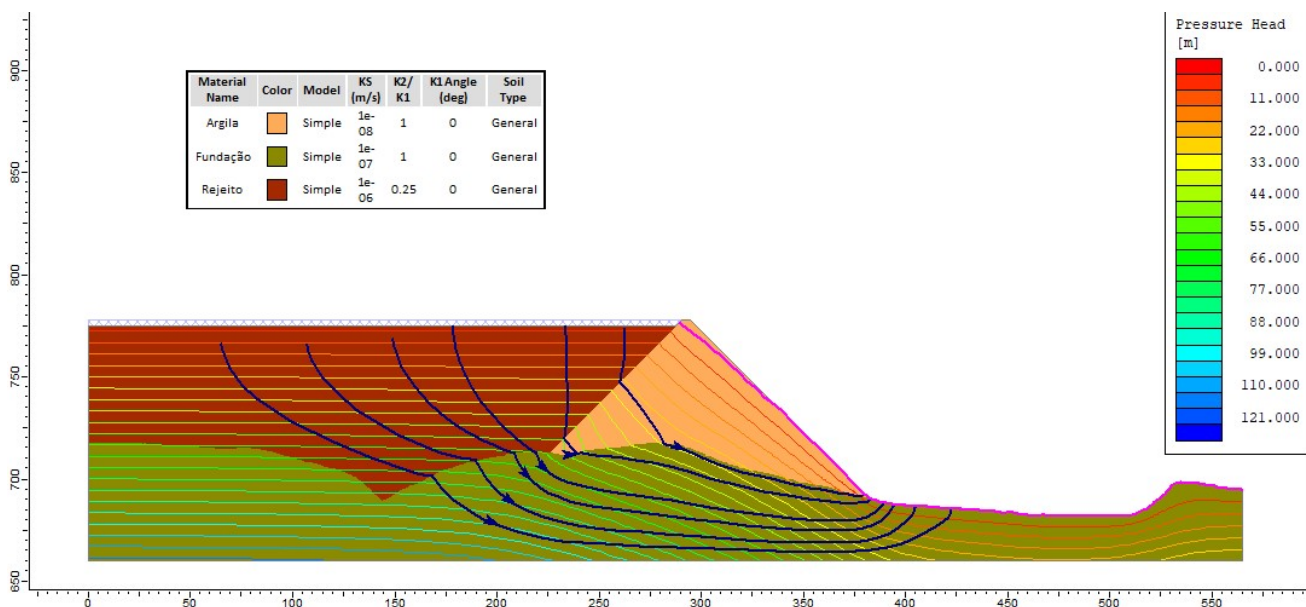
Folha  
**97/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura B.1 – Análise de percolação – Estrutura Ambiental de Contenção – Condição normal pós Dam Break – NA normal (776,00 m).**



**Figura B.2 – Análise de percolação – Estrutura Ambiental de Contenção – Condição crítica pós Dam Break – NA máximo maximorum (778,00 m).**



