

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 1/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

RELATÓRIO TÉCNICO

BARRAGEM 2

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

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 3/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	APRESENTAÇÃO	5
2.0	INTRODUÇÃO	6
3.0	CRITÉRIOS E PREMISSAS ADOTADAS NO PROJETO	7
4.0	INTERFERÊNCIAS	10
5.0	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	11
6.0	PLANO DE PRODUÇÃO	14
7.0	ESTRUTURAS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS	19
7.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO	19
7.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE O ALTEAMENTO DO MACIÇO	22
7.2.1	Alteamento por Linha de Centro	22
7.2.2	Projeto da Barragem Alteada por Linha de Centro com Estéril	23
7.2.3	Metodologia de Ocupação do Reservatório	26
7.2.4	Ocupação do Reservatório Barragem 2	30
7.2.5	Água Liberada do rejeito para a Barragem 2	43
8.0	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	47
8.1	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE CAMPO E LABORATÓRIO	47
8.1.1	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS	47
9.0	ESTUDOS GEOTÉCNICOS	50
9.1	TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO	50
9.2	DIMENSIONAMENTOS GEOTÉCNICOS	50
9.2.1	Análises de Percolação	50
9.2.2	Análises de Estabilidade	52
9.2.3	Análise Sísmica	55
9.2.3.1	SISMO NATURAL	55
9.2.3.1.1	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE SÍSMICO	55
9.2.3.2	SISMO DESENCADEADO POR DETONAÇÕES	63
9.2.4	Análise de Liquefação	65
9.2.5	Drenagem Interna	69
9.2.5.1	Dimensionamento	70
10.0	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	74
10.1	CHUVAS DE PROJETO	74
10.2	VAZÕES DE PROJETO	79
10.2.1	Sistema Extravasador da Barragem 2 e Backfill	79
10.2.2	Sistema de Drenagem Superficial da Barragem 2	82
10.3	CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS	84

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 4/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

10.3.1	Sistema Extravasor da Barragem 2	84
10.3.1.1	Avaliação do Trânsito de Cheia na Barragem 2	84
10.3.2	Sistema Extravasor do Reservatório Formado pelo Backfill	89
10.3.2.1	Avaliação do Trânsito de Cheia no Reservatório do Backfill	90
10.3.3	Sistema de Drenagem superficial da Barragem 2	92
10.3.3.1	Dimensionamento Hidráulico dos Dispositivos de Drenagem Superficial	93
10.4	BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM 2	95
10.4.1	PREMISSAS E CRITÉRIOS	95
10.4.2	METODOLOGIA	96
10.4.3	RESULTADOS	99
11.0	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	103
12.0	PLANO DE MONITORAMENTO	103
12.1	PLANO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	103
12.2	MONITORAMENTO VISUAL	104
12.3	MONITORAMENTO POR INSTRUMENTOS	104
13.0	CLASSIFICAÇÃO CONFORME PORTARIA DNPM Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017	109
14.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	111
15.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32		Folha 5/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032		Revisão 01

1.0 APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta o Projeto Conceitual 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 – Premissas Adotadas: são descritas as premissas adotadas para o desenvolvimento do projeto conceitual, firmado entre a WALM e a SAM.
- Item 4 – Interferências de projeto;
- Item 5 – Dados Utilizados: lista os dados utilizados para a elaboração do projeto, fornecidos pela SAM.
- Item 6 – Sintetiza o plano de produção do projeto;
- Item 7 – Estruturas para Disposição de Rejeitos: sintetiza todos os estudos desenvolvidos ao longo do projeto, para o Sistema de Disposição de Rejeitos
- Item 8 – Aspectos Geológico-Geotécnico: sintetiza todos os estudos acerca das investigações geológico-geotécnicas realizadas e as características dos rejeitos;
- Item 9 – Estudos Geotécnicos: sintetiza todos os estudos e dimensionamentos geotécnicos desenvolvidos ao longo do projeto, a geometria e arranjo proposto para o Sistema de Disposição de Rejeitos, as análises de percolação e estabilidade, dimensionamento da drenagem interna e o sistema de contenção e recuperação de água;
- Item 10 – Estudos Hidrológicos e hidráulicos: é apresentado os estudos hidrológicos para determinação das vazões de projeto os dimensionamentos hidráulicos das estruturas do projeto;
- Item 11 – Investigações Geológico-Geotécnicas;
- Item 12 – Plano de Monitoramento: é apresentado o plano de monitoramento e instrumentação proposto para o Sistema de Disposição de Rejeitos;
- Item 13 – Classificação conforme portaria DNPM N° 70.389, de 17 de maio de 2017;
- Item 14 – Conclusões e Recomendações;
- Item 15 - Referências Bibliográficas.

