

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 1/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

DISPOSIÇÃO BACKFILL

RELATÓRIO TÉCNICO

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A
 (PROJETO BLOCO 8)



PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 2/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

[illegible]

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 3/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Sumário

1.0	APRESENTAÇÃO	5
2.0	INTRODUÇÃO	6
3.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	8
4.0	CRITÉRIOS E PREMISSAS	9
5.0	INTERFERÊNCIAS	12
6.0	PLANO DE PRODUÇÃO	14
7.0	DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO NA CAVA DO PROJETO BLOCO 8	19
7.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO	21
7.2	METODOLOGIA DE DISPOSIÇÃO DO ESTÉRIL NO <i>BACKFILL</i>	27
7.3	METODOLOGIA DE OCUPAÇÃO DO RESERVATÓRIO DO BACKFILL	28
7.4	FICHA TÉCNICA DO BACKFILL	29
8.0	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	29
9.0	ESTUDOS GEOTÉCNICOS	30
9.1	TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO	30
9.2	ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO	30
9.3	ANÁLISES DE ESTABILIDADE	33
9.3.1	Seções de Análise	34
9.3.2	Análises de Estabilidade para o <i>Backfill</i>	36
9.3.3	Análise Sísmica	38
9.3.4	Sismo Desencadeado por Detonações	45
9.4	DRENAGEM INTERNA – REGIÃO DO EMPILHAMENTO EM ESTÉRIL	47
9.4.1	Caracterização Climática	47
9.4.2	Balanço Hídrico	49
9.4.3	Localização dos dispositivos de drenagem interna e área de drenagem	51
9.4.4	Determinação da Vazão Nominal de Projeto	51
9.4.5	Determinação da Seção Drenante para o Dreno de Fundo do Backfill	52
9.5	DRENAGEM INTERNA – DISPOSIÇÃO EM REJEITO	54
9.5.1	Dimensionamento dos Tapetes De Ombreira	57
9.5.2	Dimensionamento do Tapetes Central	59
10.0	CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM PARA O BACKFILL	60
11.0	ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS	60
11.1	CHUVAS DE PROJETO	61
11.2	VAZÕES DE PROJETO	66
12.0	ESTUDOS HIDRÁULICAS	68

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 4/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

12.1	BERMAS DA CAVA	69
12.2	DESCIDAS D'ÁGUA	70
12.3	CANAIS PERIFÉRICOS	71
12.4	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DA CAVA	72
12.5	DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE BOMBEAMENTO DO SUMP	73
13.0	SISTEMA EXTRASOR DO BACKFILL	74
14.0	PLANO DE INVESTIGAÇÃO	74
15.0	PLANO DE MONITORAMENTO	74
15.1	PLANO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	75
15.2	MONITORAMENTO VISUAL	76
15.3	MONITORAMENTO POR INSTRUMENTOS	76
16.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
17.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICE A – ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO – DIMENSIONAMENTO DRENAGEM INTERNA REGIÃO NOROESTE		84
APÊNDICE B – ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO – ESTABILIDADE GEOTÉCNICA DAS SEÇÕES A-A' - BACKFILL		88
APÊNDICE C – ANÁLISE ESTABILIDADE GEOTÉCNICA – SEÇÕES A-A' E B-B'		91
APÊNDICE D – ANÁLISE PSEUDO ESTÁTICAS – SEÇÕES A-A' E B-B'		96
APÊNDICE E – DESENHOS		98

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 5/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

1.0 APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta o Projeto Conceitual do *Backfill*, parte integrante do Sistema de Disposição de Rejeitos do Projeto Bloco 8, itemizado da seguinte maneira:

- Item 2 – Introdução: apresenta uma breve introdução do projeto, indicando as partes envolvidas, a localização do empreendimento e o contexto geral.
- Item 3 – Documentação disponibilizada pela SAM para o desenvolvimento do presente estudo;
- Item 4 – Premissas Adotadas: são descritas os critérios e premissas adotadas para o desenvolvimento do projeto conceitual, firmado entre a WALM e a SAM.
- Item 5 – Interferências de projeto;
- Item 6 – Sintetiza o plano de produção de Estéril para o projeto;
- Item 7 – Apresenta a contextualização do sistema de disposição de estéril e rejeito na Cava do Projeto Bloco 8;
- Item 8 – Aspectos Geológico-Geotécnico: referente as condições geológicas da área de implantação do *Backfill*;
- Item 9 – Estudos Geotécnicos: sintetiza todos os estudos e dimensionamentos geotécnicos desenvolvidos para o *Backfill*, com as análises de percolação e estabilidade e dimensionamento da drenagem interna;
- Item 10 – Concepção do Sistema de Drenagem Superficial
- Item 11 – Estudos Hidrológicos: é apresentado os estudos hidrológicos para determinação das vazões de projeto;
- Item 12 – Estudos Hidráulicos: é apresentado os estudos hidráulicos das estruturas do projeto;
- Item 13 – Sistema Extravasor do *Backfill*;
- Item 14 – Plano de Investigações Geológico-Geotécnicas;
- Item 15 – Plano de Monitoramento: é apresentado o plano de monitoramento e instrumentação proposto para o Sistema de Disposição de Rejeitos;
- Item 16 – Conclusões e Recomendações; e
- Item 17 - Referências Bibliográficas.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 6/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

2.0 INTRODUÇÃO

O presente documento apresenta o Projeto em Nível Conceitual da disposição do estéril e rejeitos nas porções exauridas da Cava do Projeto Bloco 8, denominado como “*Backfill*”, de propriedade da Sul Americana de Metais S.A. (SAM). O projeto está localizado nas proximidades do distrito de Vale das Cancelas, pertencente aos municípios de Grão Mogol, localizada no norte do estado de Minas Gerais.

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 Projeto do Bloco 8 é realizado pela estrada vicinal não pavimentada. A Figura 2.1 apresenta a localização do projeto.



Figura 2.1 - Localização da área do Projeto Bloco 8.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 7/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

O Projeto Bloco 8 prevê a disposição de estéril e rejeito para atendimento aos 18 anos de operação, sendo levado em consideração que as Barragens localizadas nas proximidades da Cava deverão ser construídos em estéril gerado da abertura das frentes de lavra, de modo a reduzir os volumes de disposição de estéril. A redução do volume total de estéril a ser depositado tem como consequência menores requisições de áreas para a construção de empilhamentos, com consequentemente redução de impactos ambientais.

Para os estudos de disposição para atendimento aos volumes de estéril e rejeito do Projeto Bloco 8, a solução empregada para atendimento ao Plano de Produção disponibilizado pela SAM para os 18 anos de operação, consiste em disposição de rejeitos (rejeito grosso, fino e lama) em barragens de rejeito através da técnica de disposição hidráulica, com ocupação dos vales do córrego Lamarão e Mundo Novo, denominadas no presente estudo como “**Barragem 1**” e “**Barragem 2**” respectivamente. As Barragens serão responsáveis por comportar o volume total dos rejeitos gerados no empreendimento para os 18 anos de operação, e consumirão parte do estéril gerado ao longo dos anos para a composição dos maciços iniciais das Barragens 1 e 2 e alteamentos da Barragem 2 para as etapas do 1º e 2º Alteamento.

A utilização do estéril como material de construção nesta etapa dos estudos, foi baseada em informações previas obtidas dos furos exploratórios e de conhecimento geológico da área, onde verifica-se que a fração solo do estéril apresenta características granulométricas adequadas. Ressalta-se que o estéril está sendo caracterizado pela SAM de modo a confirmar a viabilidade de sua utilização para as demais etapas do projeto.

O excedente de estéril será direcionado para a cava do empreendimento, em áreas exauridas da operação. A disposição do estéril nas zonas exauridas da cava tem como vantagens principais a recuperação das áreas impactadas durante a exploração do minério na Cava do Projeto Bloco 8 e redução significativa do impacto ambiental nas áreas do empreendimento, uma vez que não será necessário a utilização de áreas naturais da região para a construção do empilhamento.

Este tipo de técnica de disposição privilegia o meio ambiente e o descomissionamento das áreas exauridas sendo esta técnica definida como Sequenciamento Verde ou “*Backfilling*”. O *Backfill* para o Projeto Bloco 8 será responsável por conter todo o excedendo do estéril não utilizável como material de construção e será construído continuamente, respeitando o sequenciamento de exploração

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 8/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

proposto pela SAM as mudanças de posicionamento dos britadores primários na área da cava e área prevista para a Pilha de Minério de Oportunidade.

Além do estéril, o *Backfill* apresentará nas etapas finais de operação área disponível para disposição de rejeitos. Para esta condição, a disposição do estéril na área da cava deverá manter áreas apropriadas para a disposição de rejeitos, considerando lançamento hidráulico. Além disto, serão previstos dispositivos de drenagem superficial e interna para atendimento as condições de operação do *Backfill* e construção de dispositivo extravasor para atendimento a máxima ocupação do *Backfill*.

Os estudos hidrológicos, hidráulicos e geotécnicos realizados em nível Conceitual para o *Backfill* são apresentados nos itens subsequentes do presente documento.

3.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para o desenvolvimento do Projeto Conceitual do *Backfill* para o Projeto Bloco 8, foram considerados os seguintes documentos:

- BLC8007-O-0001_R0 - Topografia Bloco 8: Base topográfica da área do Projeto Bloco 8 em sistema de projeção UTM SAD 69 Fuso 23 S com curvas de nível de metro a metro – Elaborado pela SAM em abril de 2013;
- BLC8007-M-0004_R00 - Plano Diretor: Plano diretor desenvolvido para o Projeto Bloco 8, baseado nos estudos realizados em 2013 para as estruturas de disposição, sendo apresentados as interferências de projeto – Elaborado pela SAM em janeiro de 2018.
- PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1: Plano de Produção do Projeto Bloco 8 com a distribuição em massa dos rejeitos, estéreis, Minério de Baixo Teor e Produtos gerados durante os 18 (dezoito) anos de operação do Projeto Bloco 8 – Elaborado pela VENTURINI Consultoria em junho de 2018;
- LINHAS DE CONTORNO: Cava matemática dos anos 4, 7 10,14 e 18 do Projeto Bloco 8 no sistema de projeção UTM SAD 69 Fuso 23 S – Elaborado pela VENTURINI Consultoria em junho de 2018;
- BLC8007-2010-I-0001_R02 - Platôs e Acessos: Estudo relativo ao Platô Industrial do Projeto Bloco 8 – Elaborado pela SAM em abril de 2018;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 9/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Acesso Mina: Localização do Acesso principal entre a Planta Industrial e área de Cava do Projeto Bloco 8 – Elaborado pela SAM em abril de 2018;
- POSICIONAMENTO BRITAGENS: Posicionamento das Britagens do Projeto Bloco 8 para os 18 anos de operação – Elaborado pela VENTURINI Consultoria em setembro de 2017;
- MINA_BLC8007-1010-G-RE-02: Relatório de estudos de viabilidade locacional elaborado pela WALM para o presente estudo;
- MINA_BLC8007-1010-G-RE-08: Relatório de estudo de alternativa tecnológica elaborado pela WALM para o presente estudo;
- MINA_BLC8007-1010-G-RE-03: Relatório de critérios e premissas de projeto desenvolvidos pela WALM para o presente estudo; e
- Pilha de Oportunidade: Estudos geométricos realizados para a Pilha de Oportunidade na área da cava do projeto Bloco 8 – Elaborado pela VENTURINI Consultoria em junho de 2018.

4.0 CRITÉRIOS E PREMISSAS

O estudo em nível conceitual para o *Backfill* foi baseado nas seguintes premissas:

- Para os estudos será considerado que o estéril a ser depositado no Backfill é classificado como inerte e não perigoso, conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2000);
- O empilhamento do estéril no *Backfill* deverá ser concebido a partir da disposição de forma ascendente na área da Cava do Projeto Bloco 8;
- Interferências e limites baseados nos documentos disponibilizados pela SAM, sendo representado por:
 - “VRP-2010-M-0004_R00” – Plano Diretor do Projeto Bloco 8 (cavidades, ADA, limites DNPM, etc.);
 - “Estudo de relocação da Britagem” – Posicionamento das britagens;
 - “Acesso Mina – Rampa de acesso principal entre a cava do Projeto Bloco 8 e a Planta Industrial;
 - “VRP-2010-I-0001_R02 - Platôs e Acessos” – Projeto de terraplenagem da Unidade industrial do Projeto Bloco 8; e
 - “Pilha de Oportunidade” – Projeto geométrico da Pilha de Minério de Oportunidade do Projeto Bloco 8;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 10/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Os estudos geométricos para o *Backfill* foram realizados a partir das bases topográficas das Cavas do projeto Bloco 8, conforme documento “LINHAS DE CONTORNO”, sendo complementado pela base topográfica do empreendimento, conforme documento “VRP-2010-O-0001_R0”;
- A estrutura de disposição de estéril na área do *Backfill*, deverá atender os volumes requeridos pela SAM no Plano de Produção, devendo considerar a disposição de todo volume não utilizado para a construção dos barramentos 1 (maciço inicial) e 2 (maciço inicial e alteamentos), localizados nos córregos Lamarão e Mundo Novo respectivamente;
- A disposição do estéril na área da cava deverá ser realizada de maneira sequenciada, considerando os avanços da lavra, de acordo com o Sequenciamento e Plano de Produção desenvolvidos pela SAM no documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1” e deverão atender ainda os avanços das Britagens do Projeto Bloco 8; apresentados no documento “POSICIONAMENTO BRITAGENS”;
- O *Backfill* deverá ser implantado fora das áreas pré-determinada para a disposição do Minério de Oportunidade do Projeto Bloco 8, considerando os estudos realizados pela SAM apresentados no documento ““Pilha de Oportunidade””;
- Além do sequenciamento anual, posição das britagens e Pilha de Minério de Oportunidade, foi considerado nos estudos, a adoção de uma faixa de segurança geotécnica da estrutura do *Backfill* e os taludes operacionais da cava, de modo a permitir praça de trabalho para as atividades operacionais da SAM. Para os estudos foi adotado faixa de segurança mínima de 90,00 metros em relação aos taludes em fase de avanço e/ou exploração;
- As alternativas foram desenvolvidas para atendimento ao plano de balanço de massas do empreendimento apresentado no documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”;
- O plano disponibilizado pela SAM apresenta as distribuições em massas do estéril, sendo considerado para a conversão das quantidades em volume o peso específico igual a 1,60 t/m³, sendo informado que os dados apresentados nos documentos supracitados não contemplam o fator de empolamento;
- Para tal, foi considerado um fator de empolamento de 30% para o estéril;
- A disposição do rejeito considerando o método de disposição hidráulica deverá ser realizada nos últimos anos de operação, devendo ser considerado a utilização de rejeitos grossos e/ou finos;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 11/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Devido a formação de reservatório, foi previsto a utilização de um sistema de drenagem interna para a coleta e direcionamento dos fluxos percolados na região;
- O dispositivo de drenagem interna para a região do reservatório do *Backfill* é constituído por filtro vertical, tapetes de ombreira drenos de condução do fluxo de percolação para região central da pilha de estéril e drenos de pé, com ponto de desagüe no fundo da Cava do Projeto Bloco 8;
- Na região exclusiva do empilhamento, será realizado a implantação de um dreno de fundo para a coleta dos possíveis fluxos oriundos de infiltração por água de chuva e recarga, com o desagüe sendo realizado por um dreno de pé e fluxos direcionados para o fundo da cava do Projeto Bloco 8;
- Os dispositivos de drenagem superficial do *Backfill* irão direcionar os fluxos para o fundo de cava;
- Nos estudos geométricos desenvolvidos para o *Backfill*, foi considerado a compatibilização da drenagem do córrego Mundo Novo e a área da cava para a condução dos fluxos entre a cavidade e a cava, com a restrição do empilhamento nesta região na EL. 777,50 m;
- Desta maneira, os fluxos desta área serão direcionados para o fundo da cava do Projeto Bloco 8, através dos dispositivos de drenagem superficial da pilha; e
- Para os empilhamentos do estéril no *Backfill*, será considerado a geometria apresentada a seguir:
 - Taludes de montante com inclinação de 2,00H : 1,00 V(26,56°);
 - Bermas com 6,00 m de largura; e
 - Desnível máximo entre bermas de 10,00 metros.
- Para as análises sísmicas serão realizadas análises pseudo-estáticas para as condições de sismo natural e desencadeado pelas detonações na cava do Projeto Bloco 8, sendo considerado:
 - **Sismo Natural:** Aceleração de pico obtida a partir dos estudos presentes no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-34-00;
 - **Sismo Desencadeado por Detonações:** velocidade de pico obtida a partir dos estudos realizados pela SAM/VMA de acordo com o documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-50_R00;

Os estudos em nível conceitual da Disposição em *Backfill* foram realizados baseados nos seguintes critérios:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 12/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Para as análises de estabilidade para o *Backfill* foram considerados as normativa NBR 13.028 (ABNT,2017) e NBR 13.029 (ABNT, 2017) que apresentam as diretrizes para a elaboração de Barragens de Rejeito e Pilha de Estéril, respectivamente;
- Para o dimensionamento do dreno de fundo para os trechos em deposição de estéril será utilizada a metodologia de WILKINS (1956) para escoamento turbulento, considerando o Balanço Hídrico na região, sendo os dados de precipitação e evaporação obtidos de:
 - Os dados de precipitação foram obtidos junto a estações metereológicas da ANA, através dos tratamentos das series históricas existente para as estações;
 - Os dados de evapotranspiração utilizados no cálculo dos drenos serão os obtidos junto as Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (INMET, 2009);
- Para o dimensionamento do filtro vertical e tapete drenante na região do *Backfill*, onde o depósito apresenta reservatório, o dispositivo de drenagem interno será dimensionado considerando os fluxos percolados maciço, devendo ser somada a estas contribuições as vazões infiltradas pela estrutura, por se tratar de uma deposição de estéril;
- Desta forma, a vazão de projeto dar-se-á pela soma das vazões de percolação pelo maciço e pelo valor de recarga por infiltração obtida através do Balanço Hídrico;
- A determinação das dimensões dos tapetes e do filtro serão obtidas através da metodologia de DARCY para fluxos laminares;
- Análises de estabilidade e percolação serão realizadas a partir do software Slide, versão 6.0, desenvolvido pela *Rocscience*;
- As análises de percolação serão realizadas a partir do Método de Elementos Finito, considerando o software Slide, versão 6.0, desenvolvido pela *Rocscience*;, onde as vazões e a posição do nível freático são obtidas a partir dos parâmetros de permeabilidade dos materiais e das condições de contorno do reservatório;
- Para os estudos de estabilidade foi considerado o critério de ruptura de MOHR-COULOMB, e a teoria do equilíbrio limite pelo Método de GLE/MORGENSTERN-PRICE;

5.0 INTERFERÊNCIAS

As interferências locais existentes foram levantadas através da base topográfica e cadastral fornecida pela SAM, são elas:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 13/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Limite da área diretamente afetada (ADA) pelo empreendimento conforme apresentado no documento “VRP-2010-M-0004_R00” que apresenta o Plano Diretor desenvolvido pela VENTURINI Consultoria;
- Cavidades existentes na região do projeto conforme apresentado no documento “VRP-2010-M-0004_R00”;
- Estudos geométricos dos Platôs e Acessos da Área Industrial do Projeto Bloco 8 representados no documento “VRP-2010-I-0001_R02 - Platôs e Acessos”;
- Sequenciamento das Cavas - Ano 0 a Ano 18, conforme documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”, desenvolvido pela VENTURINI Consultoria em 2018;
- Posição das britagens em relação ao sequenciamento da Lavra de 18 anos, conforme documento “Estudo de relocação da Britagem” desenvolvido pela VENTURINI Consultoria;
- Rampa de acesso entre a Mina e a Unidade de Beneficiamento do Projeto Bloco 8, conforme documento “Acesso Mina”, disponibilizado pela SAM; e
- Arranjo geométrico da Pilha de Minério de Oportunidades apresentado no documento “Pilha de Oportunidade” elaborada pela VENTURINI Consultoria.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 14/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02



Figura 5.1 – Mapa de Interferências – Projeto Bloco 8.

6.0 PLANO DE PRODUÇÃO

Para o desenvolvimento dos estudos foram consideradas as informações relativas ao Balanço de Massas/Plano de Lava desenvolvido pela SAM para o Projeto Bloco 8, conforme documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”. O plano foi desenvolvido em termos das quantidades em massa (t - Toneladas) gerados ao longo dos 18 (dezoito) anos de exploração da cava, e apresenta as gerações de Estéril, Rejeito e Minério de Oportunidade ano a ano.

Para o presente documento, os estudos referentes ao Plano de Produção foram concentrados no volume de estéril gerados na cava do Projeto Bloco 8, definidos como estéril compactado e estéril

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 15/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

não compactado. A Tabela 6.1 apresenta o plano de produção em massa para o estéril (ano a ano) disponibilizado pela SAM, extraída do documento "PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1".

Tabela 6.1 – Plano de Produção em Massa para o Estéril gerado nas explorações da Cava do Projeto Bloco 8

Ano	Estéril Compactado (10 ³ x t)	Estéril Não Compactado (10 ³ x t)	Estéril total (10 ³ x t)
0	94,00	13.909,00	14.003,00
1	670,00	19.887,00	20.557,00
2	654,00	10.052,00	10.706,00
3	64,00	17.798,00	17.862,00
4	802,00	17.487,00	18.289,00
5	89,00	9.569,00	9.658,00
6	203,00	18.011,00	18.214,00
7	1.167,00	17.532,00	18.699,00
8	74,00	6.076,00	6.150,00
9	415,00	4.924,00	5.339,00
10	346,00	10.483,00	10.829,00
11	211,00	5.357,00	5.568,00
12	1.138,00	3.921,00	5.059,00
13	4.476,00	5.260,00	9.736,00
14	73,00	5.303,00	5.376,00
15	115,00	3.834,00	3.949,00
16	437,00	3.473,00	3.910,00
17	1.057,00	4.804,00	5.861,00
18	441,00	8.093,00	8.534,00
Total	12.526,00	185.773,00	198.299,00

Ressalta-se que o Plano de Produção apresenta as massas geradas desde a atividade do "pré stripping" da Cava até o ano 18, referente ao último ano de operação do empreendimento.

Para o estéril, foi considerado para o estudo que o material oriundo da exploração da Cava do Projeto Bloco 8 apresente peso específico igual a 1,60 t/m³ (16,00kN/m³). Além disto, os estudos desenvolvidos pela SAM para o Balanço de Massas, apresentam os volumes gerados sem o empolamento do material, estimado em 30% em relação ao volume total gerado.

Assim, para o cálculo da conversão da massa total de estéril gerado ao longo dos 18 (dezoito) anos de operação foi considerada a relação de massa específica apresentada pela Equação 6.1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 16/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

$$\gamma_s = \frac{M_t}{V_t}$$

Equação 6.1

Na qual;

γ_s : Massa específica (t/m³);

Mt: Massa total dos Estéreis previstas no plano de produção da SAM (t);e

Vt: Volume total de rejeitos gerados em função do plano (m³).

Para atendimento ao empolamento, o resultado obtido deverá ser multiplicado por (1,30) relativo a condição de expansão do volume do material após escavado, estimado em 30%.

A Tabela 6.2 apresenta os volumes de estéril a serem gerados nos estudos realizados pela WALM, considerando as condições estabelecidas para o estéril e as Massas apresentadas no plano de produção representado no documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”.

Tabela 6.2 – Cálculo do Volume total de Estéril a ser gerado para os 18 Anos de Operação do Projeto Bloco 8.