**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-38	Folha <b>98/104</b>
	WA05520000-1-GT-RTE-0001	Revisão 02

**APÊNDICE C – ANÁLISE DE ESTABILIDADE**

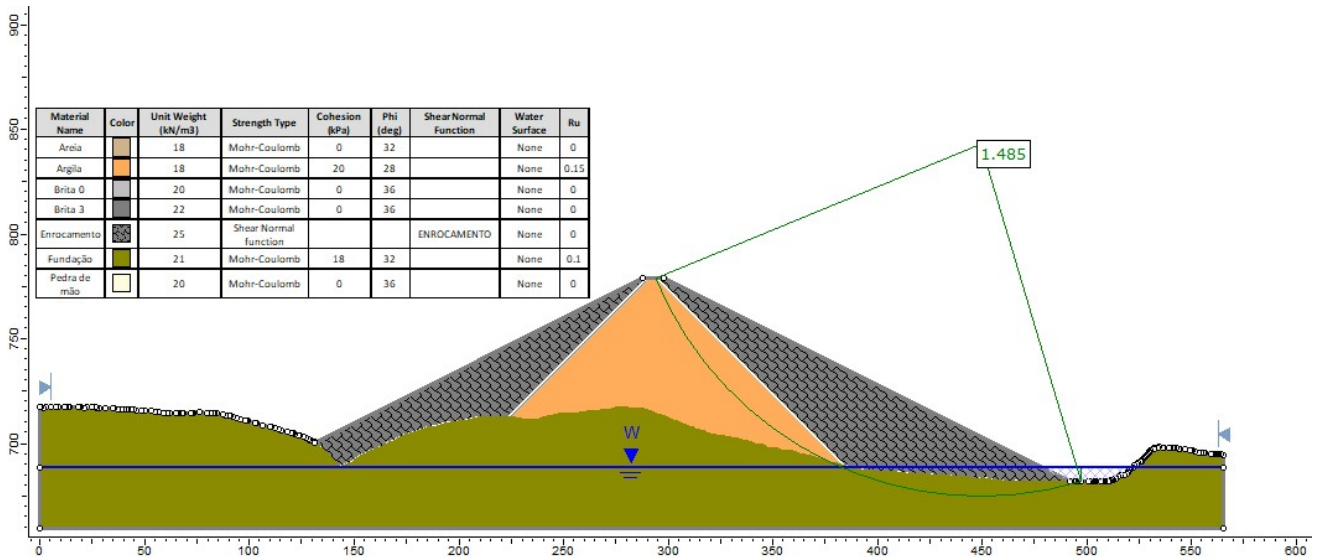
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

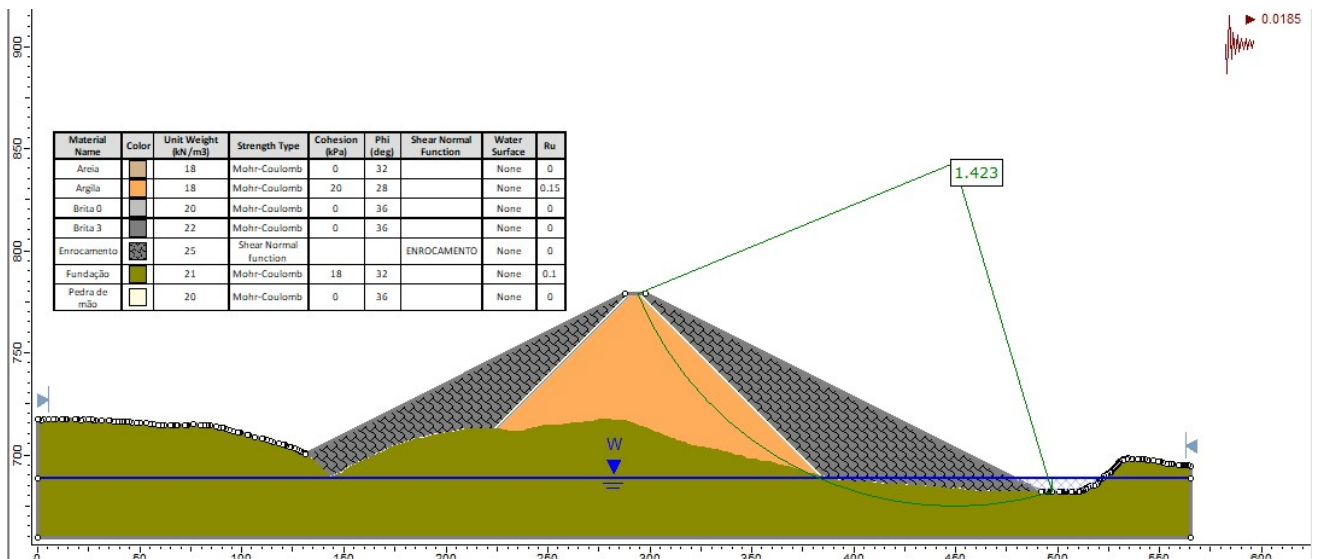
Folha  
**99/104**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura C.1 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Final de Construção – Talude de jusante – NA máximo na galeria – FS= 1,485**



**Figura C.2 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Final de Construção – Talude de jusante – NA máximo na galeria – FS = 1,423**