 Sul Americana de Metais S.A.		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 6/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

2.0 INTRODUÇÃO

Este relatório tem por objetivo apresentar o Projeto Conceitual elaborado para a Barragem 2 para disposição dos rejeitos gerados no Projeto Bloco 8 da empresa Sul Americana de Metais S.A. (SAM).

O Projeto Bloco 8 encontra-se em fase de revisão pela WALM, onde serão realizados os Serviços Multidisciplinares de Engenharia para Elaboração de Estudos Conceituais, nos quais estão contemplados os estudos de disposição do rejeito e do estéril a ser gerado na Mina com disposição, barragens, considerando inclusive, a disposição em cava, denominada “Backfill”. O projeto contemplará os 18 anos de operação da mina, sendo considerado o plano de lavra e o sequenciamento de exploração das cavas apresentados pela SAM.

O Projeto Bloco 8 localiza-se entre os municípios de Grão Mogol e Padre Carvalho, estado de Minas Gerais, a aproximadamente 600 km a norte de Belo Horizonte, capital do estado. O acesso a partir de Belo Horizonte é realizado pela BR-135 até o município de Montes Claros (MG). A partir deste ponto o acesso até o projeto é realizado pela BR-251 (Rodovia Júlio Garcia) por 136 km até as proximidades do distrito de Vale das Cancelas. O acesso a área do Projeto do Bloco 8 é realizado pela estrada vicinal não pavimentada. A Figura 2.1 apresenta a localização do projeto.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32		Folha 7/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032		Revisão 01



Figura 2.1 - Localização da área do Projeto Bloco 8.

3.0 CRITÉRIOS E PREMISSAS ADOTADAS NO PROJETO

Para a elaboração do estudo do projeto conceitual, foram adotadas as seguintes premissas de projeto:

- O dique de partida será homogêneo em estéril compactado, sendo construída em uma única etapa;
- Ocorrerão dois alteamentos por linha de centro, um na cota 905,00 m e o outro na 915,00 m e serão construídos em estéril compactado;

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 8/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

- Nesta etapa do projeto, a SAM informou que as áreas potenciais de empréstimo no interior do reservatório não serão caracterizadas, sendo foco da etapa futura do Projeto;
- Para esta etapa, a WALM não apresentará o plano de investigações geotécnicas, será apresentada em etapa posterior do projeto;
- O dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna foi realizado considerando o nível freático operacional previsto para a estrutura, com o nível d'água na EL. 913,00 m;
- A base topográfica do projeto é apresentada no documento "VRP-2010-O-0001_R0 - Topografia Bloco 8" que apresenta o levantamento topográfico do Alvo 8 com precisão de curvas de nível de metro em metro no sistema de referência SAD 69 e Fuso 23S;
- Os estudos de estabilidade foram balizados pela NBR 13.028 (ABNT, 2017) denominada "Mineração - Elaboração e Apresentação de Projeto de Disposição de Rejeitos, Contenção de Sedimentos e Reservatório de Água";
- Para as análises de estabilidade para a Barragem 2, deverão ser obedecidos os fatores de segurança preconizados pela norma NBR 13.028 (ABNT, 2017), conforme apresentado na Tabela 3.1, com exceção do fator de segurança mínimo entre bermas que deverá ser igual a 1,50;
- 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;

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 9/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 3.1 – Fatores de Segurança Mínimos para barragens de mineração.