Ano	Estéril Compactado (10³ x t)	Estéril Não Compactado (10³ x t)	Estéril total (10³ x t)	Estéril total (10³ x m³)	Estéril total (considerando empolamento) (10³ x m³)	Estéril acumulado (considerando empolamento) (10³ x m³)
0	94,00	13.909,00	14.003,00	8.751,88	11.377,44	11.377,44
1	670,00	19.887,00	20.557,00	12.848,13	16.702,56	28.080,00
2	654,00	10.052,00	10.706,00	6.691,25	8.698,63	36.778,63
3	64,00	17.798,00	17.862,00	11.163,75	14.512,88	51.291,50
4	802,00	17.487,00	18.289,00	11.430,63	14.859,81	66.151,31
5	89,00	9.569,00	9.658,00	6.036,25	7.847,13	73.998,44
6	203,00	18.011,00	18.214,00	11.383,75	14.798,88	88.797,31
7	1.167,00	17.532,00	18.699,00	11.686,88	15.192,94	103.990,25
8	74,00	6.076,00	6.150,00	3.843,75	4.996,88	108.987,13
9	415,00	4.924,00	5.339,00	3.336,88	4.337,94	113.325,06
10	346,00	10.483,00	10.829,00	6.768,13	8.798,56	122.123,63
11	211,00	5.357,00	5.568,00	3.480,00	4.524,00	126.647,63
12	1.138,00	3.921,00	5.059,00	3.161,88	4.110,44	130.758,06
13	4.476,00	5.260,00	9.736,00	6.085,00	7.910,50	138.668,56
14	73,00	5.303,00	5.376,00	3.360,00	4.368,00	143.036,56
15	115,00	3.834,00	3.949,00	2.468,13	3.208,56	146.245,13
16	437,00	3.473,00	3.910,00	2.443,75	3.176,88	149.422,00
17	1.057,00	4.804,00	5.861,00	3.663,13	4.762,06	154.184,06
18	441,00	8.093,00	8.534,00	5.333,75	6.933,88	161.117,94
Total	12.526,00	185.773,00	198.299,00	123.936,88	161.117,94	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 17/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

A partir dos cálculos realizados, verifica-se que serão gerados ao longo dos 18 (dezoito) anos de operação do Projeto Bloco 8 levaram a um volume total de 161.117.937,50 m³ (161,11Mm³) de estéril.

Para o presente estudo, foi presumido a partir das características granulométricas do material e descrição dos furos exploratórios realizados na área da Cava do Projeto Bloco 8, que os solos da abertura da lavra apresentam características adequadas, como material de construção dos barramentos. Desta forma, como premissa de estudo, foi considerado a utilização do estéril como material de construção, para as barragens de rejeito do empreendimento.

As Barragens de Rejeito serão responsáveis por armazenar todo o rejeito gerado ao longo dos 18 Anos de operação do Projeto Bloco 8, sendo constituída por dois barramentos construído nas drenagens do córrego Lamarão e Mundo Novo, denominados no presente estudo como Barragem 1 e Barragem 2 respectivamente.

Para os estudos, o estéril gerado ao longo dos anos de operação do empreendimento será utilizado para a construção dos maciços iniciais das Barragens 1 e 2 e para as duas etapas de alteamento da Barragem 2. Os estudos em nível conceitual para as Barragens 1 e 2 são apresentados nos documentos “MINA_BLC8007-1010-G-RE-31” e “MINA_BLC8007-1010-G-RE-32”.

Os estudos mostram que a Barragem 2 iniciará as suas operações em conjunto com a exploração do empreendimento, com o maciço inicial na EL. 890,00 m, e volume total de construção de 17,13Mm³ e 2,57Mm³ do dique de sela para fechamento do reservatório na sua porção sul (área onde encontra-se os sumps de contenção para armazenamento das descargas da planta). O volume para a construção destas estruturas deverá contemplar o consumo total do estéril do *pré-stripping* (abertura da lavra) e ainda materiais da área das escavações obrigatórias da construção da Planta Industrial e de possíveis áreas de empréstimo na região do reservatório, sendo este volume de empréstimo estimado em 5,32 Mm³. Segundo os estudos realizados pela WALM para a Barragem 2 o primeiro Alteamento da Barragem 2, contemplar a elevação da estrutura para a EL. 905,00 m (alteamento de 15,00 m) e deverá estar concluído no final do Ano 3. Para a construção deste alteamento, serão necessários 5,02 Mm³ de estéril gerado na Cava nos Anos 1 e 2 de operação. Para o último alteamento da Barragem 2, que prevê a elevação da crista da barragem para a EL. 915,00 m (cota final da barragem), o mesmo deverá estar concluído antes do início das atividade do Ano 9 de operação e prevê o alteamento efetivo será de 10,00 m, sendo necessário um volume total de estéril

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 19/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

A partir dos cálculos apresentados na Tabela 6.3, verifica-se que o volume total de estéril a ser depositado na região do Backfill é de 121.163.561,98 Mm³.

Assim, o arranjo geométrico para o Backfill foi projetado para atendimento ao volume supracitado, considerando as interferências de projeto listadas no item 5.0.

7.0 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO NA CAVA DO PROJETO BLOCO 8

Para o atendimento aos volumes requeridos do estéril e do rejeito a ser gerado nos 18 anos de operação do Projeto Bloco 8, foi realizado o estudo de alternativas para as estruturas de contenção dos materiais gerados e as características e/ou metodologias a serem consideradas para a construção destas estruturas.

Para o armazenamento dos rejeitos do Projeto Bloco 8, foi considerado a disposição em barragens de rejeitos, localizadas nas drenagens do córrego Lamarão e Mundo Novo, denominadas como Barragem 1 e Barragem 2, respectivamente. As barragens atenderão a todo o volume de rejeitos gerados para os 18 anos de produção e utilizarão parte do estéril das escavações obrigatórias da lavra, como material de construção dos maciços iniciais, diques de selas e alteamentos.

O excedente do estéril deverá ser depositado em áreas adequadas (licenciadas), apresentando geometria que garanta a sua estabilidade geotécnica e controle da emissão dos sólidos (sedimentos) gerados na área de operação. Para os estudos, de modo a reduzir os impactos ambientais na área do Projeto Bloco 8, bem como iniciar as obras de reabilitação de áreas antropizadas das atividades minerárias, optou-se pela disposição do estéril nas áreas exauridas da cava do Projeto Bloco 8.

Este tipo de disposição é denominado como “Sequenciamento Verde” e/ ou “*Backfilling*”, por ocupar áreas já impactadas pela atividade de mineração, reduzindo o impacto ambiental, por evitar a ocupação de novas áreas no entorno do empreendimento e auxiliando na etapa de descomissionamento das áreas exauridas da cava com o fechamento da estrutura. Ressalta-se que para os estudos, a SAM considerou a ocupação de parte da cava do Projeto Bloco 8, com a Pilha de Minério de Oportunidades, considerando a redução dos impactos ambientais na área do projeto, assim como a disposição em “*Backfill*”.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 20/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Para tal foi considerado para os estudos o sequenciamento anual da exploração da cava do Projeto Bloco 8, conforme o documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”, tomando como limite os avanços de lavra. Além disto foi considerando a adoção de uma distância mínima em relação ao bordo da cava nas frentes de lavra de 90,00 m, de modo a propiciar as operações de lavra, acesso de equipamentos e implantação de *sumps* operacionais.

Como limite de construção, analisando o sequenciamento da lavra, tomou-se como limite o arranjo geométrico para a cava do ANO 14, pois a partir deste ano a cava sofre avanços sucessivos em direção a face leste até o final de operação, não sendo possível a sua ocupação até o final das operações.

Por questões ambientais, para o *Backfill* foi considerado a elaboração de um arranjo geométrico que atenda aos volumes de estéril a serem depositados, e ainda contemple a disposição de parte dos rejeitos na etapa final das operações do empreendimento. Para tal, foi considerado que o mesmo receba apenas o rejeito grosso (*underflow*) oriundo da usina de beneficiamento, nos dois últimos anos de operação.

Ressalta-se ainda que os estudo geométricos consideraram a área destinada a disposição do Minério de Oportunidade desenvolvido pela SAM para atendimento ao volume gerado nos 18 anos de operação. A área destinada a Pilha de Minério de Oportunidade está localizada na porção sul da cava do Projeto Bloco 8, próximo a rampa principal de acesso entre a cava e a área industrial do Projeto Bloco 8. Para o desenvolvimento do arranjo geométrico, foi considerado que os arranjos seriam desenvolvidos de modo a não integrar a disposição do estéril e do Minério do Oportunidade, evitando a sobreposição de materiais e tráfego simultâneo de equipamentos para a disposição do estéril e do mnério.

Como se trata de uma fase inicial de projeto e os volumes de estéril variam ao longo do tempo, para esta etapa dos estudos, foi considerado apenas o arranjo final da estrutura. O sequenciamento desta estrutura deverá ser realizado nas próximas fases do estudo, considerando todas as interferências do projeto e com base no refinamento dos estudos das Barragens de Rejeitos que podem reduzir e/ou aumentar as demandas de estéril, implicando diretamente na geometria do *Backfill*.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 21/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Os itens 7.1 a 7.4 apresentam a geometria proposta para o *Backfill*, bem como as principais características do mesmo.

7.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

Para a disposição do estéril e rejeitos no *Backfill*, devido às limitações da área da cava do Projeto Bloco 8, que apresentará a Pilha de Minério de Oportunidade, Centrais de britagem, Correia Transporta e rampa de acesso principal entre a Planta Industrial e a cava na sua porção sudoeste/sul, impossibilitou a elaboração de um estudo de alternativas de disposição para o Projeto Bloco 8.

Desta maneira, para o estudo de alternativas foi limitado a ocupação das paredes leste e norte da cava (arranjo 18 anos), disponível para a disposição do estéril e do rejeito para o Projeto Bloco 8. Para subsidiar os estudos de ocupação na região, a WALM avaliou o sequenciamento da Cava proposto no documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”, com a seleção do melhor uso e ocupação da cava para a disposição do estéril e rejeitos.

A partir da análise do sequenciamento da exploração e baseado na disposição do estéril a partir do ANO 2, quando será iniciado a geração de materiais para a disposição em pilhas, verifica-se que o limite de ocupação das áreas da cava é restringido pela cava no final do ANO 14. Cabe ressaltar que a lavra do Projeto Bloco 8 é realizada no sentido Oeste/Leste do empreendimento com avanços em profundidade em cada ano de exploração. A avaliação realizada nos estudos desenvolvidos pela WALM, demonstra que a partir do ANO 14, os avanços de lavra na cava do Projeto Bloco 8 apresentam o aprofundamento sucessivos em uma mesma região da cava, sem a liberação de novas áreas de disposição, impossibilitando novas ocupações até o final das explorações no ANO 18.

Definido o ano base para a ocupação da cava, dentro das interferências existentes, foi desenvolvido o arranjo geométrico para o *Backfill*, respeitando ainda uma zona segura em relação as paredes da cava no final do ANO 14 de 90,00 m, de modo a permitir o acesso as frentes de lavra no sentido da exploração, implantação dos *sumps* operacionais e como zona de segurança em relação as detonações na área da cava.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 22/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Deste modo, o arranjo geométrico desenvolvido para o *Backfill* consiste na disposição a partir do ANO 2 do estéril nas zonas exauridas da cava do Projeto Bloco 8, iniciando-se pela ocupação da parede noroeste até o final do ANO 18, coincidente com o encerramento das operações.

Ressalta-se que a disposição em *Backfill* para o Projeto Bloco 8 é atrativa para os estudos, pois além de atender a todo o volume de disposição do estéril, permite a disposição de rejeitos nos anos finais de operação, reduzindo a ocupação dos reservatórios das Barragens 1 e 2 do empreendimento. Além disto a ocupação das áreas exauridas da cava reduz os impactos ambientais do empreendimento que apresenta grandes volumes de material, evitando a construção de novas estruturas para a disposição do estéril e do rejeito.

A disposição em estéril deverá ocupar toda a porção oeste/nordeste da cava, sendo considerado a separação da estrutura em duas pilhas de meia encosta na EL. 775,00 m, equivalente a região que intercepta a drenagem do córrego Mundo Novo, a montante da Cava no trecho compreendido entre a Barragem 2 e o bordo da cava. Nesta região foi necessária à restrição do aterro de modo a compatibilizar a drenagem do trecho e a cava do Projeto Bloco 8, onde o trecho remanescente do córrego Mundo Novo deverá ser desviado pela drenagem superficial do *Backfill*.

No arranjo desenvolvido, o reservatório para a disposição dos rejeitos, deverá ficar concentrado na porção noroeste do arranjo geométrico do *Backfill*, considerando a crista do aterro na EL. 865,00 m, largura total de 20,00 m. Os taludes em estéril deverão apresentar taludes com a seguinte geometria:

- Taludes com inclinação 2,00H : 1,00V (26,56°);
- Bermas finais com largura de 6,00 metros; e
- Desnível máximo entre bermas de 10,00 metros.

A ocupação da cava com o estéril gerado nos 18 anos de operação do Projeto Bloco 8 deverá conformar uma sela topográfica na cava, entre as faces norte e noroeste, permitindo assim, a SAM realizar a disposição do rejeito nos últimos dois anos de operação. O reservatório do *Backfill* apresenta capacidade de acumulação de 19,46 Mm³, sendo considerado para os estudos, a disposição do rejeito grosso para a região.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 23/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Como premissa de ocupação da cava, a estrutura de contenção dos rejeitos do *Backfill*, deverá apresentar cota inferior a projeção máxima da cava, de modo a não caracterizar a estrutura como Barragem de Rejeitos.

De acordo com a Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, a qual estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, uma estrutura é considerada barragem se apresentar pelo menos uma das seguintes características:

- a) Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m (quinze metros);
- b) Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- c) Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- d) Categoria de dano potencial associado – DPA, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Conforme Artigo 7º da Lei Federal nº 12.334, as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, com base nos critérios gerais estabelecidos Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017.

O Artigo 2 da Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017 no item II descrito a seguir, define o termo Barragem de Mineração.

- **“II. Barragens de Mineração:** barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, construídos em cota superior à da topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos de mineração ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas, excluindo-se deste conceito as barragens de contenção de resíduos industriais;”

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 24/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

Desta forma, optou-se pela manutenção do trecho de disposição hidráulica do rejeito em cota inferior à da cava do Projeto Bloco 8, de modo a não caracterizar a disposição de rejeitos no *Backfill*, como barragem de rejeitos, pois as Barragens 1 e 2 a serem construídas no córrego Lamarão e Mundo Novo terão a capacidade de armazenar todo o rejeito requerido pela SAM.

Ressalta-se que para as demais etapas do projeto, a SAM poderá suprimir a disposição do rejeito nesta região, pois as barragens da estrutura atenderão a todo o volume de rejeitos requerido para os 18 anos de operação, podendo a área ser ocupada por estéril.

Para atendimento as condições operacionais da disposição de estéril e rejeitos no *Backfill*, foi proposto a construção de dispositivos de drenagem interna, sendo constituídos por drenos de fundo na região do depósito leste em estéril e tapetes drenantes na região noroeste, onde será realizada a disposição hidráulica do rejeito. Ressalta-se que dependendo das características do estéril e condições de disposição do estéril, a SAM deverá estudar para as demais fases a construção de filtro vertical na região do aterro, de modo a atender as percolações na região.

Além dos itens citados, o backfill deverá apresentar sistema de drenagem superficial constituídos por canaletas de bermas, descidas hidráulicas, canais periféricos e dispositivos de dissipação, para atendimento as estações chuvosas, evitando a formação de processos erosivos na face dos taludes e bermas durante os períodos de operação. Além disto, foi previsto a construção de um *Sump* no interior da cava para atendimento aos fluxos e sedimentos gerados na região.

A configuração final do *Backfill* apresenta altura final de aproximadamente 220,00 m, capacidade total de acumulação de estéril de 125,00Mm³ e reservatório para a disposição hidráulica dos rejeitos de 19,46 Mm³.

As Figura 7.1.1 e Figura 7.1.2 apresentam o arranjo geral e uma seção típica do Backfill para o Projeto Bloco 8.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 25/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

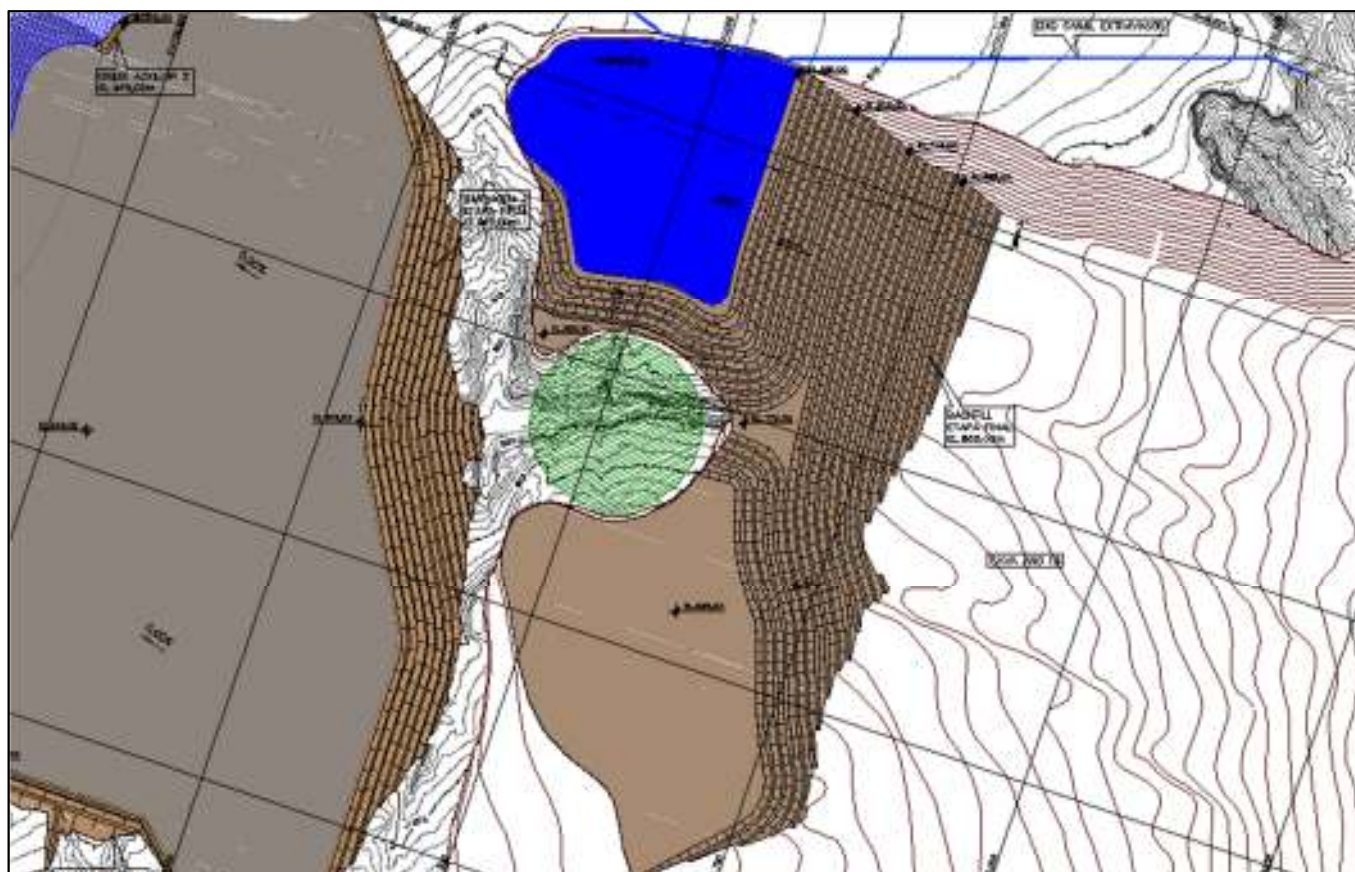


Figura 7.1.1 – Arranjo Geral do *Backfill* – Projeto Bloco 8.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
DISPOSIÇÃO BACKFILL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-33

Folha
26/98

WBH28-17-SAM-RTE-0033

Revisão 02

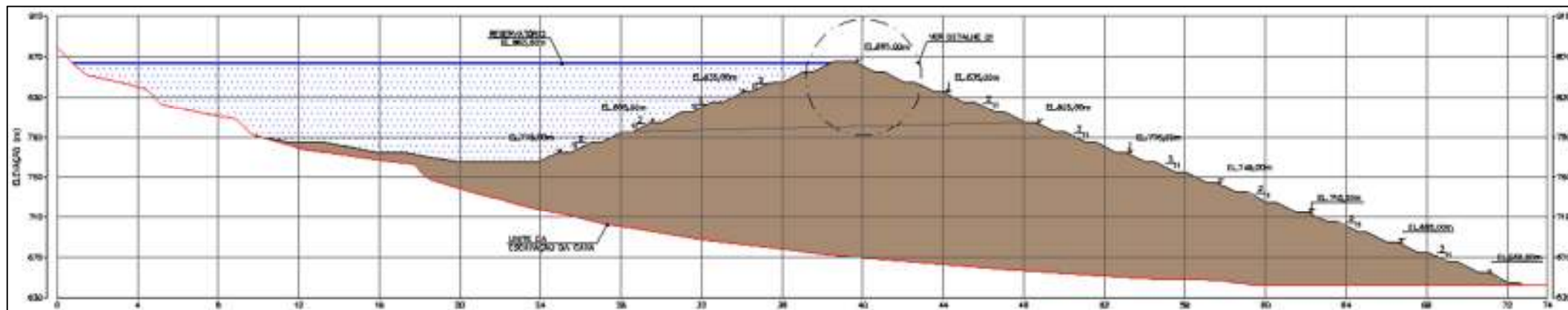


Figura 7.1.2 – Seção típica do *Backfill* – Projeto Bloco 8

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 27/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

O sistema extravasor do *Backfill*, consiste na construção de um canal de emboque na parede norte da cava direcionando o excedente do reservatório para o canal extravasor da Barragem 2.

Como a disposição será realizada nos últimos anos de disposição, o extravasor do *Backfill*, será compatibilizado com o canal rápido da Barragem 2, na região da cava e apresenta seção trapezooidal com base menor com largura de 1,00 m, altura de 1,50 m e taludes laterais com inclinação de 2,00H : 1,00 V, com soleira na EL. 863,50 m. O canal será revestido por colchão reno de modo a evitar a formação de erosões na região.

Para mais detalhes acerca do *Backfill*, consultar os documentos MINA_BLC8007-1010-O-84 a MINA_BLC8007-1010-O-88 do Anexo E.

7.2 METODOLOGIA DE DISPOSIÇÃO DO ESTÉRIL NO *BACKFILL*

Para a operação do Projeto Bloco 8, o estéril será lançado sobre as regiões exauridas da cava, em camadas não superiores a 1,00 m. As camadas poderão ser compactadas com a passagem de trator de esteira e/ou equipamentos operacionais com velocidade controlada. Como a disposição do estéril será realizada em conformidade com os equipamentos de operação da SAM, os taludes da disposição em estéril do *Backfill*, deverão apresentar ângulos operacionais, próximos ao ângulo de repouso do estéril. Para atendimento as condições de segurança geotécnica, a SAM deverá realizar a reconformação geométrica dos taludes para os ângulos de projeto.

Para tal, os bancos recém-formados deverão ter seus taludes rebatidos para os ângulos de projeto, considerando a reconformação mecânica. Está é realizada a partir do corte do talude em ângulo operacional com a lâmina de motoniveladora para corrigir e/ou prevenir erosões e desmoronamentos de materiais ou pedras soltas, levando o talude para os ângulos finais de projeto, de modo a garantir a estabilidade da disposição em estéril.

A geometria para os taludes da pilha de estéril consiste em:

- Altura de bancos igual a 10,00 m;
- Largura mínima de bermas igual a 6,00 m;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 28/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Taludes com inclinação de 2,00 H : 1,00 V (26,56°);

Ao fim das operações, os taludes definitivos em estéril, rebatidos para o ângulo de projeto deverão ser protegidos com cobertura vegetal, devendo ainda ser realizada a implantação das canaletas de berma de forma a evitar a formação de sulcos erosivos e reduzir a emissão de sedimentos da estrutura. O controle geométrico da disposição em estéril no *Backfill* será realizado através de levantamento topográfico sistemático, a fim de verificar se a inclinação dos taludes está de acordo com os valores especificados.