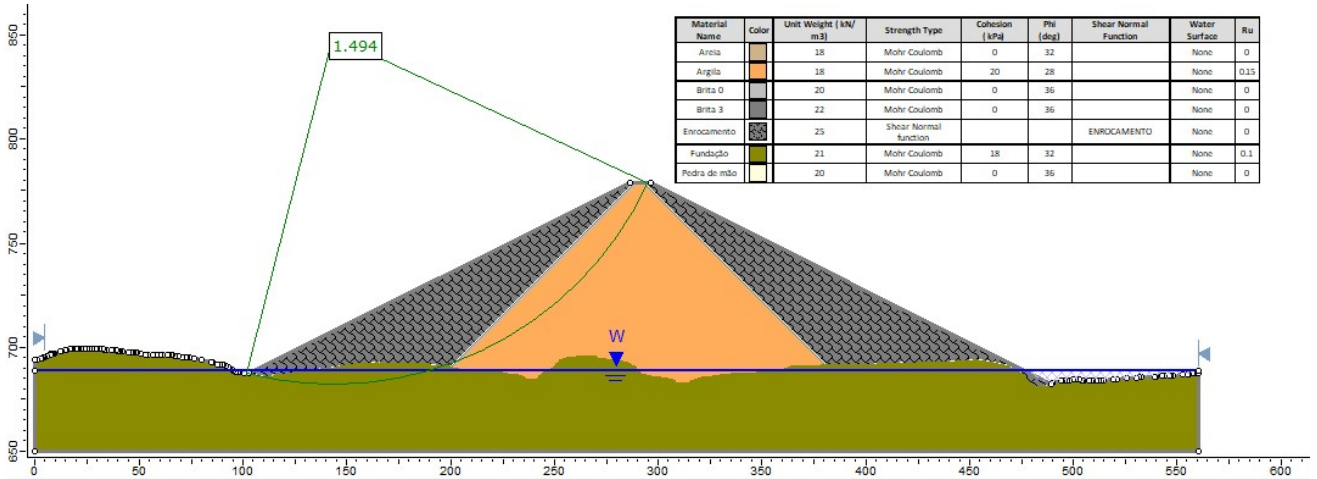
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

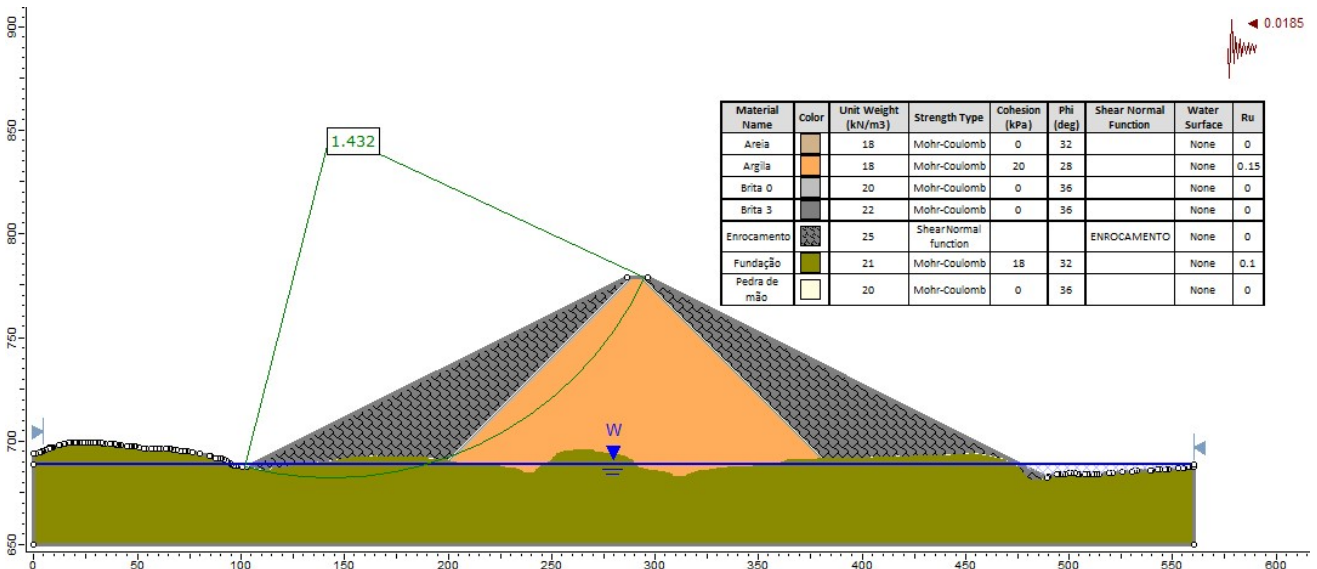
Folha  
**100/10**  
**4**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
**02**