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

- Para o sistema extravasor deverão ser considerados os períodos retorno estabelecidos na norma supracitada, resumidas na Tabela 3.2;

Tabela 3.2 – Período de Retorno a ser considerado para o dimensionamento dos sistemas extravasor.

Consequências ou Dano Potencial	Período de Retorno de Projeto (período operacional)	Período de Retorno de Projeto (período de fechamento)
Baixo	200 a 500 anos	10.000 anos ou PMP
Médio	500 a 1.000 anos	10.000 anos ou PMP
Alto	1.000 anos a PMP	10.000 anos ou PMP

- O dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna (filtro vertical, tapete central) foram realizadas considerando a metodologia de Darcy para Fluxos laminares;
- As análises de estabilidade para a validação das geometrias propostas para a Barragem 2 foram obtidas a partir do software Slide, versão 2018, desenvolvido pela Rocscience, adotando-se o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, e a teoria do equilíbrio limite pelo Método GLE/ Morgenstern Price.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 10/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

4.0 INTERFERÊNCIAS

- 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.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
11/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

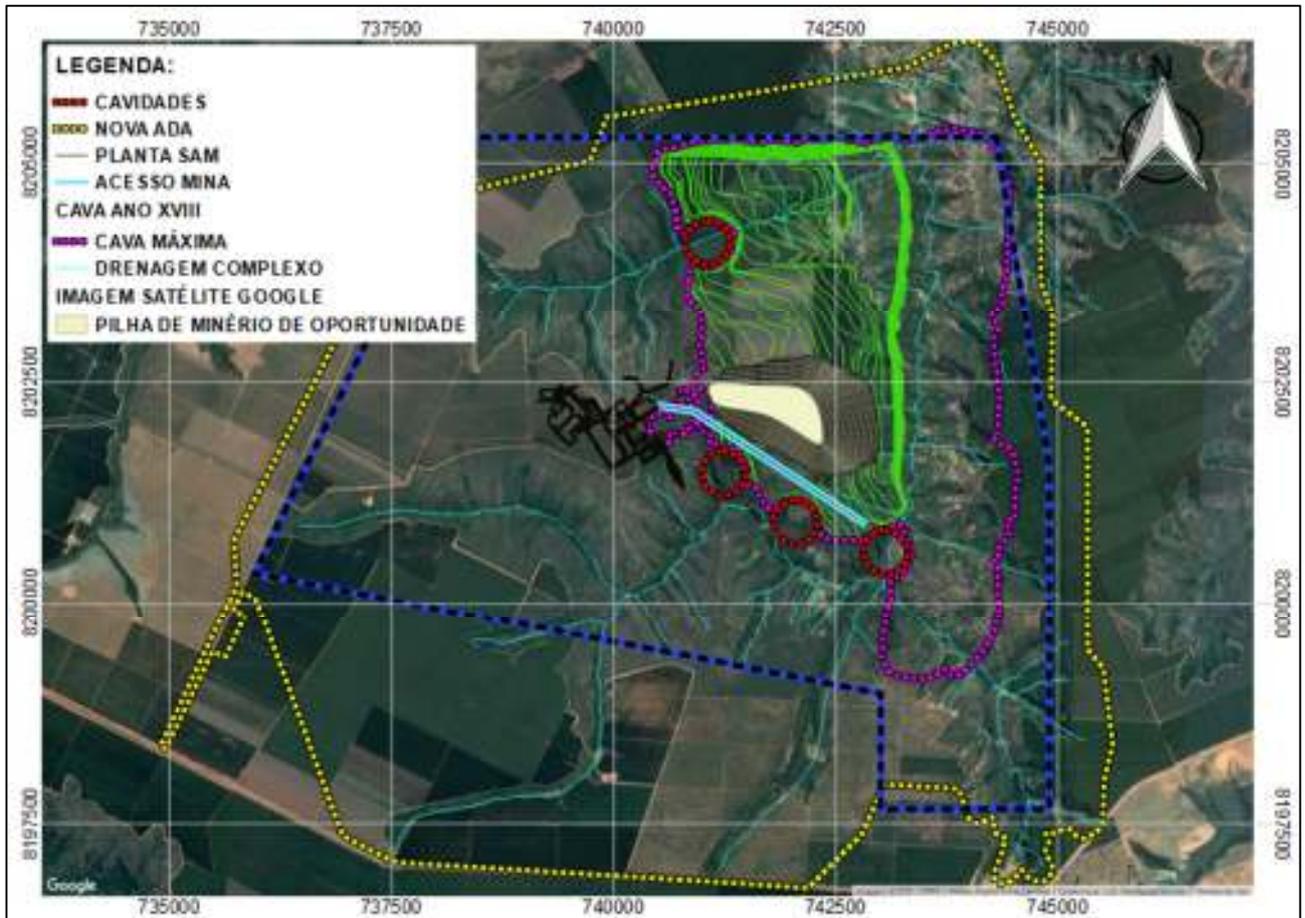


Figura 4.1 – Mapa de Interferências – Projeto Bloco 8.

5.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para a elaboração deste trabalho foram fornecidos pela SAM os seguintes documentos:

- 1VNNS004-1-EA-EIA-0015_23 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA Módulo 3 – Descrição do Empreendimento – Mineroduto. Elaborado pela BRANDT Meio Ambiente em Junho de 2012;
- 1VNNS004-1-EA-EIA-0006_9 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA – Módulo 6 – Diagnóstico do Meio Físico – Complexo Minerário e Adutora. Elaborado pela BRANDT Meio Ambiente em Junho de 2012;