7.3 METODOLOGIA DE OCUPAÇÃO DO RESERVATÓRIO DO BACKFILL

Para a disposição dos rejeitos no *Backfill*, foi considerado apenas a disposição dos rejeitos grossos para a estrutura. Para tal, será considerando o lançamento de forma hidráulica do rejeito grosso a partir da crista, sendo considerando a implantação de uma tubulação de adução do rejeito ao longo de toda a crista, com espigotes espaçados de 2,00 a 2,50 m (a ser definida em etapa futura). Esta tubulação deverá estar localizada na região do contato da crista com o talude de montante e o lançamento de forma hidráulica, deverá respeitar os teores de sólidos informados no fluxograma de processo (ver documentos “VRP-2010-P-0012” e “VRP-2010-P-0013”). Para os estudos do *Backfill*, devido aos pequenos volumes envolvidos em relação ao projeto, não foi elaborado o plano de disposição para a região, devendo o mesmo ser avaliado para as demais etapas do projeto.

Como o rejeito será lançado pela crista e deverá ser mantido a mesma metodologia de avanço proposto para as barragens 1 e 2 que consiste no prolongamento dos espigotes para o interior do reservatório, quando atingida a máxima ocupação do reservatório, o lago será formado no fundo do reservatório de modo a aumentar o abatimento da linha freática na região e consequente aumento da segurança geotécnica da estrutura.

O deslocamento dos pontos de lançamento para o interior do reservatório, permitirá a ocupação otimizada do reservatório, com formação de praia de rejeitos a partir da crista com declividade nula e avanços sucessivos em direção ao fundo do reservatório. Ressalta-se que os valores e prazos de deslocamento dos pontos de lançamento, com o prolongamento dos espigotes para o interior do reservatório, pela extensão da tubulação sobre a praia recém-formada, dependerão da capacidade

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 29/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

de suporte da praia, de modo a garantir a segurança geotécnica para a trafegabilidade de equipamentos e pessoas.

Os comprimentos máximos dos deslocamentos somente poderão ser aferidos na etapa de operação, com base na experiência da realidade de campo.

7.4 FICHA TÉCNICA DO BACKFILL

A apresenta a ficha técnica do *Backfill*, considerando o arranjo geométrico final da estrutura

Tabela 7.4.1 – Ficha técnica da *Backfill*

Estrutura	Dados
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 ²)	2.008.858,00
Volume total de Disposição de Estéril (Mm ³)	125,00
Volume total do Reservatório (Mm ³)	19,46
Área total de espelho D'água (m ²)	428.930,04

8.0 ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Para o projeto Bloco 8, não foram desenvolvidos campanha de sondagens de cunho geotécnico para as estruturas propostas pela WALM para o Projeto Bloco 8.

Para a Cava do Projeto Bloco 8, foram realizados furos exploratórios com o intuito de definir os materiais, teores e características dos materiais de modo a definir as características da lavra.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 30/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

As principais características geológico-geotécnicas do Projeto Bloco 8, são apresentadas no documento “MINA_BLC8007-1010-G-RE-04”, referente ao Modelo Hidrogeológico Conceitual.

Ressalta-se que para o presente estudo, a SAM está realizando ensaios para a caracterização do estéril e para os rejeitos a serem depositado nas estruturas propostas para o Projeto Bloco 8, conforme especificação técnica apresentada no documento “MINA_BLC8007-1010-G-ES-01”. A campanha encontra-se em andamento pela SAM e deverá fornecer informações para o desenvolvimento das demais etapas do Projeto Bloco 8.

9.0 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

O presente item apresenta os estudos geotécnicos realizados para a disposição de estéril e rejeitos no *Backfill*. Para os estudos realizados em nível conceitual para a ocupação da cava, foram considerados as obras de limpeza de fundação, análises de estabilidade e percolação e dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna para as regiões de disposição em estéril e para a disposição em estéril que receberá a disposição hidráulica do rejeito, conforme apresentado nos itens 9.1 a 9.5.

9.1 TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO

Como o *Backfill* será implantado em zonas exauridas da cava do Projeto Bloco 8, considerando que a mesma se encontra apoiada em rocha sã, não será necessário obras de limpeza de fundação para a estrutura. Porém, deverá ser considerado nos estudos a limpeza das rochas para a remoção de materiais pulverulentos e/ou de fragmentos de rocha que possam gerar zonas de fraqueza para a disposição do estéril e do rejeito na área da cava.

9.2 ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

As análises de percolação foram realizadas para subsidiar a determinação da superfície freática, bem como as vazões percolados pelo maciço em estéril na região noroeste do arranjo do *Backfill*, onde foi prevista a disposição do rejeito em via hidráulica.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 31/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Os estudos foram desenvolvidos a partir do Método dos Elementos Finitos (MEF), para a condição normal de operação, utilizando o *software* Slide 2018.

Foram adotadas as seguintes premissas para a elaboração dos modelos:

- Anisotropia de permeabilidade para os rejeitos depositados ($K_h = 4K_v$);
- Isotropia de permeabilidade para a fundação ($K_h = K_v$);
- Isotropia de permeabilidade para o estéril depositado, considerando que o mesmo não apresentará controle de compactação ($K_h = K_v$);
- Condição norma de operação considerando o nível d'água na soleira do extravasor do reservatório da estrutura;
- Parâmetros hidráulicos dos materiais de fundação definidos a partir da Tabela 8.1 da publicação "100 Barragens Brasileiras" CRUZ (1996);
- Parâmetros hidráulicos dos rejeitos definidos a partir da granulometria do rejeito grosso pela fórmula de HAZEN.

As análises de percolação foram elaboradas para a seção central e para as ombreiras, de modo a determinar as vazões específicas para o aterro não controlado em estéril, considerando a conformação geométrica final do Backfill. As seções avaliadas para a percolação são apresentadas na Figura 9.2.1.

Os parâmetros de condutividade hidráulica adotados para as análises de percolação são apresentados na Tabela 9.2.1.

Tabela 9.2.1 - Coeficientes de permeabilidade dos materiais

Material	Coeficiente de permeabilidade [m/s]	k_v/k_h
Estéril	$1,0 \times 10^{-5}$	1,00
Rocha	$1,0 \times 10^{-10}$	1,00
Rejeito	$1,0 \times 10^{-6}$	0,25
Areia	$5,0 \times 10^{-4}$	1,00
Brita 0	$5,0 \times 10^{-2}$	1,00
Brita 0	$5,0 \times 10^{-2}$	1,00
Pedra de mão	1,00	1,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 32/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Material	Coeficiente de permeabilidade [m/s]	k_v/k_h
Enrocamento	1,00	1,00

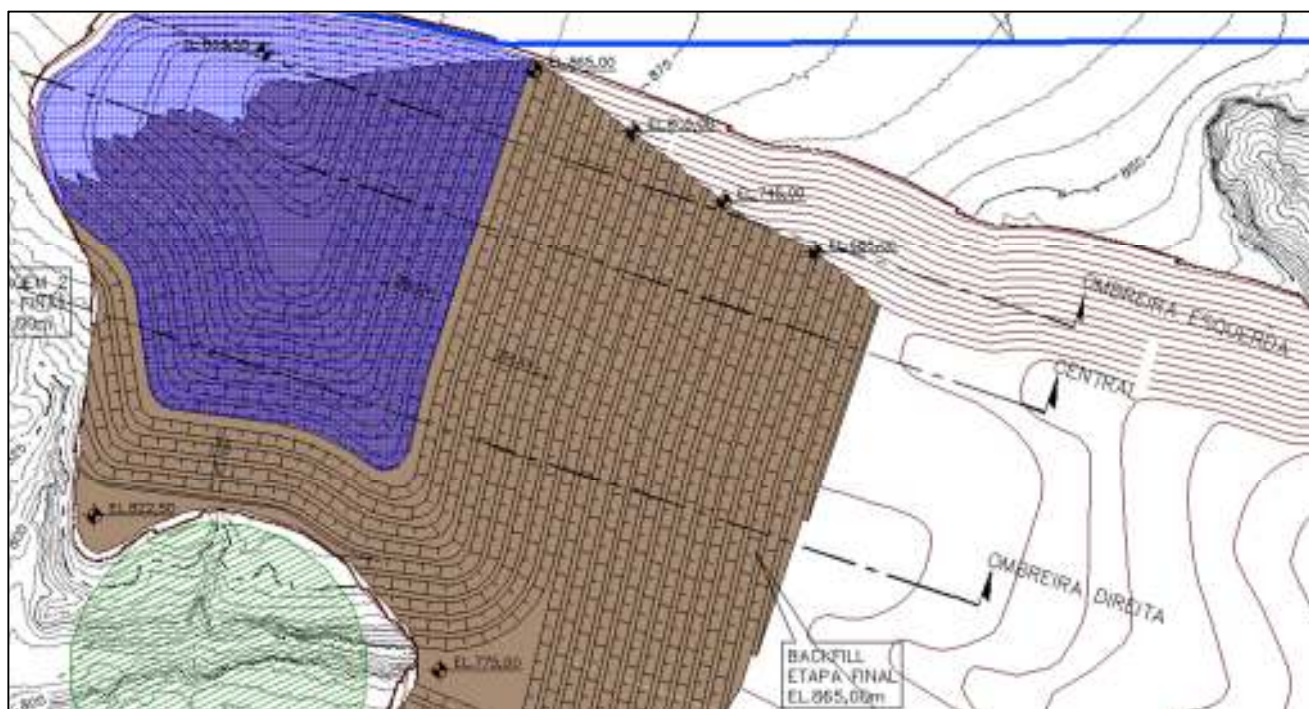


Figura 9.2.1 – Localização das seções de análise de percolação do *Backfill* – Projeto Bloco 8

Os resultados das análises são apresentados no APÊNDICE A, e o resumo encontra-se apresentada na Tabela 9.2.2.

Tabela 9.2.2 - Vazão percolada pela *Backfill*

Local	Seção Analisada	q Fundação m ³ /s x m
Ombreira Esquerda	Seção G-G'	3,11E-05
Central	Seção A-A'	4,13E-05
Ombreira Direita	Seção C-C'	5,20E-05

A partir dos resultados das análises de percolação, foram realizados os dimensionamentos dos dispositivos de drenagem interna para o trecho de disposição hidráulica do rejeito.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 33/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Ressalta-se que para a verificação da estabilidade geotécnica do *Backfill*, foi realizada apenas para a seção de maior altura na região da disposição do rejeito por apresentar a condição mais crítica em termos do projeto. Para as análises de estabilidade para a região noroeste do *Backfill*, na porção noroeste, considerando as diretrizes da NBR 13.028 (ABNT, 2017).

9.3 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Os critérios de aceitação para as análises foram estabelecidos de acordo com as normas técnicas NBR 13.028 (ABNT, 2017) e NBR 13.029 (ABNT, 2017), que estabelecem as diretrizes para a elaboração de projetos de barragens de rejeito e pilhas de estéril. A Tabela 9.3.1 e Tabela 9.3.2 apresentam os fatores de segurança mínimos estabelecidos para as normas supracitadas, respectivamente.

Tabela 9.3.1 – Fatores de Segurança Mínimos para Barragens de Mineração – NBR 13.028 (ABNT, 2017)

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 Fundações	Jusante	1,30
Operação com rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório	Maciço	Montante	1,10
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,50
		Entre bermas	1,50
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Montante e jusante	1,10

Tabela 9.3.2 – Fatores de Segurança Mínimos para Pilhas de Estéril – NBR 13.029 (ABNT, 2017)

Ruptura	Superfície freática	Tipo de Material	Fator de Segurança Mínimo
Entre Bermas	-	Predominância de Solo	1,50
	-	Predominância de Rocha	1,30
Talude Geral	Normal	Todos	1,50
	Crítica	Todos	1,30

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 34/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

A seguir são apresentadas as definições quanto aos níveis freáticos definidos pelas normas supracitadas.

- **Reservatório em nível normal:** Nível operacional do reservatório, correspondente a elevação da soleira do sistema extravasor da barragem;
- **Reservatório em nível máximo:** Nível máximo operacional no trânsito de cheias, correspondente ao nível máximo *maximorum* do reservatório, associado ao período de retorno atribuído na NBR 13.028 para os estudos do extravasor;
- **Condição Normal de Operação:** Sistema de drenagem interna operando normalmente, levando a superfície freática na região do contato entre o aterro em estéril e o terreno natural;
e
- **Condição Crítica de Operação:** Sistema de drenagem interna com mau funcionamento, indicando que o mesmo se encontre parcialmente e/ou totalmente colmatado.

Além das análises de estabilidade requeridas pelas normas supracitadas, para o projeto conceitual em questão, foram realizadas as análises para o sismo natural da região, consideração para os sismos desencadeados pelas detonações na região do reservatório do *Backfill*.

As análises de estabilidade para a validação da estabilidade geotécnica do *Backfill*, foi realizada a partir do *software* Slide 2018, através do método do equilíbrio limite de GLE/ MORGENSTERN PRICE.

Os itens 9.3.1 a 9.3.4 apresentam as seções de análises, parâmetros geotécnicos e as análises de estabilidade para a estrutura.

9.3.1 Seções de Análise

As análises de estabilidade foram realizadas para as seções principais do arranjo geométrico do *Backfill* de modo a avaliar a segurança geotécnica da estrutura projetada.

A primeira seção de análise encontra-se no trecho em disposição hidráulica do rejeito na região do *Backfill*, na porção noroeste do arranjo geométrico que estão sob a influência do reservatório da

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 35/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

estrutura. Esta seção é referente a região do tapete central apresentada na Figura 9.2.1 do presente documento, e foi definida como Seção A-A'. Para esta seção, foi considerado a avaliação da estabilidade geotécnica considerando os critérios da NBR 13.028 (ABNT, 2017) e NBR 13.029 (ABNT, 2017), por apresentar as características iniciais de disposição em estéril e posteriormente, com o enchimento do reservatório, apresenta características de reservatório de barragem de rejeitos.

A segunda seção de análise encontra-se na região da disposição em estéril, na porção sul do *Backfill*, sendo definida no presente estudo como Seção B-B'. Para esta seção, foi considerado apenas as diretrizes da NBR 13.029 (ABNT, 2017), por não haver influência da disposição hidráulica do rejeito.

A Figura 9.3.1.1 apresenta a localização das seções de análise para a validação da estabilidade geotécnica do *Backfill*.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 36/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

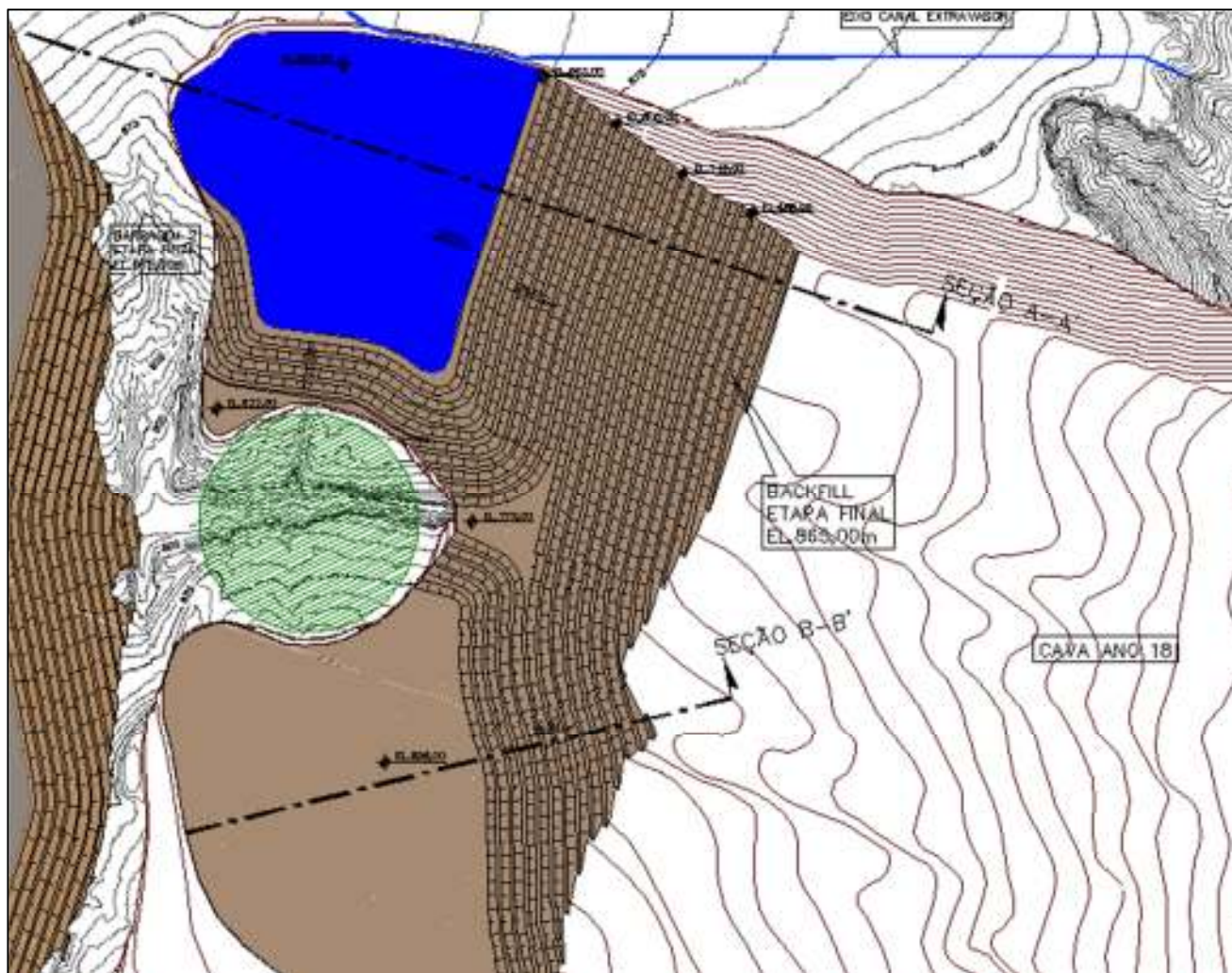


Figura 9.3.1.1 – Localização das seções de análise de estabilidade para o *Backfill* – Projeto Bloco 8

9.3.2 Análises de Estabilidade para o *Backfill*

Para a elaboração das análises de estabilidade em termos de tensão efetiva, foram considerados 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;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 37/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Para as condições de operação do *Backfill*, foram desprezadas as análises de final de construção, uma vez que a disposição do estéril será continua, com recorrentes acréscimos de tensão pela disposição do estéril, sendo considerado que os excessos de pressão neutra serão controlados pelo sistema de drenagem interna, conforme ocorram os carregamentos. Além disto, não serão realizadas as análises para a condição de rebaixamento rápido, pois não haverá a possibilidade de ocorrência na região.

Os parâmetros de resistência dos materiais de aterro, fundação e drenagem foram estimados pela equipe da WALM, com base em solos similares, sendo apresentados na Tabela 9.3.2.1

Tabela 9.3.2.1 – Parâmetros de resistência para os materiais

Material	γ (kN/m³)	c'(kPa)	ϕ' (°)
Estéril (depositado)	18	5	30
Fundação	21	15	30
Rejeito	23	10	33
Areia	20	0	35
Brita 0	22	0	36
Brita 3	22	0	36
Pedra de mão	20	0	38
Dreno (Enrocamento)	20	0	38

A partir das seções apresentada e os parâmetros geotécnicos, foi realizado a análises de estabilidade geotécnica para o Backfill, para as condições estabelecidas pelas Normas NBR 13.028 (ABNT, 2017) e NBR 13.029 (ABNT, 2017). Ressalta-se que as superfícies freáticas para a Seção A-A' foram obtidas através de análises de percolação e para a Seção B-B' a partir de superfície freática induzida.

As análises de percolação para a Seção A-A' são apresentadas no APÊNDICE B do presente documento, considerando os parâmetros hidráulicos apresentados, sendo ainda definida a superfície freática para a condição crítica. Já as análises de estabilidade para as Seções A-A' e B-B' do *Backfill*, são apresentadas no APÊNDICE C. Os resultados obtidos para as seções são sintetizados na Tabela 9.3.2.2.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 38/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Tabela 9.3.2.2 – Síntese dos resultados das análises de estabilidade para o *Backfill*

Seção	N.A	Condição	Talude	Ruptura	FS Requerido	FS Obtido	Figura
Seção A-A'	863,50	Normal	Jusante	Local	1,50	1,64	C.1
				Global	1,50	1,64	C.2
		Crítica	Jusante	Global	1,50	4,69	C.3
				Global	1,30	1,30	C.4
Seção B-B'	863,5	Normal	-	Local	1,50	1,66	C.5
	-		-	Global	1,50	1,69	C.6
	-	Crítica	-	Global	1,30	1,30	C.7

A partir dos resultados apresentados verifica-se que os fatores de segurança apresentados são superiores aos mínimos estabelecidos, sendo o Backfill considerado estável geotécnicamente.

9.3.3 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.

Para o estudo da estabilidade sísmica do *Backfill* foi utilizado o Método Pseudo-Estático, que é uma extensão do Método das Lamelas, baseado 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 pelas equações:

$$F_h = k_h \times W \quad \text{Equação 9.3.3.1}$$

$$F_v = k_v \times W \quad \text{Equação 9.3.3.2}$$

Na qual;

F_h e F_v: são as componentes horizontal e vertical da força de inércia gerada pelo carregamento dinâmico

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 39/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Nas análises de estabilidade pseudo-estáticas a componente vertical do esforço sísmico é desprezada nos cálculos, pois, seu efeito na estabilidade não é significativo. Desta forma, de acordo com Kramer (1996) e Duncan & Wright (2005), a fórmula a ser utilizada para cálculos da força do sismo é representada pela equação Equação 9.3.3.1.

O coeficiente sísmico k é definido pela Equação 9.3.3.3.

$$k = \frac{a_{ref}}{g} \times \frac{a}{a_{ref}} \quad \text{Equação 9.3.3.3}$$

Onde:

a_{ref} = aceleração de referência de pico;

g = aceleração da gravidade; e

a/a_{ref} = multiplicador de aceleração.

A definição da aceleração de pico na área do Projeto Bloco 8 mereceu 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.

Para a obtenção dos dados foram avaliados os dados dos eventos baseados no relatório MINA_BLC8007-1010-G-RE-34-00 e nas seguintes bibliografias:

- 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; e
- 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, compreendeu a avaliação dos dados existentes e tratamento estatístico para eliminar possíveis interpretações indesejáveis dos eventos, com o intuito de permitir uma análise de uma cobertura mais uniforme dos fenômenos. Com os limites considerados nas análises realizadas, foram determinadas as estimativas de probabilidades de

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 40/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

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 seguintes hipóteses:

- a sismicidade ocorre em uma área grande e que o local de interesse esteja longe das bordas da área sísmica considerada; e
- 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.

Com base nos resultados da avaliação do perigo sísmico, considerando a vida útil do empreendimento de 50 anos, os níveis de aceleração de pico na rocha (rocha sã) máxima seria equivalente a 0,037 g (já corrigida a incerteza da lei de atenuação), com período de retorno e 965 anos.

Assim, os estudos realizados pela WALM, baseados em dados de monitoramento, estudos de perigo sísmico e leis de atenuação para o Projeto Bloco 8, mostram que o sismo natural apresenta uma aceleração de pico no topo rochoso igual a 0,037g (m/s^2) ($a_{pico,rocha}=0,037\text{ g}$) . 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-34-00.

Outra consideração relevante é avaliar o Mapa Sismológico Brasileiro, que contém a distribuição das acelerações de pico em rocha com probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos, correspondendo 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 9.3.3.1, sendo o mais atualizado para o território brasileiro. Foi desenvolvido por Assumpção et al. (2016) e publicado no Boletim nº 96 da

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 41/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Sociedade Brasileira de Geofísica. Avaliando o mapa supracitado, verifica-se que a aceleração de pico para o Projeto Bloco 8 é equivalente a 0,04 g ($a_{pico}=0,04$ g).

Comparando os estudos realizados no documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-34-00 e o Mapa de Ameaça Sísmica, verifica-se que os valores obtidos de aceleração de pico nos estudos realizados pela WALM ($a_{pico}=0,037$ g) são extremamente próximos aos valores do Mapa de Ameaça Sísmica ($a_{pico}=0,04$ g), tornando-se, assim, consistente para o estudo.