**Figura C.3 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Final de Construção – Talude de montante – NA máximo na galeria – FS=1,494**



**Figura C.4 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Final de Construção – Talude de montante – NA máximo na galeria – FS = 1,432.**

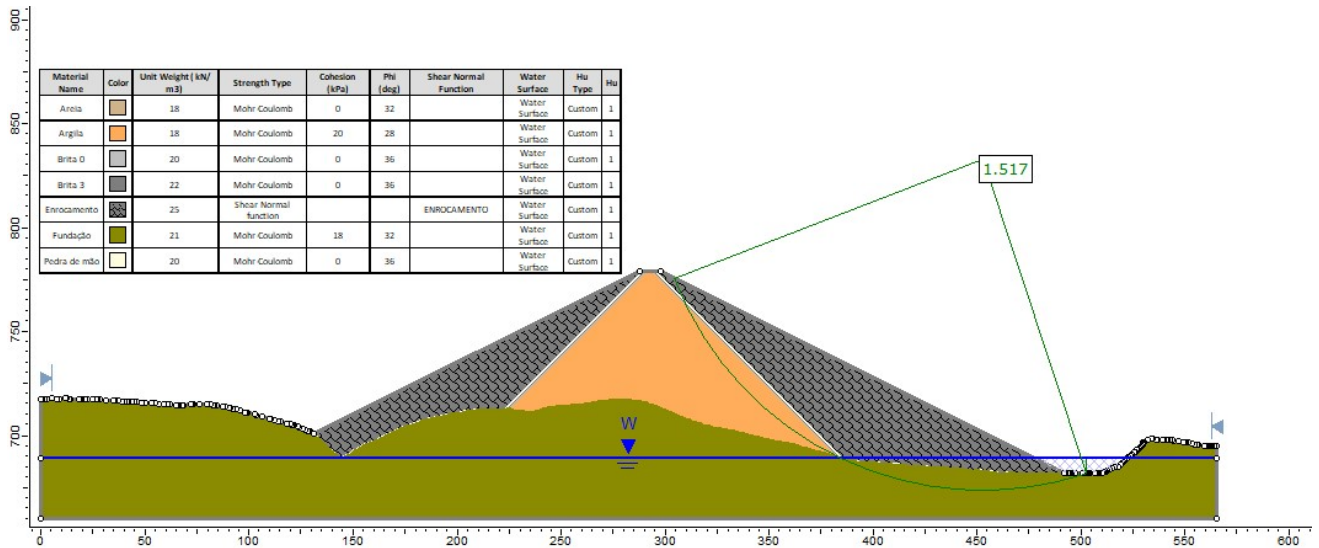
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

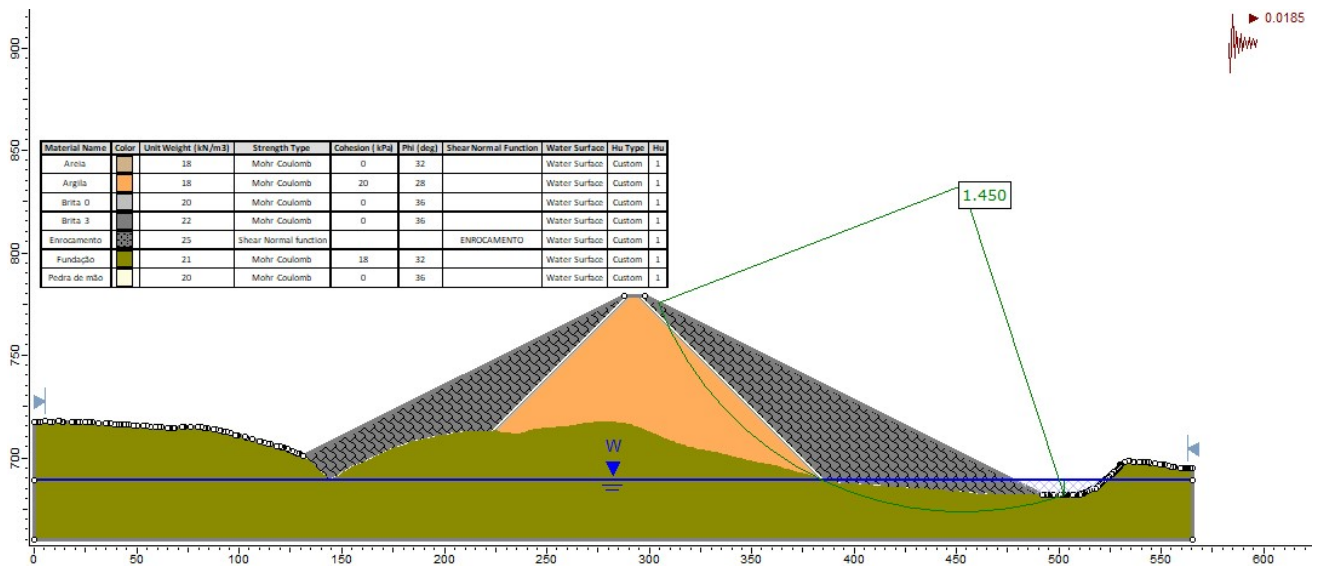
Folha  
**101/10**  
**4**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