 <p>SAM Sul Americana de Metais SA</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 12/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

- MINA_VRP005-1010-D-SE-01 – Sumário Executivo – Projeto Conceitual de Lavra. Elaborado pela Venturini Consultoria em Outubro de 2017;
- BSU-C-BV-RE-009-4 - Estudos Complementares e Esclarecimentos Solicitados sobre o Projeto Conceitual – Sumário Executivo. Elaborado pela DAM Engenharia em Dezembro de 2015;
- BSU-C-BV-RE-004-1 – Projeto Conceitual – Barragem Vacaria – Relatório Técnico. Elaborado pela DAM Engenharia em Maio de 2013;
- BSU-C-BV-RE-005-2 – Projeto Conceitual – Barragem Vacaria – Sumário Executivo. Elaborado pela DAM Engenharia em Maio 2013;
- Planilha com a medida do Nível Freático e Piezométrico de Novembro de 2010 a Abril de 2016;
- VRP-2010-M-0004_R00 – Estudo Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Plano Diretor. Elaborado pela SAM em Janeiro de 2018;
- VRP-2010-P-0004_R02 – Projeto Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Britagem Primária e Secundária, Peneiramento, Pilha Pulmão. Elaborado pela SAM em Maio de 2015;
- VRP-2010-P-0005_R02 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Pré-Moagem, Moagem Primária, Classificação. Elaborado pela SAM em Maio de 2015;
- VRP-2010-P-0006_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Pré-Concentração Magnética de Grossos/Finos e Deslamagem de Finos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- VRP-2010-P-0007_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Pré-Concentração Magnética Scavenger. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- VRP-2010-P-0008_R01 - Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Remoagem de Finos/Desaguamento de Finos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- VRP-2010-P-0009_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Remoagem de Grossos/Deslamagem de Grossos Remoídos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 13/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