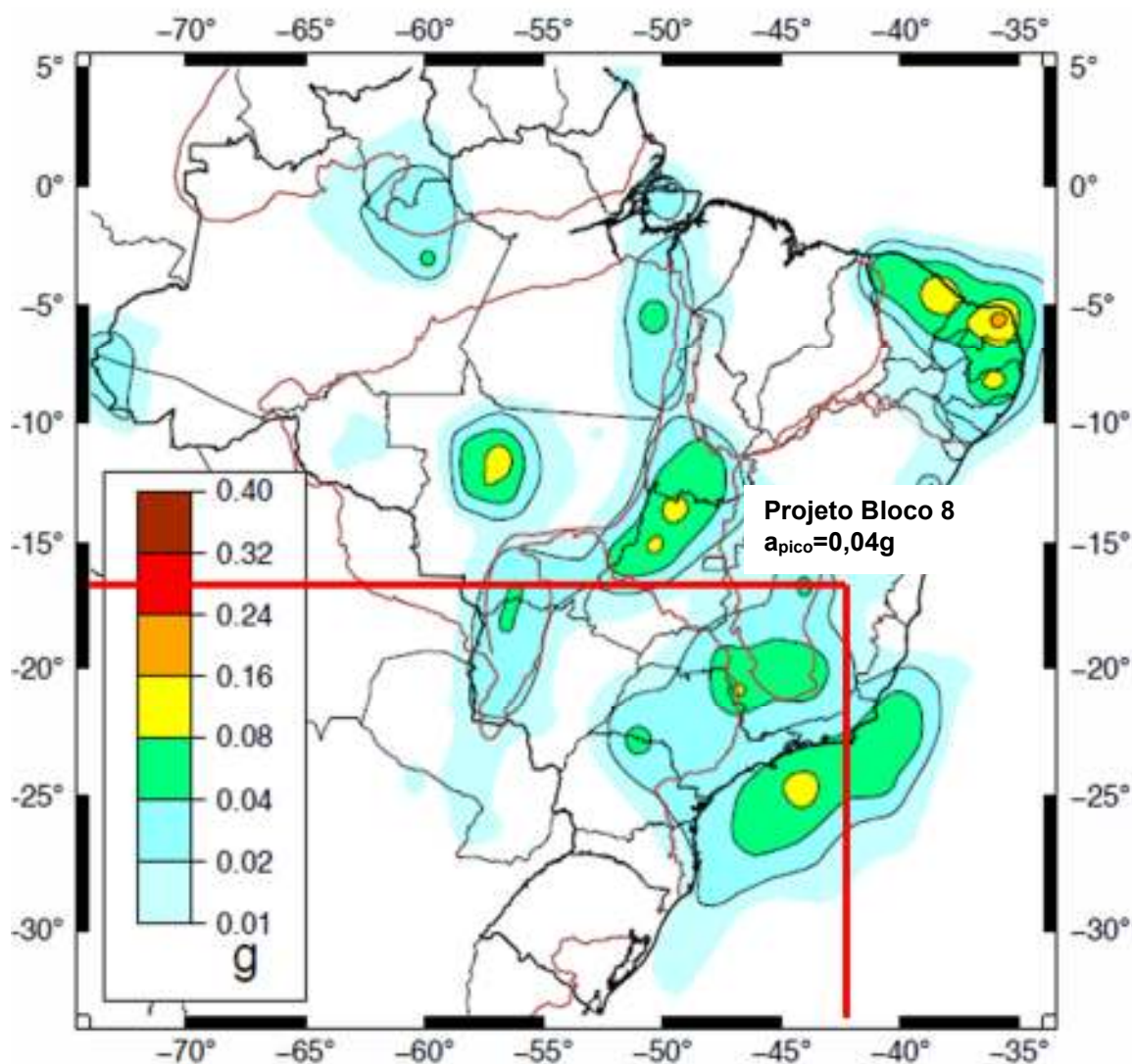


Figura 9.3.3.1 – Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro (Assumpção et al; 2016)

Com o intuito de determinar a sensibilidade em relação aos efeitos causados pela aceleração de pico obtida para o empreendimento (0,037 g), buscou-se correlações existente em literatura para a

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 42/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

avaliação dos efeitos. Para tal, foi considerado a Escala de MERCALLI Modificada (MM) que correlaciona os efeitos causados por sismos em função da intensidade e aceleração de pico, conforme apresentado na Tabela 9.3.3.1.

Tabela 9.3.3.1 – Escala de Intensidade de MERCALLI Modificada (ASSUMPÇÃO & DIAS NETO, 2000)

Grau	Descrição dos Efeitos	Aceleração (g)
I (imperceptível)	Não sentido, exceto em condições extremamente favoráveis. Leves efeitos de período longo de terremotos grandes e distantes. Registrado (“sentido”) apenas pelos sismógrafos.	-
II (Muito Fraco)	Sentido apenas por algumas pessoas, especialmente em prédios altos. Objetos leves podem balançar.	<0,003
III (Fraco)	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
IV (Moderado)	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
V (Forte)	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.	0,015 a 0,04
VI (Forte)	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
VII (Muito Forte)	Difícil manter-se de 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
VIII (Muito Forte)	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
IX (Muito Forte)	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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 43/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Grau	Descrição dos Efeitos	Aceleração (g)
X (Catastrófico)	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
XI (Catastrófico)	Trilhos bastante distorcidos, Tubulações subterrâneas completamente destruídas.	1,00 a 2,00
XII (Catastrófico)	Destruição quase total. Grandes blocos de rocha deslocados. Linhas de visada e níveis alterados. Objetos atirados ao ar.	> 2,00

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), cujos efeitos são descritos na Tabela 9.3.3.1.

Acelerações de pico em rocha (PGA_{rock}). Probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos correspondendo a um período de retorno de 475 anos.

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 9.3.3.2 apresentada em DUNCAN E WRIGHT (2005), reúne os métodos que podem ser utilizados para realização destas análises.

Tabela 9.3.3.2 – Métodos de análise pseudo-estática (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 _{rock}	0,5	0,8	1,0	1,0 m
BRAY et. al (1998)	PHA _{rock}	0,75	Recomendado o uso de forças conservadoras (por exemplo, residual)	1,0	0,30 m para a superfície de aterros; 0,15 m para a base de deslizamento de aterros

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 44/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

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
KAVAZANJIAN et. al (1997)	PHAsoil	0,17 se a análise de resposta é realizada	0,8 para argilas totalmente saturadas ou sensíveis	1,0	1,0
		0,5 se a análise de resposta não é realizada			

Neste estudo, adotou-se o método de HYNES-GRIFFIN & FRANKLIN (1984). Seguindo a recomendação da metodologia deste autor foi realizada a redução de resistência de todos os materiais conforme Tabela 9.3.3.3.

Tabela 9.3.3.3 – Parâmetros de resistência reduzidos pelo fator de (0,8) de HYNES-GRIFFIN & FRANKLIN (1984)

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
Estéril (depositado)	18	4	24,00
Fundação	21	12	24,79
Rejeito	23	8,0	27,45
Areia	20	0	29,26
Brita 0	22	0	30,17
Brita 3	22	0	30,17
Pedra de mão	20	0	30,40
Dreno (Enrocamento)	20	0	30,40

Tendo em vista todas as informações supracitadas e seguindo o preconizado na Equação 9.3.3.3, os valores adotados para determinação do coeficiente sísmico natural para o *Backfill* a partir da atividade sísmica “natural” no Brasil resultou em:

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

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

A análise do sismo desencadeado pela atividade sísmica do Brasil foi realizada através do *software* Slide 2018, desenvolvido pela *Rocscience*, considerando ruptura circular e do método do equilíbrio limite de GLE/ MORGENSTERN PRICE. A apresenta o resultado das análises de estabilidade pseudo-estáticas geradas. As suas figuras correspondentes são apresentadas no APÊNDICE D.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 45/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Tabela 9.3.3.4 – Resultados das análises de estabilidade sísmica natural

Seção	N.A	Condição	Talude	Ruptura	FS Requerido	FS Obtido	Figura
Seção A-A'	863,5	Sismo	Jusante	Global	1,10	1,22	D.1
Seção B-B'	-	Sismo	-	Global	1,10	1,25	D.2

9.3.4 Sismo Desencadeado por Detonações

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.

Como a disposição em *Backfill* encontra-se na área da cava, será diretamente afetada pelos desmontes contínuos ao longo dos anos de operação, do Projeto Bloco 8. 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 Lavra proposto pela SAM, representado pelo documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”.

Os estudos de sismo desencadeado pelas detonações foram desenvolvidos pela SAM 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, determinou-se um modelo de projeção sismográfica para um cenário similar ao do Projeto Bloco 8, sendo representado pela Equação 9.3.4.1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 46/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

$$V_{p\text{máx}} = 600 \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,113} \quad \text{Equação 9.3.4.1}$$

Na qual;

V_p= Velocidade de partícula máxima 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 quilograma (kg).

A NBR 9653 (ABNT, 2018) considera alguns limites em função da frequência, e que varia bastante, em função principalmente da rocha, e subsidiariamente de características do desmonte e ainda da faixa de distâncias. A Tabela 9.3.4.1 apresenta os limites máximos de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência recomendados pela NBR 9653 (ABNT, 2005).

Tabela 9.3.4.1 – Limites de vibração pelo terreno conforme NBR 9653 (ABNT, 2005)

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 do *Backfill* para o sismo desencadeado por detonações devido ao fato da necessidade de medição da frequência em campo para assim poder-se determinar a aceleração de pico.

Nesta etapa dos estudos, a WALM recomenda que as detonações para o *Backfill* limitem-se a V_{p,máx} = 25mm/s, conforme recomendação técnica 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”.

Para as demais etapas do estudo, 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, bem como para a estimativa precisa das velocidades de pico para a área da cava, orientando os desmontes na região da disposição em *Backfill*.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 47/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

9.4 DRENAGEM INTERNA – REGIÃO DO EMPILHAMENTO EM ESTÉRIL

Para garantir que não haja a saturação e desestabilização da região da disposição do estéril na região leste do *Backfill*, foi prevista a implantação do sistema de drenagem interna cuja função é receber os escoamentos provenientes do desaguamento subterrâneo (recarga natural) e contribuições oriundas da infiltração através do material da pilha. Como o estéril será depositado no interior da cava do Projeto Bloco 8, assente em rocha, será desprezada a parcela de contribuição pelo desaguamento subterrâneo.

O sistema de drenagem interna será definido através de estudos relativos à determinação do balanço hídrico da pilha, do cálculo das vazões de projeto e do dimensionamento dos drenos de fundo.

Para a determinação das vazões de contribuição para os drenos de fundo, foi utilizada a metodologia elaborada por SALIBA (2010) que se baseia em dados médios mensais de precipitação. Com as vazões de projeto são dimensionados os dispositivos de drenagem interna da estrutura.

Os itens 9.4.1 a 9.4.5 apresentam os estudos realizados para os drenos de fundo na região do *Backfill*.

9.4.1 Caracterização Climática

Para a determinação da vazão de dimensionamento do sistema de drenagem interna do trecho de disposição em estéril, foram utilizados os dados médios de precipitação e evapotranspiração para o Projeto Bloco 8, considerando as informações de estações climatológicas próximas ao empreendimento.

Para os dados de precipitação, foi considerado o tratamento estatístico da estação da Agência Nacional de Águas – ANA denominada como Estação Grão Mongol para a obtenção dos dados médios mensais para o Balanço Hídrico. Para a obtenção dos dados de evaporação, devido a ausência de dados na estação supracitada, foi considerado as informações apresentadas na publicação “Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990” (INMET, 2009), sendo considerado as informações da Estação Montes Claros, referente a mais próxima ao empreendimento. Os dados de

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 48/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

evaporação para o empreendimento foram compilados no documento supracitado, sendo os dados disponibilizados para a condição médio mensal.

A Figura 9.4.1.1 apresenta os dados de precipitação média mensal para a Estação Grão Mongol da ANA. Já Figura 9.4.1.2 a apresenta os dados de evaporação média mensal para a Estação Montes Claros extraídas do INMET.

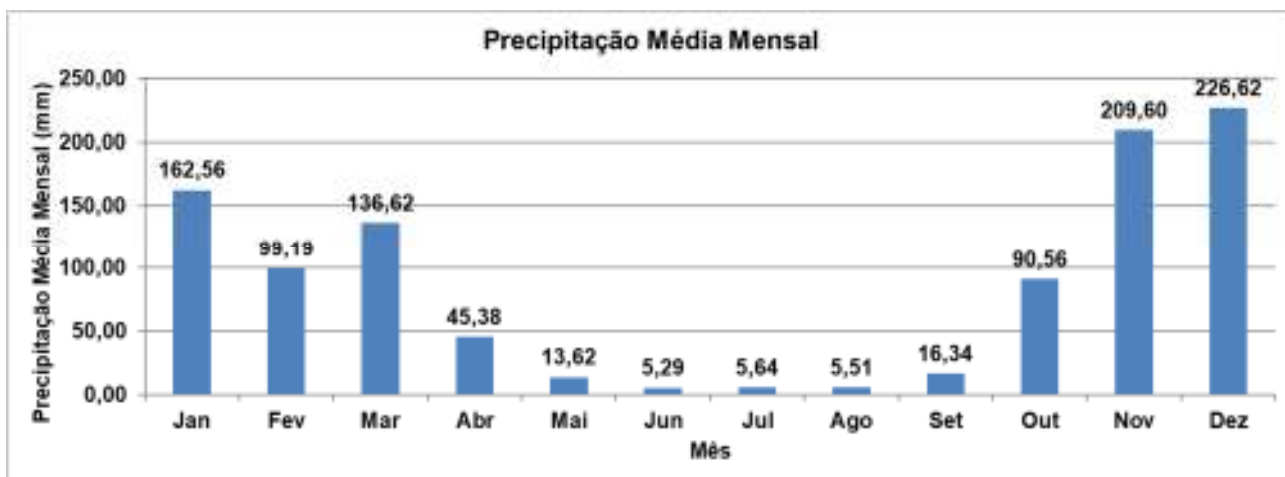


Figura 9.4.1.1 – Dados de precipitação médio mensal – Estação Grão Mongol (ANA)



Figura 9.4.1.2 – Dados de evaporação médio mensal – Estação Montes Claros (INMET)

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 49/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

9.4.2 Balanço Hídrico

Para a determina vazão de projeto para o dispositivo de drenagem interna do aterro em estéril do *Backfill*, deve-se considerar a elaboração de um balanço hídrico, considerando as áreas de terreno natural e região da disposição do estéril, na qual se considera que o sistema está em equilíbrio, ou seja, o balanço hídrico é nulo, conforme apresentado na Equação 9.4.2.1.

$$\sum I - \sum O = 0 \rightarrow P - ES - ETR - R = 0 \rightarrow R = P - ES - ETR \quad \text{Equação 9.4.2.1}$$

Na qual:

P = Precipitação (mm);

ES = Escoamento superficial (mm);

ETP= Evapotranspiração parcial (mm);

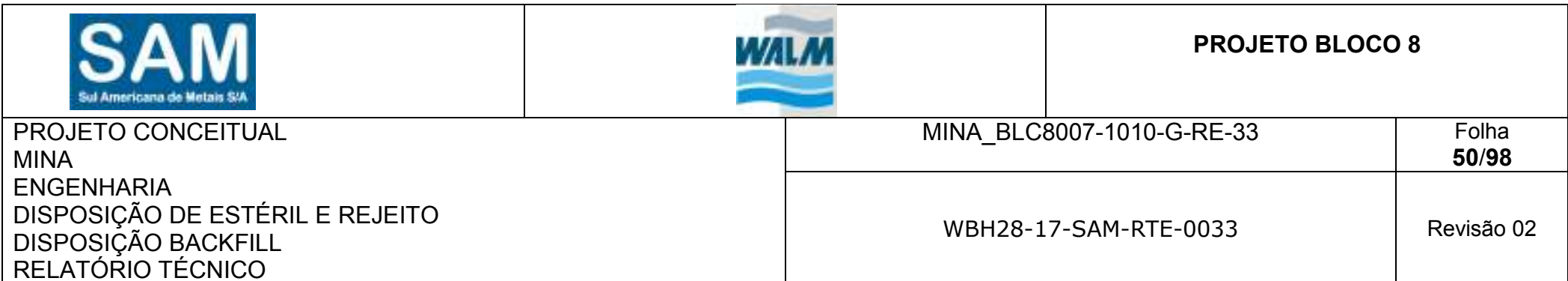
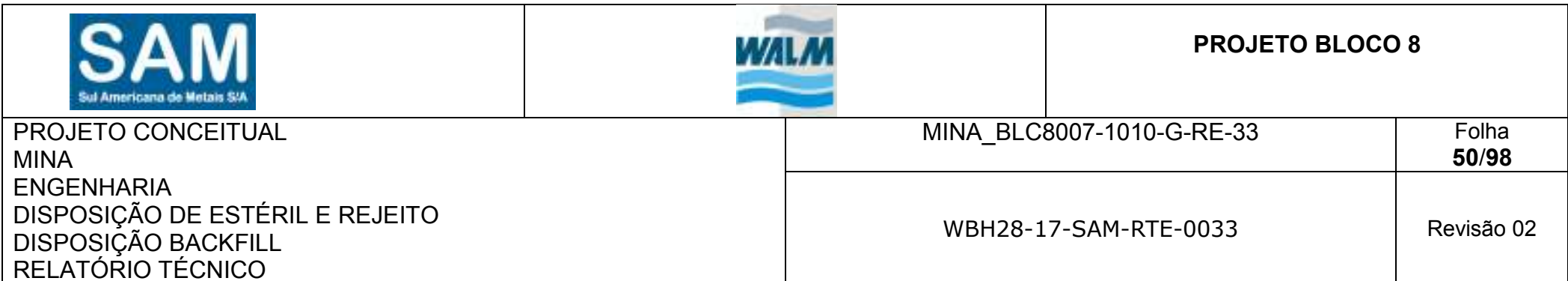
ETR = Evapotranspiração real (mm), onde ETR= 0,80 x ETP;

R = Recarga (mm).

Ressalta-se que para a etapa dos estudos foi desprezada a parcela relativa a recarga pela fundação, uma vez que o aterro em estéril estará assente em rocha sã. Assim, foi considerado apenas a porção da disposição em Backfill contribuindo para o dispositivo de drenagem interna.

A recarga considerando apenas a contribuição pela infiltração pelo aterro em estéril a partir do balanço hídrico, considerou os coeficientes de escoamento superficial iguais a 0,25 para a área de pilha. Para se determinar a recarga máxima para o dispositivo de drenagem interna, o balanço hídrico é realizado mensalmente, sendo considerado para o dimensionamento o maior valor de recarga (mm/mês) para a série de dados médios mensais de precipitação e evaporação. Desta maneira, aplicando-se a Equação 9.4.2.1, foram determinados os valores de recarga mensais para o Backfill, conforme apresentado na Tabela 9.4.2.1.

A partir do Balanço realizado, verifica-se que o maior valor de recarga para o empreendimento é equivalente ao mês de dezembro com valor de 37,90 mm/mês.



		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 50/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 50/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 50/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 50/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 50/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 50/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Tabela 9.4.2.1 – Balanço Hídrico para o Projeto Bloco 8 – Valores médios mensais

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
P	162,6	99,2	136,6	45,4	13,6	5,3	5,6	5,5	16,3	90,6	209,6	226,6	1016,9
ETP	136,1	97,4	87,5	94,5	94,7	104,2	97,6	97,5	101,8	121,0	152,9	165,1	1350,0
ES	40,6	24,8	34,2	11,3	3,4	1,3	1,4	1,4	4,1	22,6	52,4	56,7	
ETR	108,8	77,9	70,0	75,6	75,7	83,4	78,1	78,0	81,4	96,8	122,3	132,0	
Balanco	13,1	-3,5	32,5	-41,6	-65,5	-79,4	-73,9	-73,8	-69,2	-28,8	34,9	37,9	
ETPcorreção	108,8	74,4	102,5	34,0	10,2	4,0	4,2	4,1	12,3	67,9	157,2	170,0	
R (mm/mês)	13,1	0,0	32,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,9	37,9	118,4
Máxima Recarga (mm/mês)													37,9

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 51/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

9.4.3 Localização dos dispositivos de drenagem interna e área de drenagem

O dreno de fundo para o *Backfill* estará localizado na porção sul da área de disposição do estéril na cava do Projeto Bloco 8 e deverá ser responsável pela coleta de todo o fluxo percolado no aterro em estéril que apresenta área útil (superfície total do estéril) de 902.488,65 m². O dreno foi posicionado estrategicamente na porção central do talvegue formado na cava, cuja declividade média é de 8,00%. O dreno para atendimento a conformação geométrica final do *Backfill* apresenta comprimento total de 681,51 metros, sendo denominado para o presente estudo como dreno “DN-01”.

Para mais detalhes sobre o caminhamento do dreno de fundo no *Backfill*, consultar o documento MINA_BLC8007-1010-O-88 do Apêndice E.

9.4.4 Determinação da Vazão Nominal de Projeto

A vazão nominal de projeto para os drenos de fundo do *Backfill* foi determinada em função da área de influência da pilha, considerando o caminhamento proposto para o sistema de drenagem interna, conforme discutido no item 9.4.3.

A vazão de projeto dos drenos é definida pela infiltração na face exposta do aterro em estéril e foi determinada por meio da metodologia do balanço hídrico. Para a ponderação destas em termos de vazão, foi considerada a área de influência na qual haverá infiltração pelo estéril. A vazão nominal de projeto para os dispositivos de drenagem interna é apresentada na Tabela 9.4.4.1.

Tabela 9.4.4.1 – Cálculo da Vazão Nominal de Projeto

Estrutura	Local	Trecho	Área Bacia	Pilha	
				Área	Vazão (Q _P)
			m ²	m ²	m ³ /h
Backfill	DN-01	A	902.488,65	902.488,65	47,54

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 52/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

9.4.5 Determinação da Seção Drenante para o Dreno de Fundo do Backfill

A seção drenante do dreno DN-01 será formada por blocos de rocha com diâmetro médio equivalente a 175 mm (D50=175 mm), e transições geotécnicas formados por brita 3, brita 0 e areia para atendimento aos critérios de filtragem e permeabilidade.

Ressalta-se que para esta etapa do estudo a WALM não realizou o dimensionamento das transições, sendo as mesmas inferidas a partir de estudos realizados para tais materiais, considerando as curvas granulométricas da areia e dos materiais britados (britas 0, 1, 2, 3 e 4) apresentados na NBR 7211 (ABNT, 2009).

O fluxo para o material do núcleo drenante apresenta características de fluxo turbulento. Desta forma, para a determinação da seção drenante do dreno DN-01 foi considerado a utilização da Metodologia de WILKINS, conforme apresentado na Equação 9.4.5.1.

$$v_v = W \times R_h^{0,5} \times i^{0,54}$$

Equação 9.4.5.1

Na qual;

v_v = velocidade de escoamento no vazio (m/s);

W = constante que vale 5,25 m^{0,5}/s;

R_h = raio hidráulico médio (m), definido como a razão entre o volume dos vazios e a área superficial das partículas, com valor aproximado de D50/8; e

i = gradiente hidráulico (adimensional).

Determinada a velocidade efetiva de escoamento nos vazios do enrocamento, calcula-se a vazão efetiva para a seção drenante, considerando a Equação 9.4.5.2.

$$v_r = v_v \times n$$

Equação 9.4.5.2

Na qual;

v_r = velocidade efetiva na seção (m/s);

v_v = velocidade de escoamento no vazio (m/s); e

n = porosidade.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 53/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Segundo LEPZ (1973) a porosidade (n) para enrocamentos varia entre 0,30 e 0,40, sendo considerado para o presente estudo a porosidade de 0,30.

A partir da vazão efetiva para a seção, calcula-se a área efetiva do dreno a partir da equação da continuidade, representada pela Equação 9.4.5.3.

$$A_{\text{dreno}} = \frac{Q_{\text{nominal de projeto}}}{V_r} \quad \text{Equação 9.4.5.3}$$

Na qual;

A_{dreno} = Área da seção do dreno de fundo (m²);

$Q_{\text{nominal de projeto}}$ = vazão de projeto (m³/s); e

V_r = velocidade efetiva de escoamento (m/s).

Para o dimensionamento do dreno de fundo, a NBR 13.029 (ABNT,2017), recomenda a utilização de um fator de segurança para a vazão de 2,50 (FS=2,50) para regiões onde não apresentem dados de monitoramento de vazões. A partir do exposto e das equações supracitadas, foi realizado o cálculo da seção drenante para o dreno DN-01, conforme Tabela 9.4.4.1.