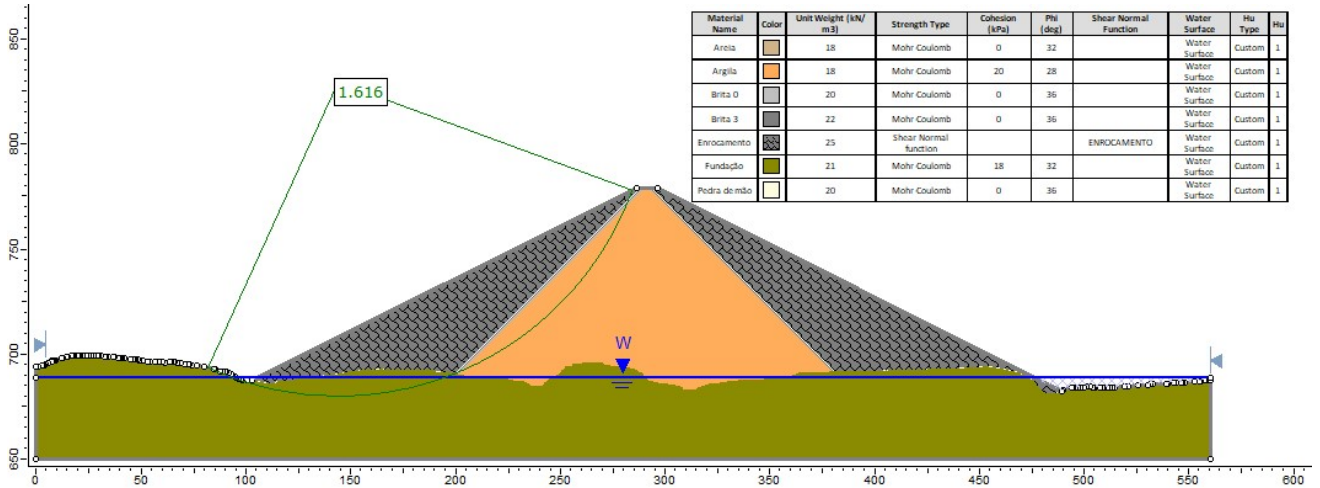
Revisão  
02



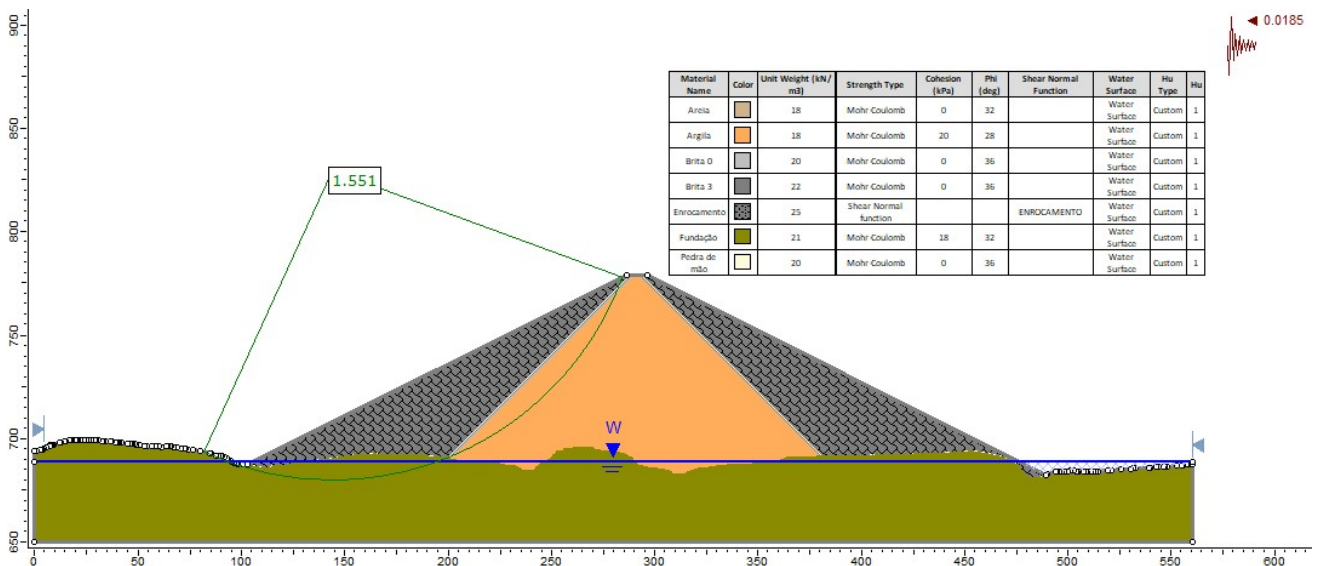
**Figura C.5 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Condição Operacional – Talude de jusante – NA máximo na galeria – FS = 1,517.**



**Figura C.6 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Condição Operacional – Talude de jusante – NA máximo na galeria – FS = 1,450.