- VRP-2010-P-0010_R01 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Flotação de Grossos Remoídos. Elaborado pela SAM em Maio de 2014;
- VRP-2010-P-0011_R01 - Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Flotação de Finos Remoídos. Elaborado pela SAM em Maio de 2014;
- VRP-2010-P-0012 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo com Balanço de Massas (5 Anos) – Espessador de Concentrado / Rejeito – Sistema de Água para Flotação. Elaborado pela SAM em Julho de 2015;
- VRP-2010-P-0013 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo com Balanço de Massas (5 Anos) – Espessador de Lamas / Água para Delamagem / Água para Processo. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- VRP-2010-P-0014_R02 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Sist. de Água p/ Utilidades – Sist. de Captação e Adução de Água Nova – Captação de Água Recuperada. Elaborado pela SAM em Julho de 2015;
- VRP-2010-P-0015_R01 – Projeto Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas (5 anos) – Balanço de Água. Elaborado pela SAM em Abril de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-01-01 – Projeto Conceitual – Relatório de Visita Técnica de Campo. Elaborado pela WALM em Outubro de 2013;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-02-05 – Projeto Conceitual – Geotecnia de Cava – Relatório Final. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-03-08 – Projeto Conceitual – Estudo de Alternativas de Disposição de Rejeitos e Estéril – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-04-05 – Projeto Conceitual – Plano de Manejo Integrado dos Recursos Hídricos – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-05-04 – Projeto Conceitual – Sistema de Desvios – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-06-06 – Projeto Conceitual – Barragem de Água Industrial – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 14/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

- MINA_VRP002-1010-O-RE-07-04 – Projeto Conceitual – Modelo Hidrogeológico-Conceitual – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-08-05 – Projeto Conceitual – Modelo Hidrogeológico Numérico – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Março de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-09-02 – Projeto Conceitual – Investigações Geológico-Geotécnicas – Especificação Técnica. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-10-01 – Projeto Conceitual – Monitoramento e Instrumentação – Especificação Técnica. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-11-02 – Engenharia Conceitual – Sumário Executivo. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-12-02 – Projeto Conceitual – Plano Conceitual de Fechamento – Especificação Técnica. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-13-01 – Estudos Hidrológicos para Dimensionamento de Reservatório para Abastecimento de Água para a Comunidade do Vale das Cancelas – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-10-01– Projeto Conceitual – Estudo de Alternativas de Disposição de Rejeitos e Estéril – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Dezembro de 2013;
- MINA_VRP002-1010-O-RE-11-02 – Modelo Hidrogeológico Numérico – Relatório Síntese para Atendimento ao IBAMA. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- MINA_VRP005-1010-D-0001 a MINA_VRP005-1010-D-0024 – Projeto Conceitual – Layout Cavas do Ano 1 as ANO 32 – Venturini Consultoria Outubro 2017.

6.0 PLANO DE PRODUÇÃO

A disposição dos rejeitos na Barragem 2 deverá atender ao Plano de Produção elaborado pela SAM para os 18 anos de operação do Projeto Bloco 8, devendo considerar a geração de material apresentada no documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”. O plano foi desenvolvido considerando a produção em massa dos rejeitos, estéril e Minério de oportunidade (massas em Toneladas de material), distribuídas entre os Anos 0 e 18 de operação do empreendimento.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32		Folha 15/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032		Revisão 01

Para o presente estudo, por se tratar de uma estrutura de disposição de rejeitos, os estudos foram concentrados nos volumes totais de rejeitos a serem considerados para a disposição nas barragens do Projeto Bloco 8. A Tabela 6.1 apresenta o Plano de Produção para os 18 anos de Operação do Projeto Bloco 8, extraído do documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”.

Tabela 6.1 – Plano de Produção em Massa para o rejeito total do Projeto Bloco 8

Ano	Rejeito Total Acumulado (10 ³ x t)	Rejeito Total (10 ³ x t)
0		
1	56.664,00	56.664,00
2	140.576,00	83.912,00
3	219.099,00	78.523,00
4	292.896,00	73.797,00
5	371.001,00	78.105,00
6	449.519,00	78.518,00
7	529.883,00	80.364,00
8	611.247,00	81.364,00
9	684.437,00	73.190,00
10	774.314,00	89.877,00
11	853.854,00	79.540,00
12	942.141,00	88.287,00
13	1.029.813,00	87.672,00
14	1.117.554,00	87.741,00
15	1.203.746,00	86.192,00
16	1.279.959,00	76.213,00
17	1.361.378,00	81.419,00
18	1.445.056,00	83.678,00
Total		1.445.056,00

A partir da Tabela 6.1, verifica-se que ao longo dos 18 anos de operação do projeto Bloco 8 serão gerados 1.445 M de Toneladas de rejeito, sendo observado a partir do processo industrial da SAM que este rejeito apresentará três frações granulométricas.