Equação 9.4.5.4 – Cálculo da área drenante do dreno DN-01

Estrutura	Local	Trecho	Qt	i	D ₅₀	R _h	W	v _v	n	V	FS	A _{calculada}
			m ³ /h	m/m	mm	m	m ^{0.5} /s	m/s		m/s		m ²
Backfill	DN-01	A	47,54	0,08	175,00	0,022	5,25	0,198	0,30	0,059	2,5	0,56

Assim, verifica-se que a área mínima para o núcleo drenante do dreno de fundo do *Backfill* é igual a 0,56 m².

Para a determinação da seção drenante do dreno DN-01, foi considerado a utilização de seção trapezoidal (taludes com inclinação de 1,50H : 1,00V) e dimensões compatíveis com sua implantação. A seção final para o dreno DN-01 é apresentada na Tabela 9.4.5.1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 54/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Tabela 9.4.5.1 – Dimensão final do dreno de fundo – DN-01

Dreno	b(m)	B(m)	H(m)	Área (m²)	Taludes	
					H:	V
DN-01	2,40	3,90	0,50	1,58	1,5	1

Para evitar a colmatagem do núcleo drenante, foi considerado a adoção de transições geotécnicas (critérios de filtragem e permeabilidade). Estas serão formadas por camada de brita 3, brita 0 e areia com espessura de 0,30 m.

Ressalta-se que para as demais etapas do projeto, a SAM deverá realizar os estudos para a determinação das transições geotécnicas reais para o dreno de fundo, baseada nas curvas granulométricas do estéril a ser depositado.

Para mais detalhes, consultar o documento MINA_BLC8007-1010-O-88 do Apêndice E.

9.5 DRENAGEM INTERNA – DISPOSIÇÃO EM REJEITO

Para o trecho em estéril foi considerado a implantação de tapetes drenantes na região da fundação e ombreiras de modo a conduzir os fluxos percolados pelo maciço em estéril. A opção da adoção de drenagem interna somente com tapetes drenantes nestas regiões, visa possibilitar a SAM na disposição do estéril de maneira convencional na região do maciço de suporte da sela topográfica na região norte/noroeste, considerando compactação com o tráfego de equipamentos. Desta forma, despreza-se a utilização de filtros verticais que exigiriam obras civis para a sua construção, reduzindo despesas operacionais e mantendo a produtividade das operações de disposição do estéril para os 18 anos de operação.

Ressalta-se que para as demais etapas do projeto, a SAM deverá avaliar a real necessidade de dispor rejeitos no *Backfill*. A razão desta recomendação seria que auditorias de segurança feitas por terceiros poderiam, de acordo com os critérios de cada auditor, considerar o *Backfill* como uma barragem alteada por jusante, e por isto exigir o filtro vertical, com as desvantagens inerentes, caso a pilha ainda não esteja em estágio de formação que ainda permita a implantação deste dispositivo. Caso contrário poderia haver dificuldades de declarar estabilidade para a pilha sem a adoção de bermas filtrantes e estabilizantes, com seus custos inerentes.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 55/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Os tapetes foram posicionados de maneira estratégica nas porções da face norte (ombreira esquerda), porção sudoeste/leste (ombreira direita) e porção oeste leste (central) na cava, tomando como base o ANO 14 da disposição.

Para a determinação das espessuras dos tapetes drenantes, foram consideradas as vazões específicas obtidas a partir das análises de percolação apresentadas no item 9.2, sendo considerado para tal, que o regime de fluxo na região é laminar.

Para este tipo de regime, a velocidade do fluxo é regida pela Lei de DARCY, conforme Equação 9.5.1.

$$v = k \times i$$

Equação 9.5.1

Na qual;

v = velocidade de escoamento (m/s);

k = coeficiente de permeabilidade (m/s); e

i = gradiente hidráulico = $\Delta h/L$ (variação de cota/comprimento do talvegue).

Foi adotado um fator de segurança para a vazão estimada pela análise de percolação igual a 10 de modo a contornar possíveis variações nos coeficientes de permeabilidade adotados, bem como problemas construtivos que possam levar a espessuras inferiores a especificada no presente estudo.

Para a determinação da espessura dos tapetes drenantes para o *Backfill*, foi considerada a equação da continuidade apresentada pela Equação 9.4.5.3.

Para a definição da espessura final dos tapetes, foi realizado a manipulação da Equação 9.5.1 e Equação 9.4.5.3, dando origem a Equação 9.5.2.

$$\begin{aligned}
 &F_s \times Q = A \times K \times i \\
 &F_s \times \frac{Q}{l} = \frac{A (e \times l) \times K \times i}{l} \\
 &F_s \times q = e \times K \times i
 \end{aligned}$$

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 56/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

$$e = \frac{F_s \times q}{k \times i}$$

Equação 9.5.2

Na qual;

F_s= Fator de Segurança;

Q = vazão total para os tapetes drenantes (m³/s);

q = vazão específica para os tapetes drenantes (m³/s x m)

K = coeficiente de permeabilidade do material que compõe o sistema de drenagem interna (m/s);

i = gradiente hidráulico (m/m) – Δh/l;

Δh = diferença de carga total entre a entrada e saída da água (m);

l = comprimento do tapete (m);

A = área da seção a ser dimensionada = espessura do filtro (e) em metros x comprimento do tapete (l) em metros (m²);

e = espessura do filtro (m).

Com base na Equação 9.5.2 e nas vazões específicas obtidas nas análises de percolação apresentadas na Tabela 9.2.2 foram realizados os dimensionamentos da espessura dos tapetes horizontais a serem implantados na ombreira esquerda, direita e região central do *Backfill*.

Para os dimensionamentos dos tapetes foram realizadas as seguintes considerações:

- Considerou-se que a estrutura de drenagem interna do *Backfill* para o trecho em disposição hidráulica do rejeito, os tapetes drenantes teriam saída unicamente na região do talvegue central direcionando o fluxo para o fundo da cava. Nas ombreiras, os tapetes terão drenagem cega, isto é, não terão saída e seus fluxos serão direcionados ao tapete da região central;
- Considera-se nos cálculos que a área drenante está conformada por dois materiais. Se forem necessárias camadas adicionais com materiais de granulometrias diferentes para transacionar, estas cumprirão simplesmente a função de filtro/transição, mas não como parte da área drenante. Assim, considera-se a permeabilidade da areia (k = 5,00 x 10⁻⁴ m/s), brita 0 (k = 5,00 x 10⁻² m/s) e, se necessário, a permeabilidade do enrocamento (k = 1,0 m/s);
- A perda de carga hidráulica (Δh) devido ao escoamento do fluxo ao longo do tapete horizontal foi definida como a própria espessura do tapete (e), ou seja, Δh = e:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 57/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{e}{L}$$

- Como os drenos de ombreira são “cegos” para o dimensionamento das seções hidráulicas, foi considerando a transformação das vazões específicas na seção transversal das análises de percolação em vazões longitudinais (sentido real do fluxo, perpendicular a seção da análise de percolação) através da compensação entre os comprimentos de entrada e saída do fluxo de modo a se determinar as espessuras necessárias para a condução dos fluxos; e
- Para o tapete central, como há a restrição da largura útil de desague pela restrição do talvegue da cava, foi considerada a compatibilização da vazão específica a partir dos comprimentos de entrada e saída na porção central, de modo a se determinar as vazões específicas reais para o tapete central.

Em relação a estes comprimentos, a partir do documento MINA_BLC8007-1010-O-88 do Apêndice E verifica-se que para a ombreira esquerda os comprimentos de entrada e saída são de 193,04 m e 673,89 m respectivamente. Para a ombreira direita, estes comprimentos são de 917,64 m e 685,25 m e para a região central de 408,29 m e 321,28 m. Os gradientes foram obtidos a partir do arranjo geométrico do *Backfill*, sendo obtidos a partir da topografia do projeto sendo equivalente a:

- Ombreira esquerda: 82% - 0,82 m/m
- Central: 6% - 0,06 m/m
- Ombreira direita: 11% - 0,11 m/m

9.5.1 Dimensionamento dos Tapetes De Ombreira

A partir das informações apresentadas, foi realizada a compatibilização entre as vazões específicas de entrada e saída para as ombreiras do *Backfill*, conforme apresentado na Tabela 9.5.1.1 . As vazões específicas compatibilizada o foram multiplicadas pelo fator de segurança de modo a se determinar os valores a serem considerados nos dimensionamentos, conforme apresentado na Tabela 9.5.1.2.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 58/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Tabela 9.5.1.1 – Vazão específica compatibilizada para os tapetes da ombreira do *Backfill*

Local	q entrada m ³ /s x m	L entrada (m)	Q entrada m ³ /s	L saída (m)	q saída m ³ /s x m
Ombreira Esquerda	3,11E-05	193,04	6,01E-03	673,89	8,9174E-06
Ombreira Direita	5,20E-05	917,64	4,77E-02	685,25	6,9608E-05

Tabela 9.5.1.2 – Vazões específicas dos tapetes de ombreira para o dimensionamento

Local	q fundação m ³ /s x m	FS	q Dimensionamento m ³ /s x m
Ombreira Esquerda	8,92E-06	10	8,92E-05
Ombreira Direita	6,96E-05	10	6,96E-04

Aplicando a Equação 9.5.2, obteve-se as espessuras mínimas para os tapetes drenantes das ombreiras do *Backfill*, sendo os mesmos apresentados na Tabela 9.5.1.3, sendo considerado que o núcleo drenante dos tapetes serão constituídos por brita 0, com coeficiente de permeabilidade de 5×10^{-2} m/s.

Ressalta-se que o tapete deverá ser do tipo sanduíche com transição em areia de modo a evitar a colmatagem da seção drenante. Para as demais etapas do projeto, a SAM deverá realizar os estudos para a determinação das transições geotécnicas reais para as estruturas baseada nas curvas granulométricas do estéril a ser depositado.

Tabela 9.5.1.3 – Espessuras finais dos tapetes de ombreira do *Backfill*

Local	q Dimensionamento m ³ /s x m	Permeabilidade do material drenante m/s	Gradiente - I m/m	Espessura tapete - e	
				m	cm
Ombreira Esquerda	8,92E-05	5,00E-02	0,82	0,002	0,22
Ombreira Direita	6,96E-04	5,00E-02	0,11	0,133	13,26

A partir dos dimensionamentos realizados, verifica-se que os tapetes deverão apresentar espessura de 0,22 cm para a ombreira esquerda e 13,26 cm para a ombreira direita. Para o presente estudo, optou-se pela adoção da espessura mínima construtiva para os dispositivos, sendo igual a 0,30 m. Assim os tapetes para as ombreiras esquerda e direita deverão ser do tipo “sanduíche”, com núcleo em brita 0 com espessura de 0,30 m envoltos por areia com espessura de 0,30 m.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 59/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

9.5.2 Dimensionamento do Tapetes Central

Para a determinação das vazões de dimensionamento para a região central do tapete drenante, foi considerado a contribuição das vazões das ombreiras, acrescidas da vazão percolada na região. Para o cálculo da vazão específica para o dimensionamento, foi considerado a vazão total percolada na seção central (Fator de Segurança x vazão específica x comprimento de entrada) sendo para esta, acrescidas as vazões totais percoladas pelas ombreiras calculadas na Tabela 9.5.1.1. A vazão específica do dimensionamento do tapete central é apresentado na Tabela 9.5.2.1.

Tabela 9.5.2.1 – Vazão específica compatibilizada para o tapete central do Backfill

Local	Fs	q entrada	L entrada	Q entrada	L saída	q saída
		m ³ /s x m	(m)	m ³ /s	(m)	m ³ /s x m
Central	10	4,13E-05	193,04	1,33E-01	673,89	1,98E-04

Aplicando a Equação 9.5.2, obteve-se as espessuras mínimas para os tapetes drenantes das ombreiras do *Backfill*, sendo os mesmos apresentados na , sendo considerado que o núcleo drenante dos tapetes serão constituídos por brita 0, com coeficiente de permeabilidade de 5×10^{-2} m/s. A Tabela 9.5.2.2 apresenta o cálculo da espessura mínima drenante para o tapete central.

Tabela 9.5.2.2 – Espessuras finais dos tapetes central do Backfill

Local	q Dimensionamento	Permeabilidade do material drenante	Gradiente - I	Espessura tapete - e	
	m ³ /s x m	m/s	m/m	m	cm
Central	1,98E-04	5,00E-02	0,06	0,064	6,38

Verifica-se que a espessura mínima para o tapete central é de 6,38 cm, sendo considerado a espessura mínima construtiva para o tapete, sendo igual a 0,30 m. Assim o tapete central deverá apresentar seção do tipo “sanduiche”, com núcleo em brita 0 com espessura de 0,30 m envoltos por areia com espessura de 0,30 m.

Ressalta-se que as transições em areia têm como objetivo, evitar a colmatção da seção drenante em brita 0. Para as demais etapas do projeto, a SAM deverá realizar os estudos para a determinação das transições geotécnicas reais para as estruturas baseada nas curvas granulométricas do estéril a ser depositado.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 60/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

10.0 CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM PARA O BACKFILL

O sistema de drenagem do Backfill foi concebido com o objetivo de coletar as águas provenientes da precipitação direta incidente sobre a área do Backfil e entorno. Essas águas serão conduzidas, de forma ordenada, até ao sump estrategicamente posicionado no fundo da cava, de modo a evitar o desenvolvimento de processos erosivos. São elementos deste sistema:

- Drenagem sobre as bermas que deverão funcionar como canais, conduzindo os escoamentos provenientes do *Backfil* até as descidas de água e/ou canais periféricos;
- Descidas de Água (DC), responsáveis por coletar os escoamentos provenientes das bermas, destinando-os aos canais periféricos;
- Leiras de proteção de solo compactado, com altura mínima de 0,50 m e taludes 1V:2H, visando o direcionamento das drenagens incidentes sobre o platô do *Backfill* para o canal periférico, evitando a fuga de água e ocorrência de processos erosivos na face dos taludes de jusante e;
- Sump, estrutura escavada em solo localizado no fundo da cava, com a finalidade de conter os sedimentos que, por ventura, sejam gerados durante as operações de lavra e armazenar as contribuições provenientes das precipitações diretas no *Backfill*, para serem posteriormente bombeadas para a sua reutilização no processo de beneficiamento do minério.

O desenho MINA_BLC8007-1010-O-86 do Apêndice E apresenta o arranjo geral do sistema de drenagem superficial proposto para o *Backfill* para o cenário final da disposição no final do ANO 18.

11.0 ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

Os estudos hidrológicos foram elaborados com a finalidade de fornecer subsídios para o dimensionamento das estruturas hidráulicas constituintes do sistema de drenagem da cava.

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 61/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Estudo das chuvas intensas na área de projeto;
- Lançamento do eixo das estruturas hidráulicas;
- 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 para cada estrutura.

11.1 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 11.1.1 e Figura 11.1.1.

Tabela 11.1.1 – 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 BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 62/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02



Figura 11.1.1 – 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 11.1.2. 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 BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 63/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

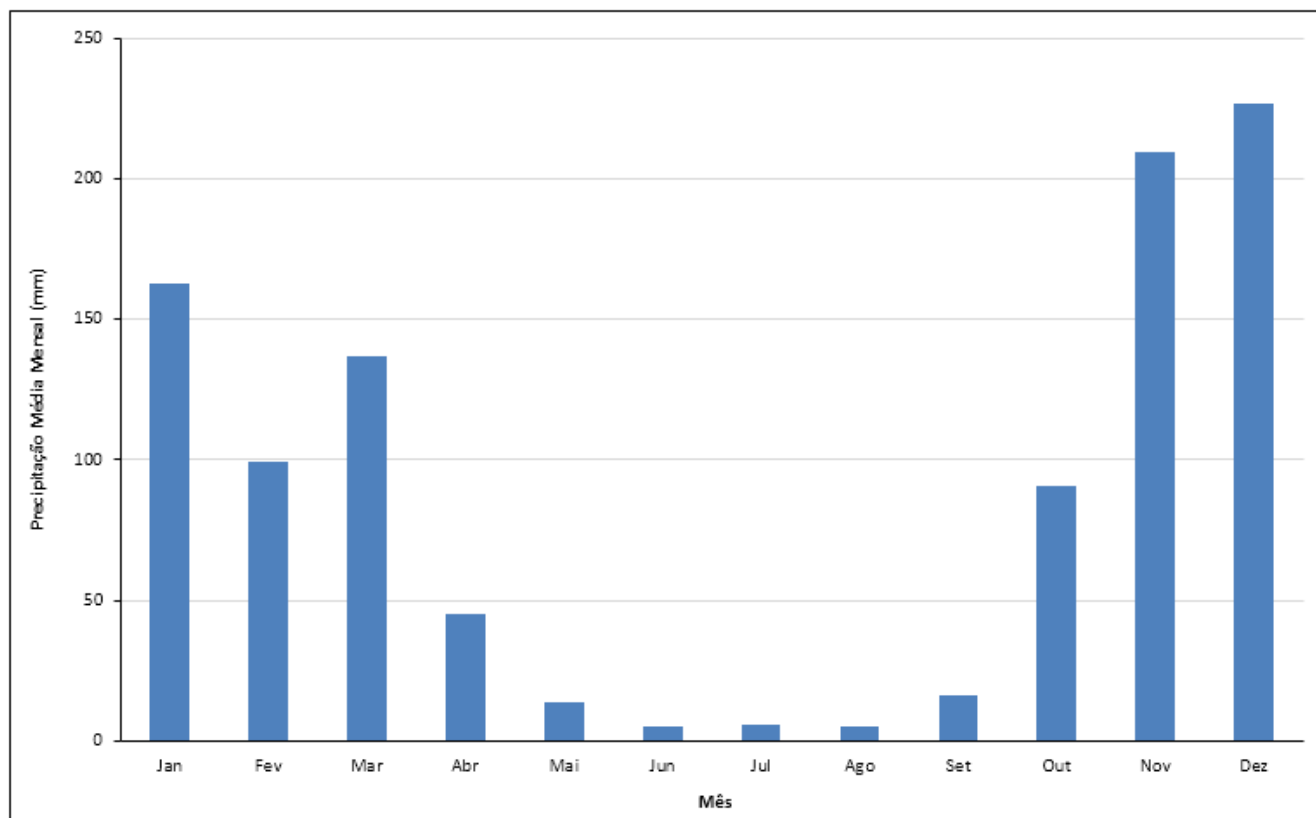


Figura 11.1.2: Altura de chuva total média mensal da Estação Grão Mogol (1642014)

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 2017 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 BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 64/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		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 11.1.3.

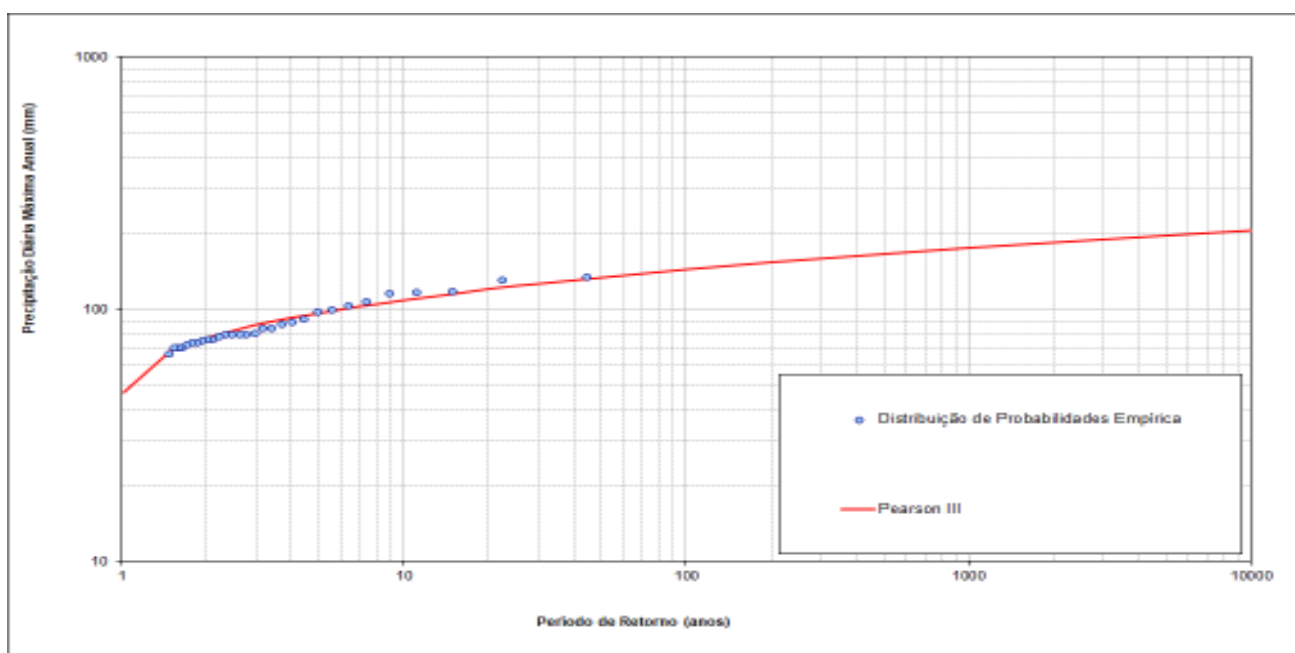


Figura 11.1.3: Ajuste da Distribuição Teórica de Pearson III para Alturas de Chuvas de 1 dia

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 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 65/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		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 TABORGA (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 11.1.2.

Tabela 11.1.2: 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

De posse dos valores apresentados na Tabela 11.1.2 , foi elaborada a Tabela 11.1.3 com as relações intensidade duração e frequência (IDF) para as chuvas com diversos períodos de retorno e durações.

Tabela 11.1.3 – Relação Intensidade – Duração – Frequência – Estação Grão Mogol

DURAÇÃO		PERÍODO DE RETORNO - T (ANOS)								
		2	5	10	25	50	100	500	1000	10000
minutos	5	74.6	93.9	106.2	121.1	131.8	123.6	142.2	150.6	171.1
	10	84.1	104.8	117.4	132.2	142.5	142.5	165.0	173.5	190.9
	20	73.0	90.7	101.2	113.5	121.9	124.5	144.5	151.7	165.1
	25	63.3	78.6	87.7	98.3	105.6	108.1	125.5	131.7	143.2
	30	68.3	84.8	94.5	105.8	113.6	117.0	135.8	142.5	154.4
horas	1	45.1	56.2	62.9	70.8	76.3	80.0	92.7	97.5	107.2
	2	25.8	32.1	36.0	40.6	43.9	46.3	53.6	56.4	62.3
	4	18.7	23.3	26.2	29.6	31.9	33.9	39.1	41.2	45.7
	6	15.6	19.5	21.9	24.8	26.8	28.5	33.0	34.8	38.7
	8	11.2	14.0	15.7	17.8	19.2	20.5	23.7	25.0	27.8
	10	8.8	11.0	12.4	14.0	15.2	16.3	18.8	19.8	22.1
	12	7.3	9.2	10.3	11.7	12.7	13.6	15.7	16.5	18.5
	14	5.7	7.1	8.0	9.1	9.9	10.6	12.2	12.9	14.4
	24	3.5	4.4	5.0	5.6	6.1	6.6	7.6	8.0	8.9

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 66/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

11.2 VAZÕES DE PROJETO

A partir dos valores de precipitação supracitados e utilizando-se métodos indiretos de transformação chuva-vazão, foram determinadas as vazões para o dimensionamento das estruturas hidráulicas componentes do sistema de drenagem do *Backfill*. Foi considerado nos estudos o período de retorno de 100 anos para as canaletas de berma e descidas de água e 500 anos para os canais periféricos, conforme recomendação da NBR 13.029 (ABNT, 2017).

As vazões de projeto das estruturas do sistema de drenagem superficial foram determinadas segundo o Método Racional.