**



**Figura C.7 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Condição Operacional – Talude de montante – NA máximo na galeria – FS = 1,616.**



**Figura C.8 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Condição Operacional – Talude de montante – NA máximo na galeria – FS = 1,551.**

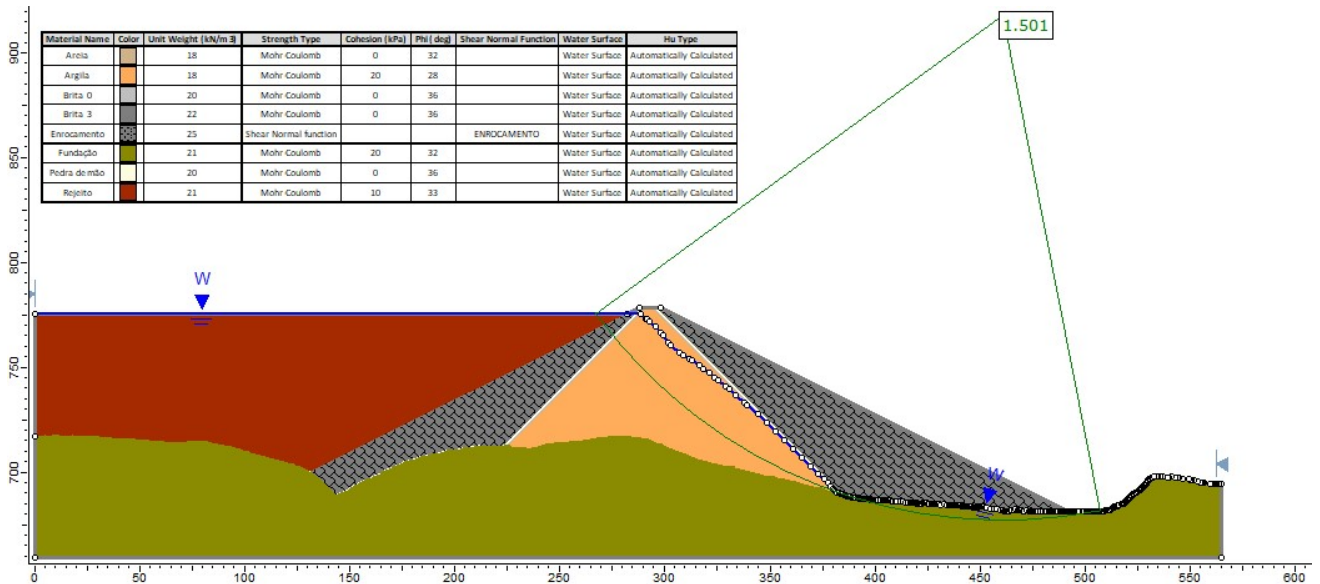
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