Neste método, a transformação de chuva em vazão é obtida pela aplicação de um coeficiente de escoamento definido em função da cobertura vegetal e tipo do solo da bacia de contribuição. Considera-se que os eventos chuvosos correspondentes às vazões máximas têm a duração igual ao tempo de concentração da respectiva bacia, ou seja:

$$Q_p = \frac{C \cdot i_{t,T} \cdot A}{3,6}$$

Onde:

Q_p é a vazão de projeto (m^3/s);

C é o coeficiente de escoamento, determinado a partir do uso do solo e do tipo do solo;

$i_{t,T}$ é a intensidade média da chuva para uma duração t e um tempo de retorno T (mm/h);

A é a área da bacia de contribuição (km^2).

Os tempos de concentração foram obtidos de acordo com os seguintes critérios:

- Nas áreas das bermas e platôs, dos canais periféricos e das descidas de água utilizou-se o método cinemático, admitindo a velocidade de escoamento de 1.0 m/s e 5.0 m/s. respectivamente;
- Nas áreas de entorno em terreno natural, utilizou-se o Método de KIRPICH.

Os coeficientes de escoamento admitidos foram:

- Superfície do *Backfill* e cava: $C = 0.70$;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 67/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Área terreno natural: $C = 0.30$.

Os valores dos coeficientes de escoamento adotados para o cálculo das vazões de projeto foram ponderados segundo as áreas de drenagem para cada tipo identificado acima.

Na Tabela 11.2.1 está apresentada a síntese dos cálculos para a obtenção das vazões de projeto para os sistemas de drenagem superficial do *Backfill*, utilizando o Método Racional, sendo:

AD, a área de drenagem;

Tc, o tempo de concentração;

I a intensidade da precipitação; e

C o coeficiente de escoamento ponderado.

Ressalta-se que, para o cálculo da vazão de projeto utilizada no dimensionamento da drenagem das bermas, considerou-se como referência a estrutura de maior área de contribuição.

Tabela 11.2.1 – Síntese do Cálculo das Vazões de Projeto Sistema de Drenagem Superficial do *Backfill*

Estrutura	TR (Anos)	Área de Drenagem (km ²)	Tempo de Concentração (min)	I (mm/h)	C ponderado	Vazão (m ³ /s)
Canaleta de Berma	100	0.026	20	124.50	0.70	0.62
Descida 01 (DC-01)	100	1.082	20	124.50	0.70	26.21
Descida 02 (DC-02)	100	1.565	20	124.50	0.47	25.30
Canal Periférico 01 (CP-01)	500	0.127	20	144.5	0.70	3.56
Canal Periférico 02 (CP-02)	500	0.205	10	165.0	0.70	6.57
Canal Periférico 03 (CP-03)	500	0.029	5	142.2	0.70	0.80
Canal Periférico 04 (CP-04)	500	0.419	20	144.5	0.70	11.78
Canal Periférico 05 (CP-05)	500	0.785	20	144.5	0.70	22.08
Canal Periférico 06 (CP-06)	500	2.352	20	144.5	0.55	51.51
Canal Periférico 07 (CP-07)	500	1.082	20	144.5	0.70	30.43

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 68/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

12.0 ESTUDOS HIDRÁULICAS

O dimensionamento hidráulico das estruturas previstas no sistema de drenagem superficial do *Backfill* foi realizado considerando os trechos com declividade máxima e mínima apresentados pelas estruturas, para determinação da velocidade máxima e altura máxima da lâmina de água, respectivamente.

Nos trechos em que as descidas de água apresentaram perfil longitudinal em degraus, utilizou-se a metodologia do Skimming Flow, com o auxílio do software SISCOOH, desenvolvido pela UFMG.

Nos trechos sem degraus, foi utilizada a metodologia proposta por MANNING, descrita a seguir:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times Rh^{\frac{2}{3}} \sqrt{I}$$

Onde:

Q é a vazão em m³/s;

n é o coeficiente de rugosidade de Manning;

A é área molhada em m²;

Rh é o raio hidráulico da seção molhada (m);

I é a declividade longitudinal (m/m).

Os coeficientes de rugosidade adotados para os dimensionamentos realizados foram:

- 0,022, para as canaletas de bermas, cujo revestimento é em solo; e
- 0,018, para as descidas de água e canais periféricos, onde o revestimento é em concreto armado.

No item 12.1 a 12.5 é apresentado o dimensionamento hidráulico para cada estrutura constituinte do sistema de drenagem.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 69/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

12.1 BERMAS DA CAVA

As bermas da cava foram projetadas com largura mínima de 10,0 metros visando garantir sua estabilidade. A fim de evitar a utilização de estruturas rígidas no desenvolvimento das bermas, as mesmas foram projetadas de forma a operar durante chuvas torrenciais como canaletas para interceptação e condução dos escoamentos provenientes dos taludes das bancadas superiores. Deverão ser implantadas com inclinação longitudinal de mínima de 0,5% e transversal de 3,0%.

O dimensionamento e a avaliação do funcionamento das bermas como canaletas de condução do fluxo foram realizados para as vazões decorrentes de precipitações de 100 anos de período de retorno, admitindo o escoamento permanente e uniforme.

A síntese dos resultados da verificação hidráulica da berma de maior área de drenagem da Cava encontra-se apresentada na Tabela 12.1.1.

Tabela 12.1.1 – Síntese do Dimensionamento Hidráulico das Bermas.

Backfill	TR (anos)	Vazão (m³/s)	Coefficiente de Manning (n)	Declividade (%)	Velocidade (m/s)	Profundidade (m)
Berma	100	0,62	0,022	0,50	0.73	0.22

Tendo em vista que a largura típica mínima da berma será de 10,0 m, a declividade transversal de 3,0%, a altura disponível para o fluxo de água será de 0,30 m. Como pode ser verificado nos resultados apresentados na Tabela 12.1.1, a dimensão proposta para a berma atende a vazão de projeto para a pior situação, com 0,22 m de lâmina de água.

Entretanto, com o intuito de aumentar o nível de segurança da estrutura, mediante aumento da capacidade de vazão, evitando fuga de água e ocorrência de processos erosivos na face dos taludes de jusante, foram previstas leiras de proteção na extremidade externa das bermas, em solo compactado, com altura mínima de 0,5 m.

Um detalhe típico da berma pode ser observado na Figura 12.1.1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 70/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

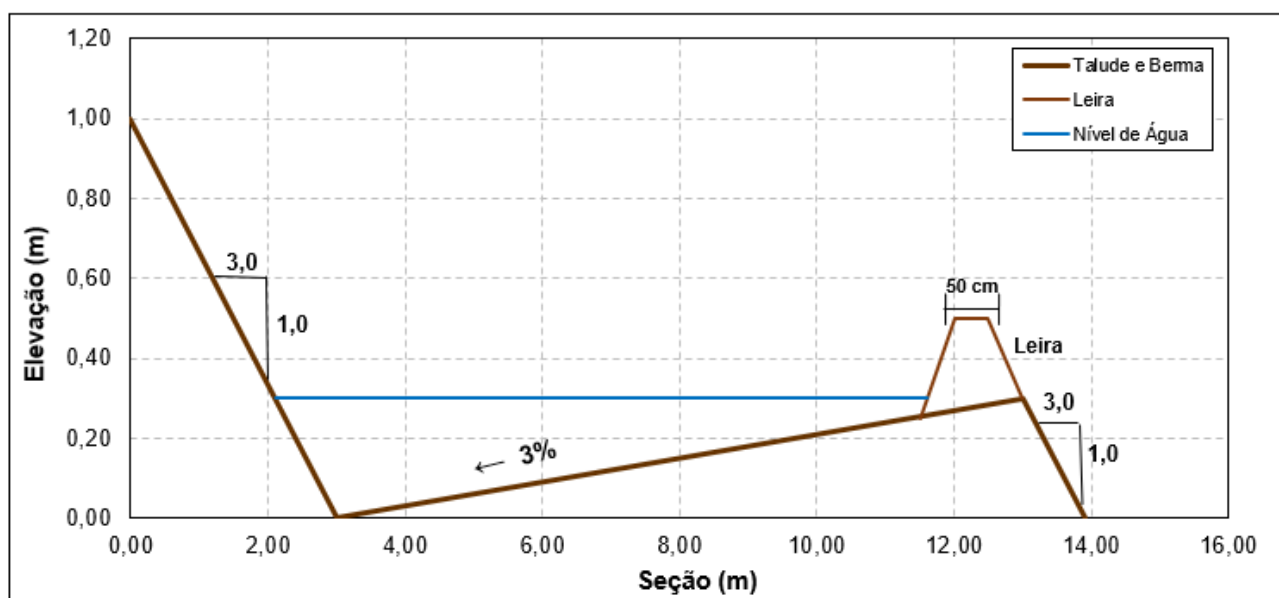


Figura 12.1.1 – Croqui esquemático das bermas das Pilhas

Quanto à velocidade máxima permitível, YANG (1996)¹ sugere que não supere a 1,95 m/s para os canais em solo. Neste contexto, o resultado máximo obtido no dimensionamento das bermas de 0,73 m/s, também está dentro dos padrões de segurança.

12.2 DESCIDAS D'ÁGUA

As descidas de água foram concebidas com seção retangular, em concreto armado, apresentando perfil longitudinal em degraus nos taludes da cava e declividade longitudinal de 1,0% sobre as bermas, garantido o escoamento torrencial no decorrer da estrutura.

Estas estruturas foram dimensionadas para as vazões decorrentes de precipitações de 100 anos de período de retorno, utilizando a metodologia de Manning para o trecho da descida pela berma e a metodologia do Skimming Flow, para verificação hidráulica no trecho da descida pelos taludes das bermas.

¹ YANG, T. (1996). Sediment Transport: Theory and Practice. McGraw-Hill Publishing Company, New York, NY, USA, 396 p.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 71/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Na Tabela 12.2.1 e na Tabela 12.2.2 são apresentadas as sínteses dos dimensionamentos das descidas d'água para a situação mais crítica utilizando a metodologia de Manning e Skimming Flow, respectivamente.

Tabela 12.2.1 – Síntese do Dimensionamento Hidráulico das Descidas de Água – Método de Manning

Descidas	Q (m³/s)	Base (m)	Altura Parede (m)	Declividade (%)	Coef. de Manning	Altura Lâmina (m)	Borda Livre (m)	Velocidade (m/s)
DC-01	26,21	3,50	2,00	1,00	0,018	1,54	0,46	4,86
DC-02	25,30	3,50	2,00	1,00	0,018	1,50	0,50	4,82

Tabela 12.2.2 – Síntese do Dimensionamento Hidráulico das Descidas de Água – Skimming Flow

Descidas	Q (m³/s)	Base (m)	Altura Parede (m)	Altura do Degrau (m)	Altura Lâmina (m)	Borda Livre (m)	Velocidade Final (m/s)
DC-01	26,21	3,50	2,00	0,50	1,12	0,88	9,92
DC-02	25,30	3,50	2,00	0,50	1,09	0,91	9,85

12.3 CANAIS PERIFÉRICOS

Os canais periféricos foram concebidos com seção retangular, em concreto armado, apresentando perfil longitudinal em degraus onde a topografia possuir altas declividades.

O dimensionamento hidráulico foi realizado para as vazões decorrentes de precipitações de 500 anos de período de retorno, em conformidade com a NBR 13.029 (ABNT, 2017) e admitindo o escoamento permanente e uniforme. A Tabela 12.3.1 apresenta a síntese dos cálculos.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 72/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Tabela 12.3.1 – Síntese do Dimensionamento Hidráulico do Canais Periféricos

Canais Periféricos	Q (m³/s)	Base (m)	Altura Parede (m)	Declividade Mínima (%)	Coef. Manning	Profundidade máxima (m)	Borda livre mínima (m)
CP-01	3.56	2.00	1.00	1.0	0.018	0.61	0.39
CP-02	6.57	2.00	1.50	1.0	0.018	0.95	0.55
CP-03	0.80	1.00	1.00	1.0	0.018	0.39	0.61
CP-04	11.78	3.00	1.50	1.0	0.018	1.00	0.50
CP-05	22.08	3.50	2.00	1.0	0.018	1.36	0.64
CP-06	51.51	6.00	2.00	1.0	0.018	1.53	0.47
CP-07	30.43	4.00	2.00	1.0	0.018	1.51	0.49

12.4 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DA CAVA

O reservatório do sump foi dimensionado para atender o volume de sedimentos provenientes da área da lavra/*Backfill* e entorno, bem como, armazenar as contribuições provenientes dos canais periféricos.

O volume previsto para armazenamento dos sedimentos foi determinado considerando uma frequência anual de limpeza e uma taxa de produção média de sedimentos igual a 600 m³/ha/ano para área da superfície do *Backfill* e cava em operação e 25 m³/ha/ano para os sedimentos provenientes da bacia hidrográfica (área de terreno natural).

Para o cálculo do volume de água referente à precipitação direta na cava, adotou-se uma chuva com período de retorno de 10 anos e 24 horas de duração e um coeficiente de runoff igual a 0,70. Considerou-se a área de drenagem de toda a cava no seu cenário final, no ANO 18 de operação de 9,55 km².

Na Tabela 12.4.1 são apresentadas a área de contribuição e os volumes aportados ao sump decorrente da precipitação direta na cava/*Backfill* e sedimentos carreados para o cenário de sequenciamento de lavra final.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 73/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

Tabela 12.4.1 – Síntese do Dimensionamento do Reservatório do Sump

Estrutura	Área de contribuição (m ²)	Volume de sedimentos anual (m ³)	Volume de água (m ³) TR 10 anos e 24 horas	Volume total necessário (m ³)	Capacidade Estimada do Reservatório (m ³)
Sump	9.550.000	382.000	795.856	1.177.856	1.292.490

12.5 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE BOMBEAMENTO DO SUMP

Para a estimativa da vazão a ser bombeada no reservatório do *sump*, realizou-se um balanço hídrico mensal simplificado considerando o ANO 18 de operação do empreendimento, o qual é apresentado na Tabela 12.5.1. Considerou-se para este balanço as seguintes premissas:

- Reservatório de 188 mil m² de área de espelho;
- Coeficiente de escoamento C = 0,70;
- Área de drenagem de 9,55 km², para o ANO 18;
- Vazões de bombeamento dimensionadas de forma a esgotar o volume total do *sump* em um período máximo de três dias;

Tabela 12.5.1 – Expectativa de captação no *sump*.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Precipitação Média (mm)	162.6	99.2	136.6	45.4	13.6	5.3	5.6	5.5	16.3	90.6	209.6	226.6
Pe (mm)	113.8	69.4	95.6	31.8	9.5	3.7	3.9	3.9	11.4	63.4	146.7	158.6
Evaporação (mm)	109.2	115.2	113.7	113.9	120.3	130.0	161.7	197.8	221.1	198.4	122.6	100.8
Captação Ano 18 (m ³ /h) Esgotamento em 1 dia	1461	879	1222	386	94	15	10	0	93	778	1888	2050
Captação Ano 18 (m ³ /h) Esgotamento em 3 dias	487	293	407	129	31	5	3	0	31	259	629	683

De acordo com os resultados obtidos, a capacidade do conjunto moto bomba a ser instalado no reservatório do *sump* deverá ser igual ou superior a 683 m³/h, de maneira a atender o cenário mais crítico considerado.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 74/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

13.0 SISTEMA EXTRASOR DO BACKFILL

O dimensionamento do sistema extravasor para o *Backfill* foi elaborado de modo a se compatibilizar com o sistema extravasor final da Barragem 2, conforme os estudos apresentados no item 10 do documento “MINA_BLC8007-1010-G-RE-32”.

O sistema extravasor para o *Backfill* apresenta seção trapezoidal com as dimensões apresentadas na Tabela 13.1.

Tabela 13.1 – Extravasor do reservatório do *Backfill*

Geometria	Trapezoidal
Base menor (m)	1,00
Taludes (H:V)	2,00
Altura (m)	1,50

Para mais detalhes em relação a este estudo consultar o documento MINA_BLC8007-1010-O-87 do Apêndice E do presente documento.

14.0 PLANO DE INVESTIGAÇÃO

Para a região do *Backfill*, diferentemente das demais estruturas do Projeto Bloco 8, não será necessário a realização de um plano específico de investigação para a verificação das características de fundação da estrutura, podendo ser utilizada as informações dos furos exploratórios e das seções geológico-geotécnicas definidas pela SAM para a cava do projeto, para as demais etapas do projeto.

15.0 PLANO DE MONITORAMENTO

O plano de monitoramento geotécnico para o *Backfill* consiste no monitoramento visual e por instalação de instrumentos visando acompanhar possíveis mudanças nas condições de estabilidade

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 75/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

das áreas de disposição de estéril e do rejeito hidráulicamente na área destinada a barragem ao longo do tempo, em conformidade com as recomendações apresentadas nos itens 15.1 a 15.3.

15.1 PLANO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

O plano de monitoramento e instrumentação para o *Backfill* foi concebido com o objetivo de gerar informações para avaliação tanto da estabilidade da estrutura quanto de possíveis danos no maciço.

O monitoramento contínuo desde o início das disposições do estéril até a disposição hidráulica do rejeito na região noroeste do arranjo do *Backfill* permitirá a verificação e o desenvolvimento da linha freática no maciço e a tomada de medidas de controle em caso de necessidade.

Para as próximas etapas do projeto, deverão ainda ser realizadas a elaboração de uma Carta de Risco e Manual de Operação.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 76/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

15.2 MONITORAMENTO VISUAL

O plano de monitoramento visual proposto consiste na inspeção local do aterro em estéril do *Backfill* e das estruturas acessórias (extravasor, canaletas e canais de drenagem superficial, entre outras), pela verificação de:

- Condições geométricas das bancadas;
- Existência de fendas e surgências de água nos taludes externos;
- Identificação da existência de processos erosivos na superfície dos taludes;
- Existência de trincas, deslizamentos e depressões na crista, nos taludes e bermas dos depósitos;
- Existência de regiões saturadas de água na superfície dos taludes de jusante da barragem, indicadas pela coloração e intensidade da vegetação;
- Deformações ou qualquer outro indicativo de instabilidade do sistema aterro/fundação; e
- Verificação das estruturas de drenagem, buscando identificar processos erosivos, pontos de assoreamento e pontos com possível deficiência no revestimento.

15.3 MONITORAMENTO POR INSTRUMENTOS

A instrumentação tem como objetivo avaliar o comportamento e as condições de segurança do sistema de disposição de estéril e rejeitos na região da cava do Projeto Bloco 8, considerando a ocupação de áreas já exauridas da exploração denominado com *Backfill*, no que diz respeito aos aspectos da segurança estrutural dos aterros em estéril, tanto para a área de disposição do estéril de modo convencional e para a área noroeste do arranjo destinada a disposição hidráulica do rejeito, durante todas as fase de operação. As avaliações/verificações de segurança ocorrem através do controle das vazões da drenagem interna, controle dos níveis de água no interior do aterro em estéril devido a possíveis problemas nos dispositivos de drenagem interna, pressões desenvolvidas na fundação e devido ao crescimento das estruturas, de modo a serem identificados possíveis problemas em tempo hábil para adoção de medidas corretivas.

Os instrumentos a serem utilizados para o monitoramento da *Backfill* serão:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 77/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Marco superficial: instalado na crista e bermas para avaliação do recalque que a estrutura sofrerá durante a fase de construção, após a construção e durante a etapa operacional e de descomissionamento;
- Medidor de nível de água: instalado no aterro em estéril da estrutura, para conhecer as condições de saturação na estrutura e avaliar se o sistema de drenagem interna está funcionando adequadamente;
- Medidor de vazão: instalado na saída dos dispositivos de drenagem interna, para conhecimento da vazão percolada na porção noroeste do arranjo geométrico do *Backfill* e posição dos níveis freáticas na região destinada exclusivamente a disposição do estéril; e
- Piezômetro tipo Casagrande (tubo aberto): instalado na fundação para conhecimento e avaliação das poropressões desenvolvidas devido à disposição do estéril.

Os piezômetros do tipo CASAGRANDE, medidores de nível d'água e marcos superficiais deverão ser executados nas elevações propostas para o presente estudo, assim que se atinjam os níveis propostos de modo a subsidiar o monitoramento do Backfill em todas as etapas de operação da estrutura.

A apresenta as coordenadas de localização dos instrumentos programados o *Backfill* durante os anos de operação do Projeto Bloco 8.

Tabela 15.3.1 – Coordenadas programadas da instrumentação do *Backfill*

Tipo de Instrumento	Identificação	Coordenadas (UTM -SAD 69)		
		E(m)	N(m)	Z(m)
Marcos Superficiais	MS-01	741.867,81	8.204.989,70	655,00
	MS-02	741.747,82	8.204.988,97	695,00
	MS-03	741.627,82	8.204.988,24	735,00
	MS-04	741.507,82	8.204.987,50	775,00
	MS-05	741.387,82	8.204.986,78	815,00
	MS-06	741.237,82	8.204.985,87	865,00
	MS-07	741.868,88	8.204.814,72	655,00
	MS-08	741.749,02	8.204.814,00	695,00
	MS-09	741.628,88	8.204.813,24	735,00
	MS-10	741.508,88	8.204.812,59	775,00
	MS-11	741.389,18	8.204.811,81	815,00
	MS-12	741.238,94	8.204.810,89	865,00
	MS-13	741.759,23	8.204.613,62	695,00
	MS-14	741.639,72	8.204.602,51	735,00
	MS-15	741.520,24	8.204.591,41	775,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 78/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

Tipo de Instrumento	Identificação	Coordenadas (UTM -SAD 69)		
		E(m)	N(m)	Z(m)
	MS-16	741.400,75	8.204.580,30	815,00
	MS-17	741.251,40	8.204.566,42	865,00
	MS-18	741.789,09	8.204.292,48	695,00
	MS-19	741.669,58	8.204.281,37	735,00
	MS-20	741.550,15	8.204.269,71	775,00
	MS-21	741.881,45	8.203.935,94	705,00
	MS-22	741.804,25	8.203.887,79	735,00
	MS-23	741.704,22	8.203.822,16	775,00
	MS-24	741.577,72	8.203.741,01	815,00
	MS-25	741.021,35	8.204.398,04	825,00
	MS-26	741.009,86	8.204.456,93	845,00
	MS-27	740.998,37	8.204.515,82	865,00
Indicador de Nível D'água	MNA-01	741.867,88	8.204.967,22	655,00
	MNA-02	741.747,88	8.204.966,49	695,00
	MNA-03	741.627,89	8.204.965,76	735,00
	MNA-04	741.507,89	8.204.965,03	775,00
	MNA-05	741.387,89	8.204.964,30	815,00
	MNA-06	741.237,89	8.204.963,39	865,00
	MNA-07	741.868,95	8.204.963,39	655,00
	MNA-08	741.749,08	8.204.791,52	695,00
	MNA-09	741.628,95	8.204.790,77	735,00
	MNA-10	741.508,95	8.204.790,11	775,00
	MNA-11	741.389,25	8.204.789,33	815,00
	MNA-12	741.239,01	8.204.788,42	865,00
	MNA-13	741.761,29	8.204.591,24	695,00
	MNA-14	741.641,79	8.204.580,13	735,00
	MNA-15	741.522,30	8.204.569,03	775,00
	MNA-16	741.402,82	8.204.557,92	815,00
	MNA-17	741.253,46	8.204.544,04	865,00
	MNA-18	741.791,15	8.204.270,10	695,00
	MNA-19	741.671,65	8.204.258,99	735,00
	MNA-20	741.552,21	8.204.247,33	775,00
	MNA-21	741.893,53	8.203.916,99	705,00
	MNA-22	741.816,33	8.203.868,84	735,00
	MNA-23	741.716,30	8.203.803,21	775,00
	MNA-24	741.589,80	8.203.722,06	815,00
	MNA-25	740.999,26	8.204.393,88	825,00
	MNA-26	740.987,77	8.204.452,77	845,00
	MNA-27	740.976,29	8.204.511,66	865,00
Piezômetros	PZ-01	741.867,74	8.204.945,92	655,00
	PZ-02	741.747,74	8.204.945,19	695,00
	PZ-03	741.627,74	8.204.944,46	735,00
	PZ-04	741.868,80	8.204.770,94	655,00
	PZ-05	741.748,94	8.204.770,21	695,00
	PZ-06	741.628,81	8.204.769,46	735,00
	PZ-07	741.763,05	8.204.570,00	695,00
	PZ-08	741.643,54	8.204.558,90	735,00
	PZ-09	741.524,05	8.204.547,79	775,00
	PZ-10	741.792,91	8.204.547,79	695,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 79/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

Tipo de Instrumento	Identificação	Coordenadas (UTM -SAD 69)		
		E(m)	N(m)	Z(m)
	PZ-11	741.673.40	8.204.237,76	735,00
	PZ-12	741.553.96	8.204.226,09	765,00
	PZ-13	741.904.81	8.203.898,91	705,00
	PZ-14	741.827.61	8.203.850,76	735,00
	PZ-15	741.727.58	8.203.785,13	775,00
	PZ-16	740.978.29	8.204.390,14	825,00
	PZ-17	740.966.80	8.204.449,03	845,00
	PZ-18	740.955.31	8.204.507,91	865,00
Medidor de Vazão	MV-01	741.928,18	8.204.873,79	-
	MV-02	741.967,82	8.203.946,85	-

O documento MINA_BLC8007-1010-O-85 do Apêndice E apresenta os detalhes e localização dos instrumentos programados para o *Backfill*.

Para a próxima etapa do projeto deverão ser desenvolvidos, além do Manual de Operação do Sistema de Disposição de Rejeitos, uma Carta de Risco para controle e monitoramento.

16.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos estudos geotécnicos hidrológicos e hidráulicos para a ocupação das zonas exauridas da cava do Projeto Bloco 8, denominado como *Backfill*, pode-se concluir que:

- As atividades de disposição do estéril deverão ser iniciadas no ANO 2 da operação;
- O estéril gerado nas atividades do *pré-stripping* e Ano 1 deverão ser direcionados integralmente para a construção dos maciços iniciais das Barragens 1 e 2, conforme apresentado na Tabela 6.3 do presente documento;
- O arranjo geométrico elaborado para o *Backfill* do Projeto Bloco 8 atende integralmente a todo o volume de estéril a ser gerado nos 18 anos de operação do empreendimento;
- A estrutura foi projetada ainda para receber um volume excedente de rejeito na sua porção noroeste, nos anos finais da operação, sendo um volume adicional para o empreendimento, uma vez que todo o volume de rejeitos previstos no Plano de Disposição desenvolvido pela SAM é atendido pelas Barragens 1 e 2, localizadas nos córregos Lamarão e Mundo Novo;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 80/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- A SAM poderá considerar a disposição dos rejeitos na região, sendo recomendado a utilização apenas de rejeito grosso, lançado hidraulicamente na região do *Backfill*;
- A medida visa garantir que o preenchimento da região confinada entre a face norte/noroeste do arranjo geométrica apresente maiores características de drenabilidade, auxiliando no abatimento da linha freática na região do reservatório ao ser formada a praia de rejeitos, com consequente aumento da segurança geotécnica da estrutura;
- Para esta etapa dos estudos, o arranjo geométrico do *Backfill* foi desenvolvido apenas para a etapa final, devido as inúmeras variáveis de projeto que poderão sofrer alterações tais como Plano de Produção, Sequenciamento Anual da Cava, Posição das Britagens, Alteração dos Volumes de Estéril a serem utilizados para a construção das Barragens 1 e 2 (após a caracterização da fundação e do próprio estéril). Para as demais etapas do estudo, recomenda-se o sequenciamento anual da disposição para avaliar o crescimento e a ocupação real das áreas exauridas da cava de modo a evitar interferências com as frentes de lavra;
- Os estudos de avaliação da estabilidade geotécnica para o *Backfill* demonstram que a estrutura se encontra estável geotécnicamente para as seguintes condições:
 - Condições estabelecidas na NBR 13.028 (ABNT, 2017);
 - Condições estabelecidas na NBR 13.029 (ABNT, 2017);
 - Avaliação da estabilidade geotécnica para os sismos naturais na região do Projeto Bloco 8;
- Nas demais etapas do estudo, devido a proximidade entre o arranjo geométrico do *Backfill* e as frentes de lavra, deverá ser avaliado o efeito do sismo desencadeado pelas detonações na área da cava do Projeto Bloco 8, de modo a definir os planos de fogo para a região, considerando a equação desenvolvida pela SAM para o empreendimento e posteriormente, a partir de dados de monitoramento sistemático com a calibração da equação para o Projeto Bloco 8;
- Para o controle das percolações e/ou infiltrações pelo maciço em estéril da disposição em *Backfill* foram previstos dispositivos de drenagem interna para a coleta e disciplinamento dos fluxos através de drenos de fundo na região de disposição exclusiva em estéril e tapetes dreenantes para o trecho em disposição de estéril (aterro do dique) e disposição hidráulica do rejeito grosso;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 81/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

- Para esta etapa, foi desprezado a utilização de filtro vertical pra o aterro de conformação da sela topográfica para a formação do reservatório na porção norte/noroeste, de modo a permita a SAM operar a disposição do estéril de maneira convencional, considerando a compactação com o trafego de equipamentos. Nos estudos, preliminarmente, foi considerada a adoção de crista com largura de 20,00 m na EL. 865,00 m, de modo a permitir maior área de maciço, com maior perda de carga e consequente abatimento da linha freática na região;
- Deverá ser avaliada em etapa futura a necessidade de disposição de rejeitos na área do *Backfill* e caso seja constatado a necessidade real, deverá ser avaliado a necessidade de implantação de filtro vertical para o aterro em estéril para o reservatório na porção norte/nordeste;
- Deverá ainda ser verificado a melhor metodologia a ser utilizada para a construção deste filtro;
- Para os tapetes drenantes, foi considerado que as estruturas de ombreiras deverão direcionar os fluxos para a região central do aterro de disposição e esta região será a responsável pelo desaguamento para o fundo da cava;
- Para a área de disposição exclusiva de estéril, foi previsto a construção de um dreno de fundo, considerando as condições topográficas da área e direcionamento para o fundo da cava;
- Para tal, foi considerado que todos os dispositivos de drenagem serão construídos com materiais naturais (areia, brita e rochas britadas) oriundas de áreas de empréstimo na região do empreendimento;
- Nesta etapa não foram realizados os dimensionamentos das transições geotécnicas para os materiais de transição, sendo indicadas as granulometrias com base em dimensionamentos em materiais similares, considerando as granulometrias dos materiais apresentados na NBR 7211 (ABNT, 2009);
- Deverá ser construído um dreno de pé na região do pé da estrutura para o direcionamento dos fluxos percolados, direcionando o mesmo para a região do fundo da cava;
- De modo a evitar o desaguamento do reservatório do *Backfill* para o fundo da cava e minimizar grandes movimentações de terra na área da cava, foi previsto a compatibilização do sistema extravasor do *Backfill* com as estruturas existentes na região da cava (extravasor da Barragem 2 nas etapas iniciais e final). Assim, foi considerado o desaguamento do mesmo pelo canal rápido da Barragem 2;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 82/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

Para as demais etapas do projeto, recomenda-se a realização dos seguintes itens:

- Elaboração do sequenciamento construtivo do *Backfill* considerando os avanços de lavra conforme o sequenciamento proposto, posição das britagens e interferências existentes tais como acessos, posição das correias transportadoras, área destinada a disposição do minério de oportunidade;
- Avaliação da utilização da área destinada a disposição hidráulica do rejeito grosso, na porção noroeste, uma vez que o volume total de rejeitos previstos no estudo é suportado pelas Barragens 1 e 2 do Projeto Bloco 8;
- No caso da necessidade real da utilização da área, deverá ser realizado o estudo de disposição de rejeitos considerando a mesma metodologia adotada para as Barragens 1 e 2;
- Em caso da utilização do *Backfill* somente em estéril, deverá ser realizado a ocupação da área noroeste com o estéril, sendo recomendado a revisão do arranjo de modo a atender aos volumes de estéril requeridos;
- Para os dispositivos de drenagem interna, para as demais etapas do projeto, deverá ser refinado o dimensionamento do dreno DN-01, considerando a geometria da cava final operacional, de modo a determinar as declividades reais por trecho;
- Para a região noroeste do arranjo, onde foi previsto a disposição hidráulica do rejeito, a SAM deverá avaliar a necessidade de implantação de filtro vertical para as demais etapas, bem como a metodologia construtiva para o mesmo;
- Para os tapetes projetados, deverá ser realizado a revisão dos dimensionamentos considerando as declividades da cava para a geometria final;
- Para o sequenciamento anual a ser elaborado para as demais etapas do projeto, deverá ser avaliado a construção dos dispositivos de drenagem interna, bem como o plano de instrumentação; e
- Para as demais etapas do projeto deverão ser realizadas a avaliação das transições geotécnicas para o *Backfill* de modo a se determinar as curvas granulométricas dos materiais para atendimento aos critérios de filtragem e permeabilidade.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 83/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

17.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.028: Elaboração e Apresentação de Projeto de Barragens para Disposição de Rejeitos, Contenção de Sedimentos e Reservação de Água, em mineração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.029: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração. Rio de Janeiro: ABNT,

CRUZ, P.T 100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais De Construções, Projeto, São Paulo,SP, 1996. 648p Oficina de Textos/FAPESP, 2ª edição;

DAS, BRAJA M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Tradução da 7ª ed. norte-americana. Cengage Learning, São Paulo, 2011.

VICK, S.G. (1983). Planning, design and analysis of tailings dams. John Wiley & Sons

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 84/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

APÊNDICE A – ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO – DIMENSIONAMENTO DRENAGEM INTERNA REGIÃO NOROESTE

A Figura A.1 a Figura A.3 apresentam os resultados para as análises de percolação para a determinação das vazões de dimensionamento dos tapetes drenantes do Backfill.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
DISPOSIÇÃO BACKFILL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-33

Folha
85/98

WBH28-17-SAM-RTE-0033

Revisão 02

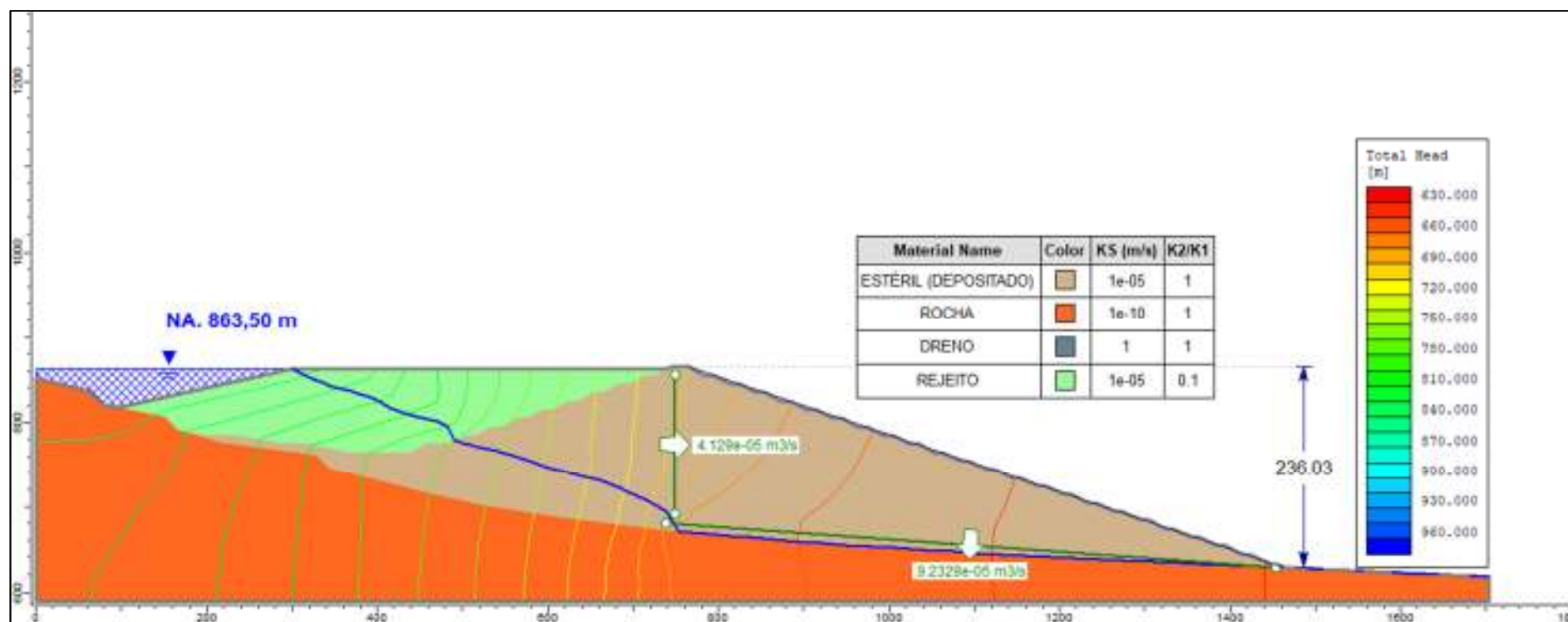


Figura A.1 – Análise de percolação para a seção central.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
DISPOSIÇÃO BACKFILL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-33

Folha
86/98

WBH28-17-SAM-RTE-0033

Revisão 02

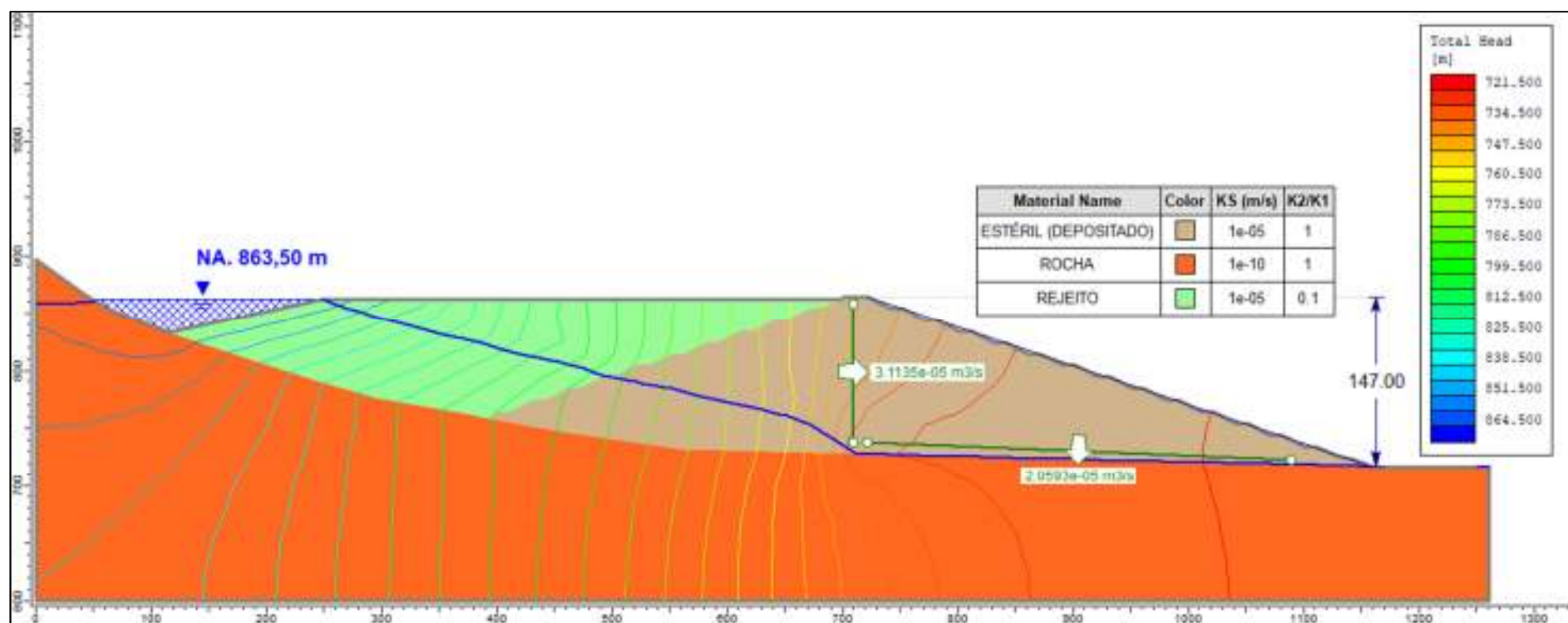


Figura A.2 – Análise de percolação para a ombreira esquerda



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
DISPOSIÇÃO BACKFILL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-33

Folha
87/98

WBH28-17-SAM-RTE-0033

Revisão 02

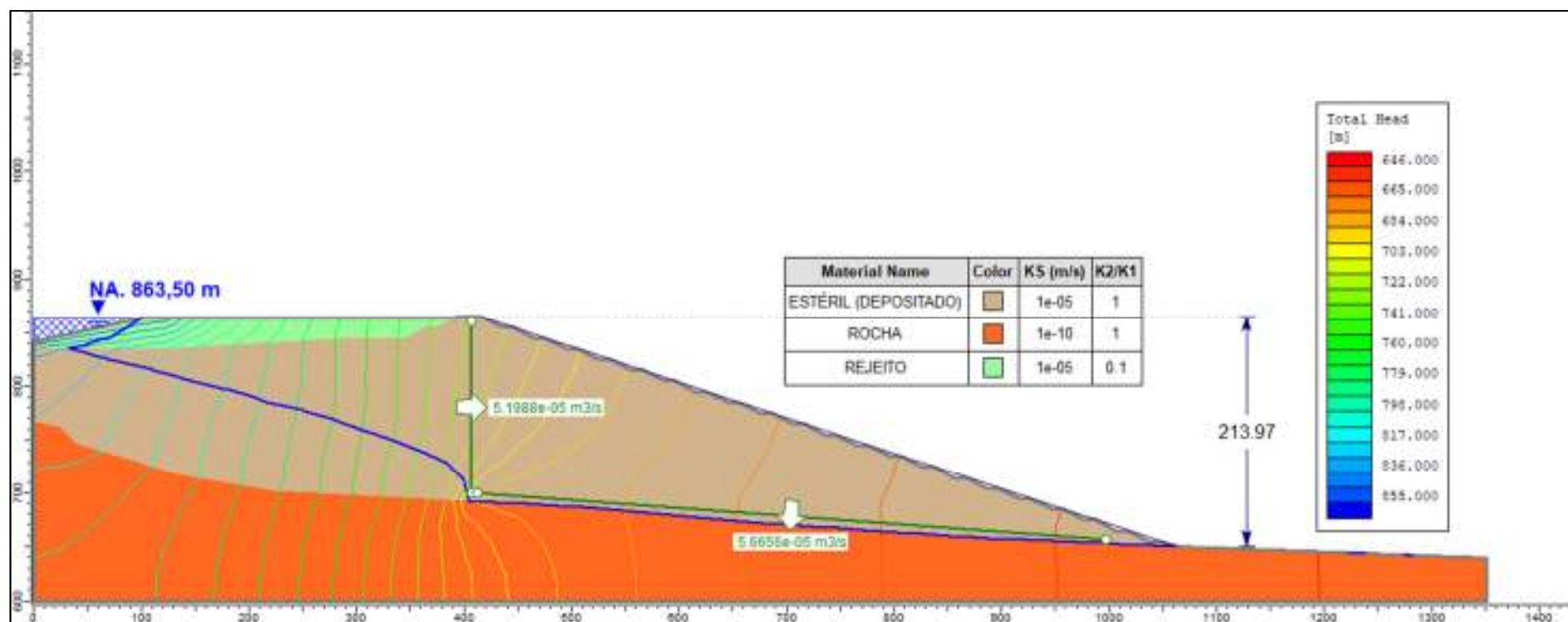


Figura A.3 – Análise de percolação para a ombreira direita.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 88/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

APÊNDICE B – ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO – ESTABILIDADE GEOTÉCNICA DAS SEÇÕES A-A' - *BACKFILL*

A Figura B.1 e Figura B.2 apresentam as análises de percolação para a Seção A-A' para as análises de estabilidade para as condições normais e críticas de operação respectivamente.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
DISPOSIÇÃO BACKFILL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-33

Folha
89/98

WBH28-17-SAM-RTE-0033

Revisão 02

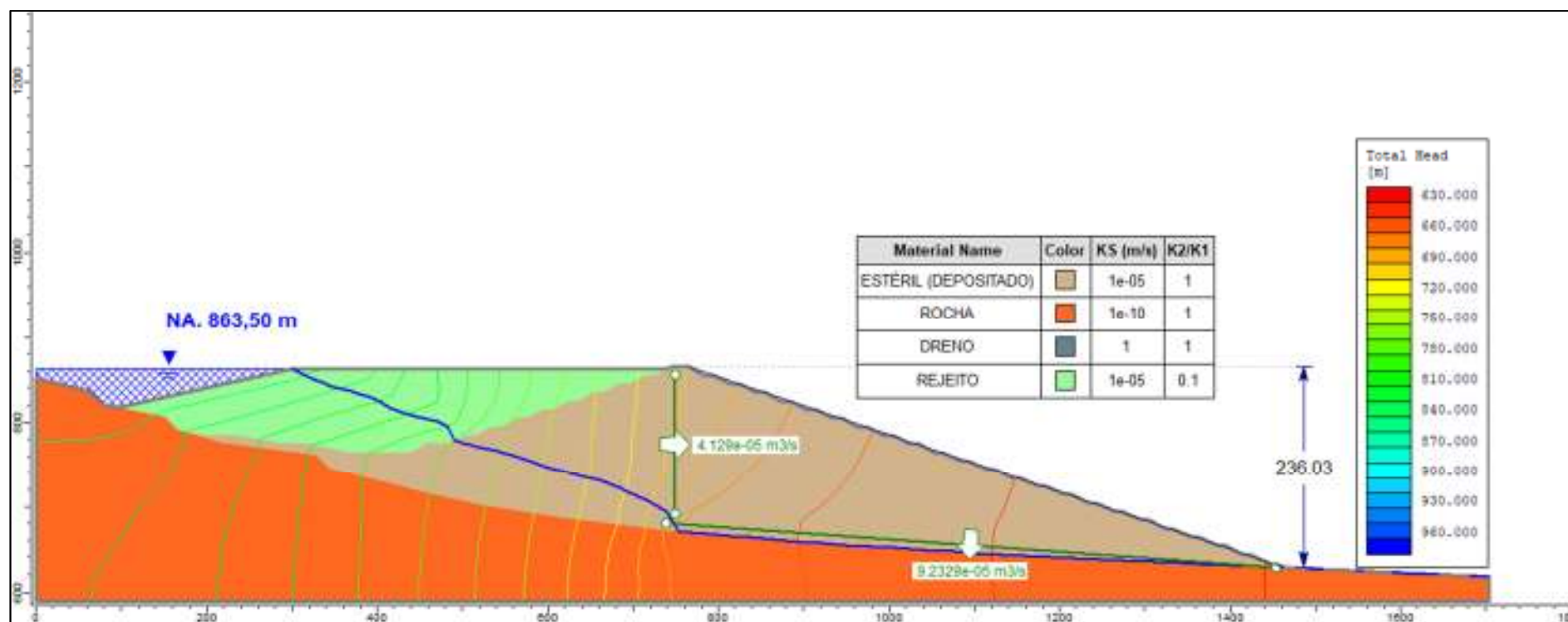


Figura B.1 – Análise de percolação para a Seção A-A' – Condição Normal



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
DISPOSIÇÃO BACKFILL
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-33