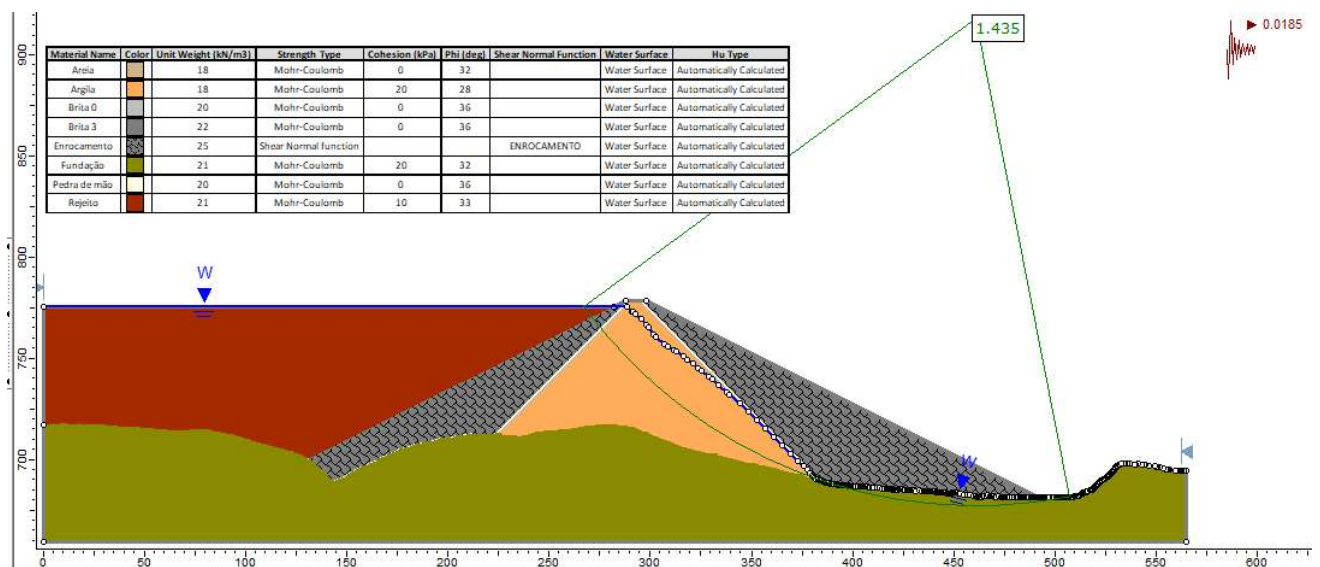
Folha  
**103/10**  
**4**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura C.9 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Cenário pós rompimento – NA normal (776,00 m) – FS = 1,501.**



**Figura C.10 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Cenário pós rompimento – NA normal (746,00 m) – FS = 1,435.**