Folha
90/98

WBH28-17-SAM-RTE-0033

Revisão 02

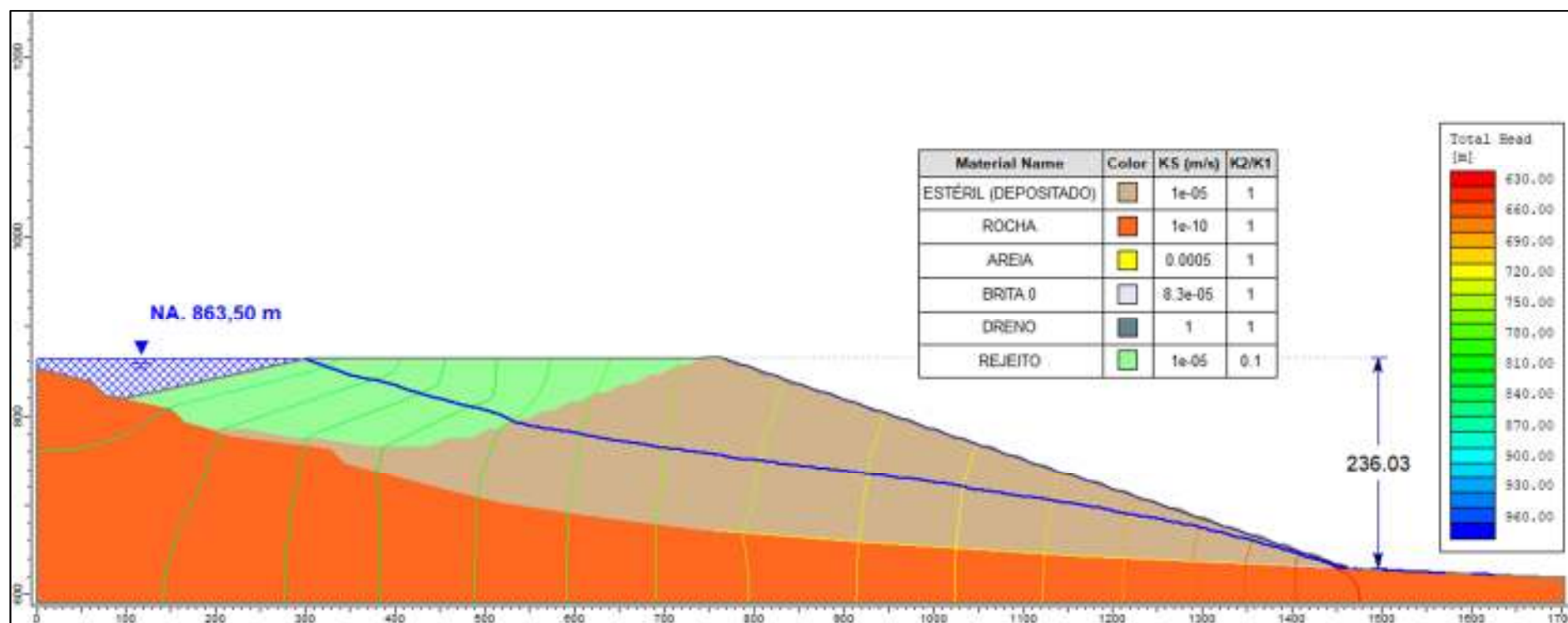


Figura B.2 – Análise de percolação para a Seção A-A' – Condição Crítica

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 91/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

APÊNDICE C – ANÁLISE ESTABILIDADE GEOTÉCNICA – SEÇÕES A-A' E B-B'

A Figura C.1 a Figura C.4 apresentam as análises de estabilidade referentes a Seção A-A' na porção noroeste do arranjo do *Backfill* para a disposição do estéril e do rejeito, considerando as diretrizes da NBR 13.028 (ABNT,2017). Já a Figura C.5 a C.7 apresentam as análises para a Seção B-B' na região sul do *Backfill*, onde será depositado preferencialmente estéril, considerando as diretrizes da NBR 13.029 (ABNT,2017).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 92/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

• **SEÇÃO A-A'**

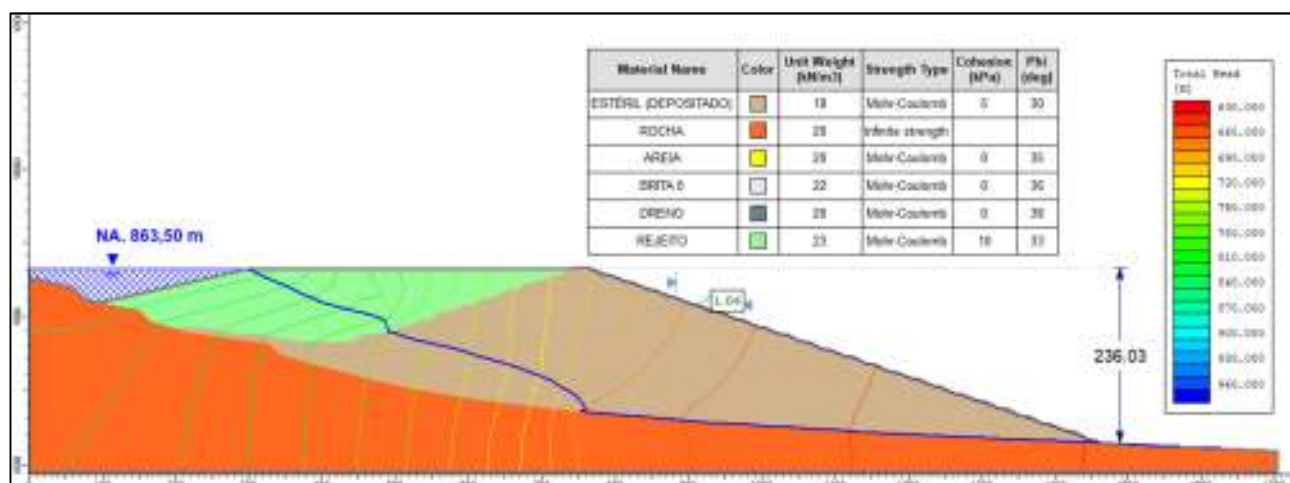


Figura C.1 – Análise de estabilidade para a Seção A-A' – Condição Normal – Jusante – Talude Local – FS= 1,64

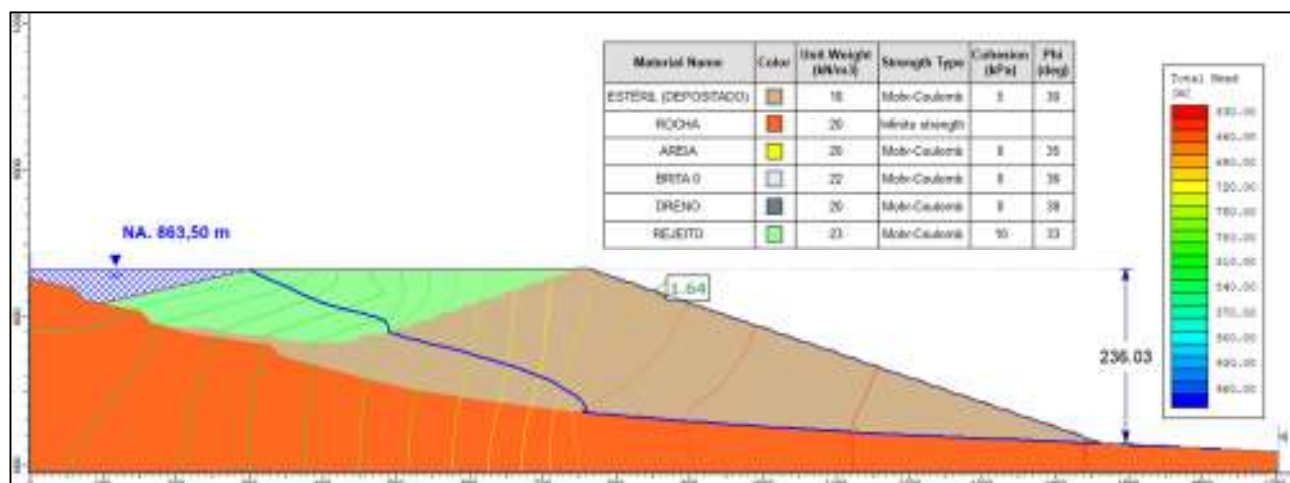


Figura C.2 – Análise de estabilidade para a Seção A-A' – Condição Normal – Jusante – Talude Global – FS= 1,64

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 93/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

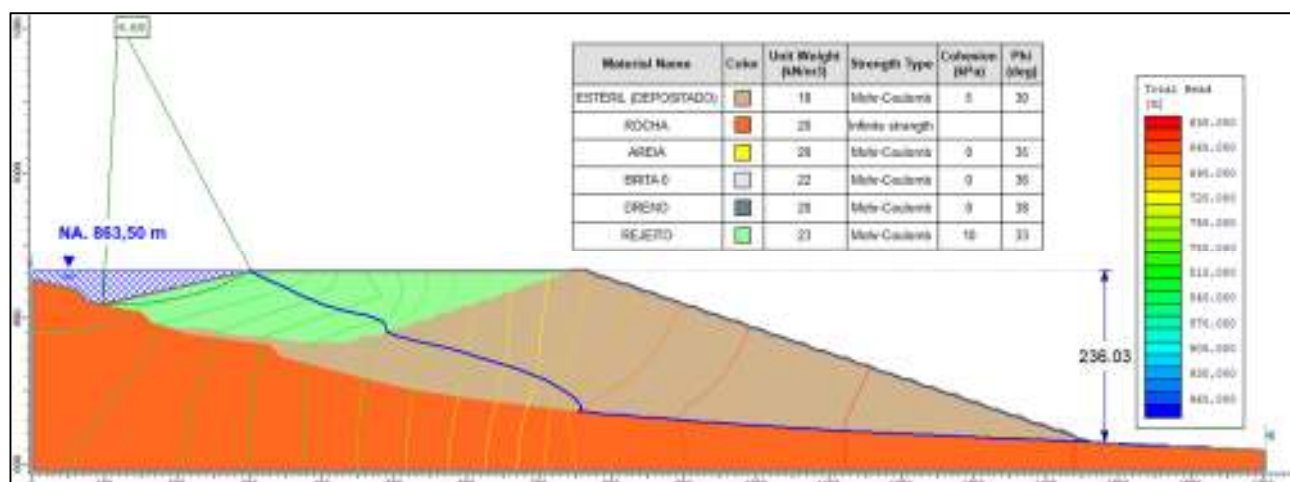


Figura C.3 – Análise de estabilidade para a Seção A-A' – Condição Normal – Montante – Talude Global – FS= 4,69

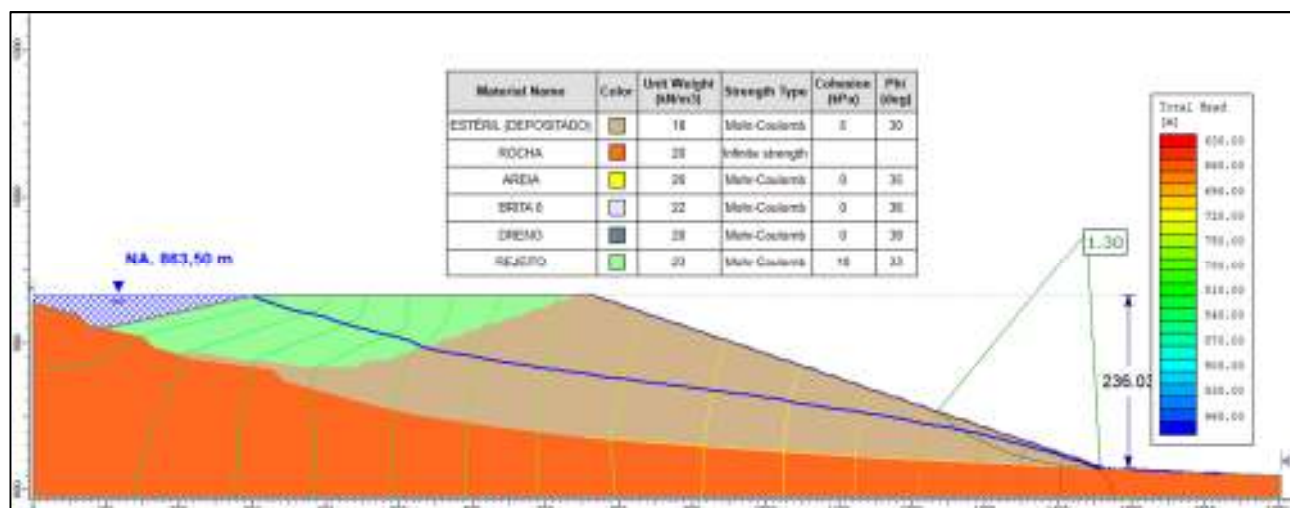


Figura C.4 – Análise de estabilidade para a Seção A-A' – Condição Crítica – Jusante – Talude Global – FS= 1,30

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 94/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

• **SEÇÃO B-B'**

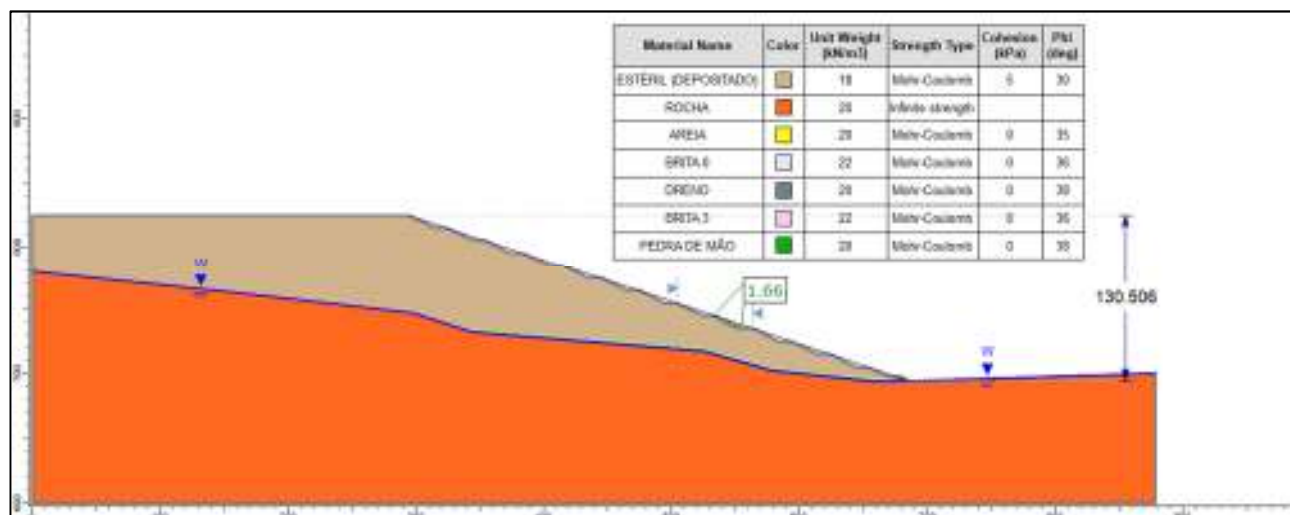


Figura C.5 – Análise de estabilidade para a Seção B-B' – Condição Normal – Talude Local – FS= 1,66

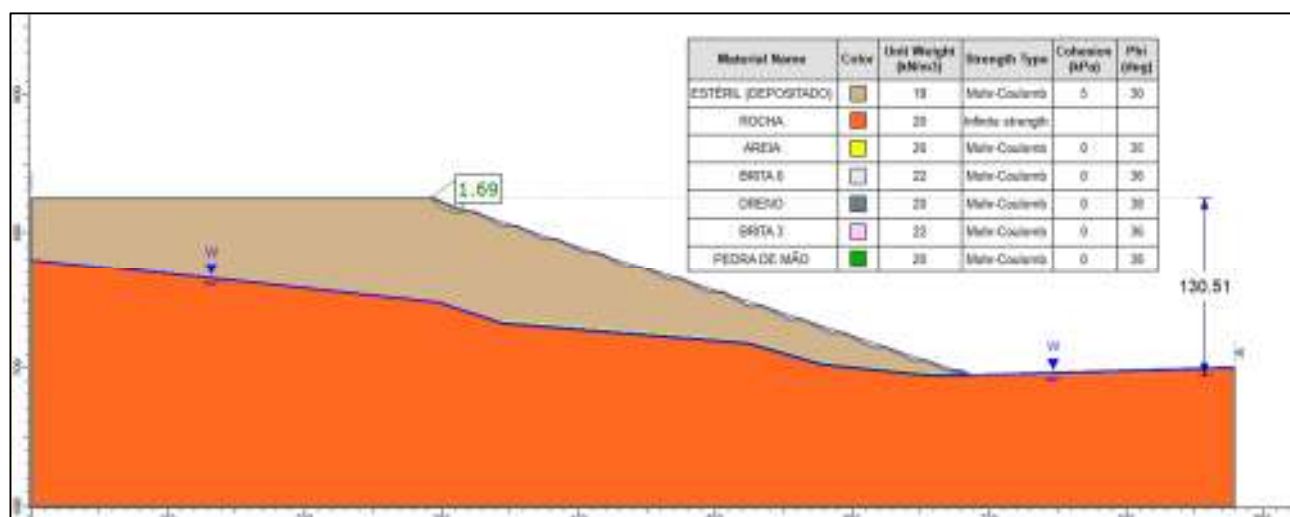


Figura C.6 – Análise de estabilidade para a Seção B-B' – Condição Normal – Talude Global – FS= 1,69

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 95/98
		WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02

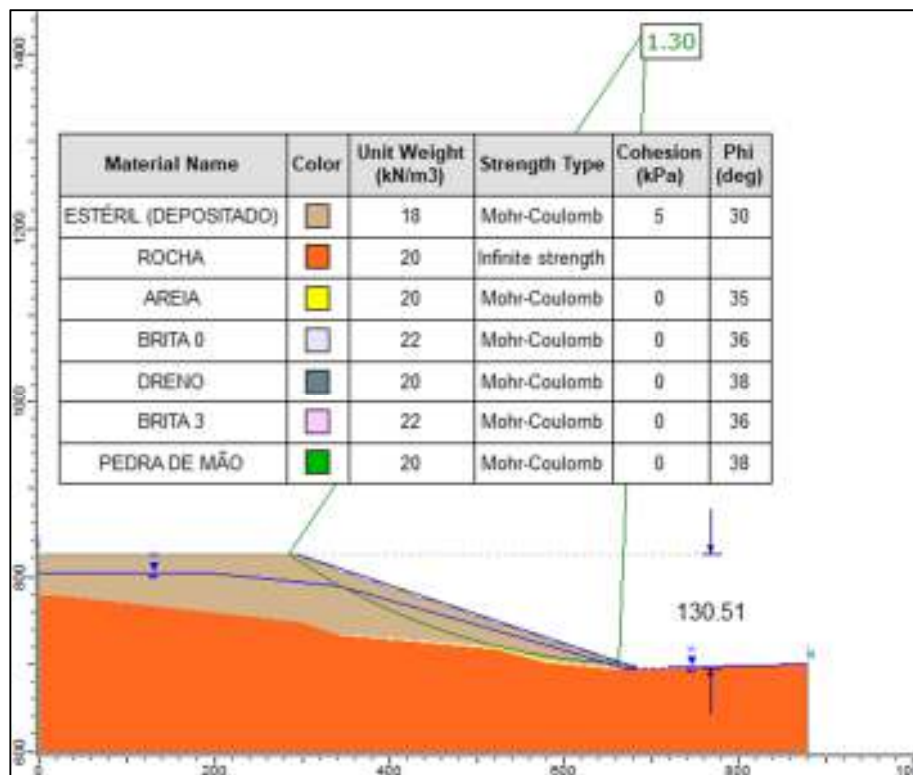


Figura C.7 – Análise de estabilidade para a Seção B-B' – Condição Crítica –Talude Global – FS= 1,30

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33		Folha 96/98
	WBH28-17-SAM-RTE-0033		Revisão 02

APÊNDICE D – ANÁLISE PSEUDO ESTÁTICAS – SEÇÕES A-A’ E B-B’

A Figuras D.1 e Figura D.2 apresentam os resultados das análises pseudo-estáticas para as seções de estabilidade avaliadas no *Backfill*.

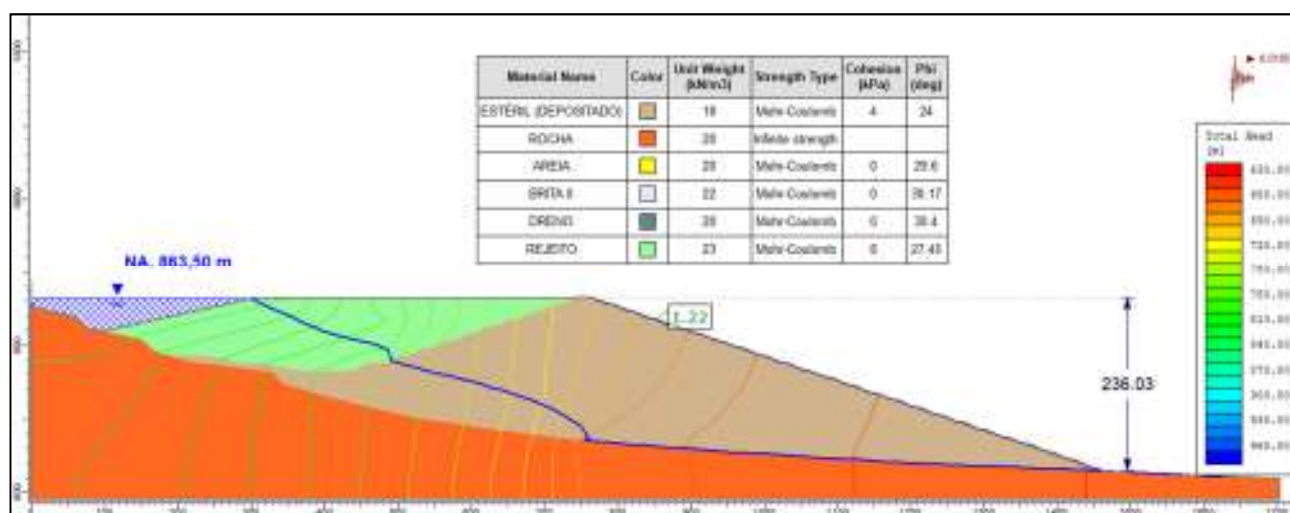


Figura D.1 – Análise de estabilidade para a Seção A-A’ – Condição Normal –Análise Pseudo-Estática – FS= 1,22

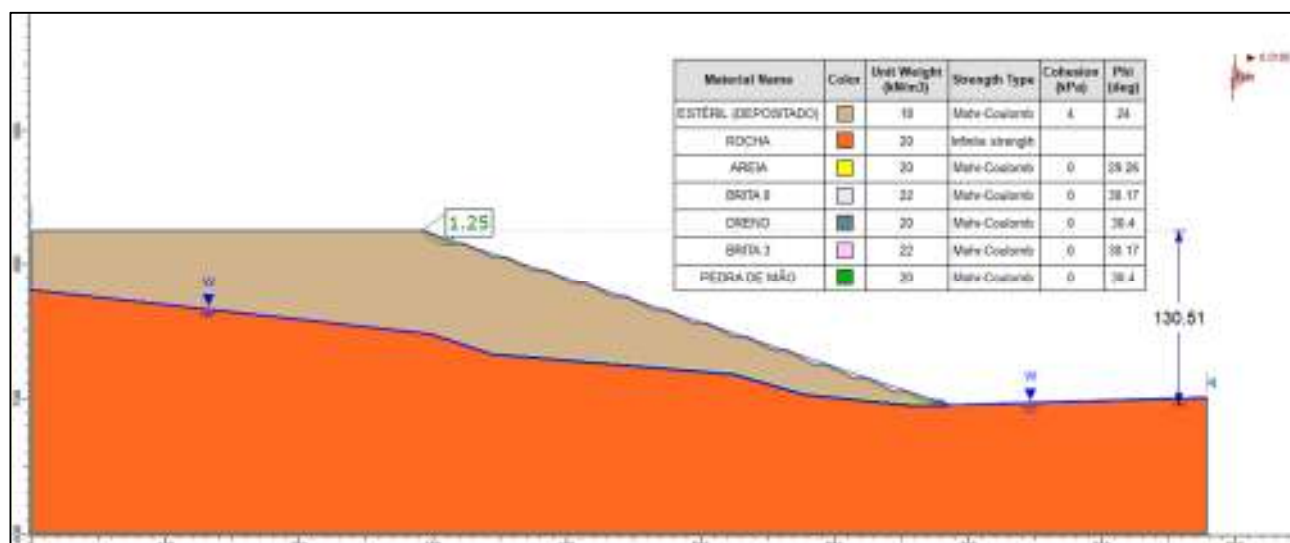


Figura D.2 – Análise de estabilidade para a Seção B-B’ – Condição Normal –Análise Pseudo-Estática – FS= 1,25

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 97/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO DISPOSIÇÃO BACKFILL RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-33	Folha 98/98	
	WBH28-17-SAM-RTE-0033	Revisão 02	

APÊNDICE E – DESENHOS