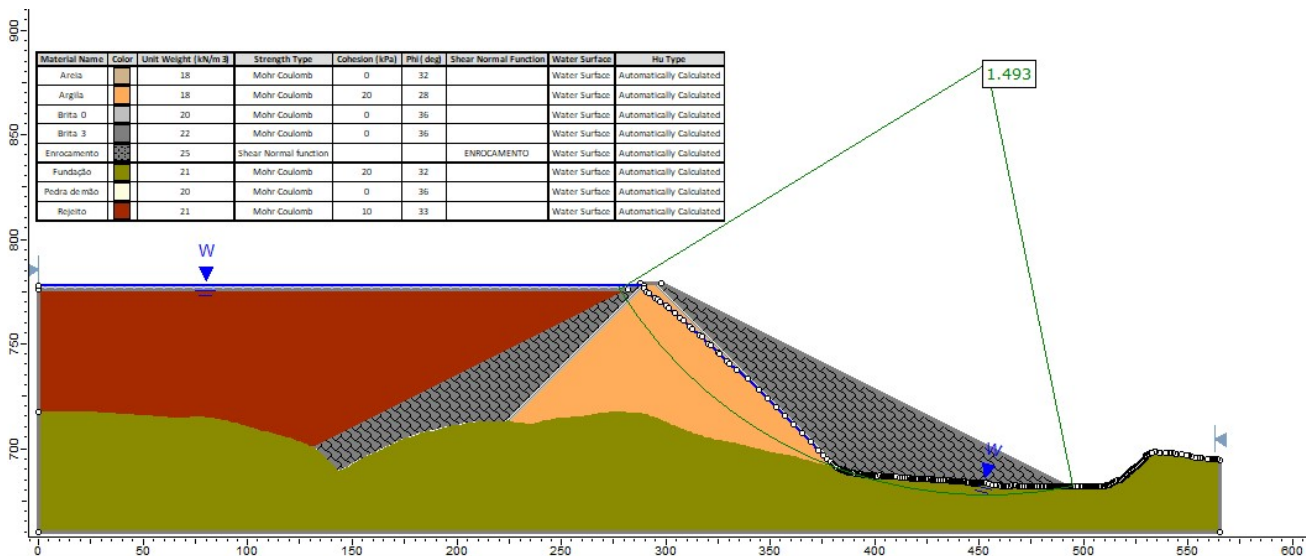
PROJETO CONCEITUAL  
MINA  
ENGENHARIA  
REVISÃO ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA  
ESTRUTURA AMBIENTAL DE CONTENÇÃO  
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA\_BLC8007-1010-G-RE-38

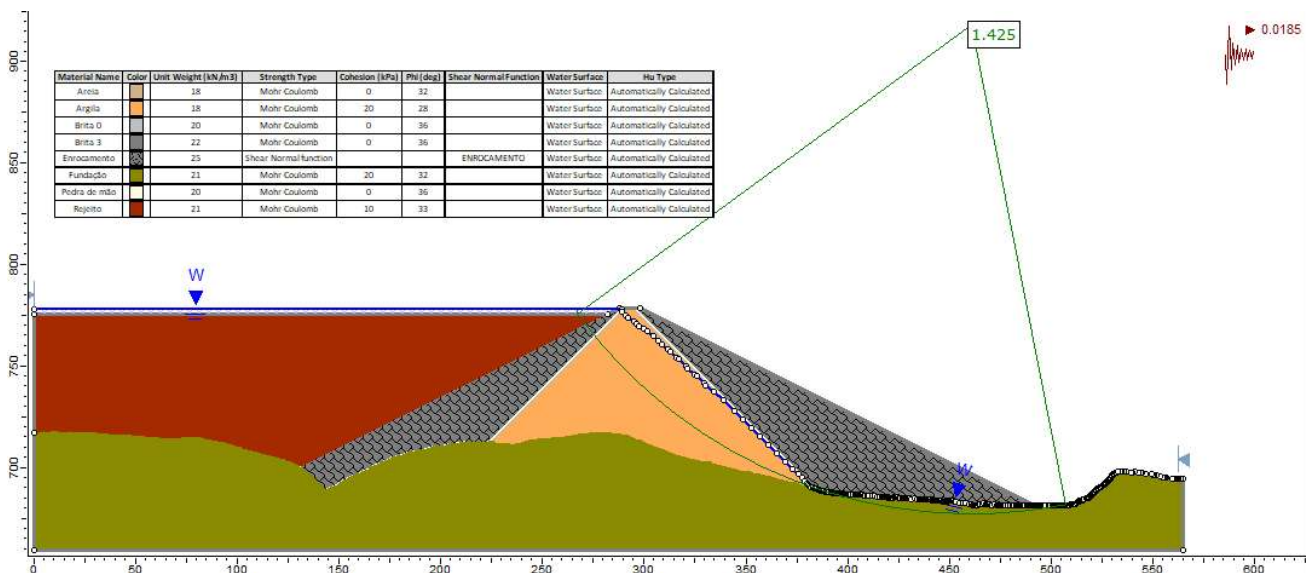
Folha  
**104/10**  
**4**

WA05520000-1-GT-RTE-0001

Revisão  
02



**Figura C.11 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção – Cenário pós rompimento – NA máximo *maximorum* (778,00 m) – FS = 1,493.**



**Figura C.12 – Análise de estabilidade – Estrutura Ambiental de Contenção Cenário pós rompimento – NA máximo *maximorum* (778,00 m) – FS = 1,425.**