No processo industrial da SAM são gerados rejeitos grossos, finos e lama, cuja distribuição em relação ao rejeito total é de 14% de rejeito grosso, 77% de rejeito fino e 9% de lama, conforme informado pela SAM no correio eletrônico encaminhado no dia 31/01/18. A Tabela 6.2 apresenta a distribuição das massas de rejeito grosso, fino e lama, obtidos a partir das relações apresentadas pela SAM e pelo plano de Produção apresentado na Tabela 6.1.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 16/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 6.2 – Distribuição em massa dos rejeito grosso (14%), rejeito fino (77%) e lama (9%) em relação ao rejeito total

Ano	Rejeito Total Acumulado (10 ³ x t)	Rejeito Total (10 ³ x t)	Rejeito Grosso (10 ³ x t)	Rejeito Fino (10 ³ x t)	Lama (10 ³ x t)
0					
1	56.664,00	56.664,00	7.932,96	43.631,28	5.099,76
2	140.576,00	83.912,00	11.747,68	64.612,24	7.552,08
3	219.099,00	78.523,00	10.993,22	60.462,71	7.067,07
4	292.896,00	73.797,00	10.331,58	56.823,69	6.641,73
5	371.001,00	78.105,00	10.934,70	60.140,85	7.029,45
6	449.519,00	78.518,00	10.992,52	60.458,86	7.066,62
7	529.883,00	80.364,00	11.250,96	61.880,28	7.232,76
8	611.247,00	81.364,00	11.390,96	62.650,28	7.322,76
9	684.437,00	73.190,00	10.246,60	56.356,30	6.587,10
10	774.314,00	89.877,00	12.582,78	69.205,29	8.088,93
11	853.854,00	79.540,00	11.135,60	61.245,80	7.158,60
12	942.141,00	88.287,00	12.360,18	67.980,99	7.945,83
13	1.029.813,00	87.672,00	12.274,08	67.507,44	7.890,48
14	1.117.554,00	87.741,00	12.283,74	67.560,57	7.896,69
15	1.203.746,00	86.192,00	12.066,88	66.367,84	7.757,28
16	1.279.959,00	76.213,00	10.669,82	58.684,01	6.859,17
17	1.361.378,00	81.419,00	11.398,66	62.692,63	7.327,71
18	1.445.056,00	83.678,00	11.714,92	64.432,06	7.531,02
Total		1.445.056,00	202.307,84	1.112.693,12	130.055,04

Como o reservatório das barragens de rejeito do empreendimento deverão atender à disposição das três frações de rejeito, para o cálculo em volume, foi considerado a determinação dos pesos específicos secos para cada fração, de modo a se determinar o volume total de rejeitos para o empreendimento.

Como ponto de partida para os cálculo, foi realizada a estimativa dos índices de vazios dos rejeitos adensados no reservatório, considerando a metodologia apresentada por WELCH and BECKER (1996), conforme apresentado no documento “MINA_BLC8007-1010-G-RE-03”, levando a índices de vazios de 0,90 para o rejeito grosso, 1,00 para o rejeito fino e 1,85 para a lama. A densidade dos grãos para cada uma das frações dos rejeitos, foi obtida através de ensaios realizados pela SAM nos estudos realizados em 2013, sendo iguais a 2,78 t/m³ para o rejeito grosso, 2,80 t/m³ para o rejeito fino e 2,85 t/m³ para a lama.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 17/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

A partir de correlações com índices físicos, foram determinadas as massas específicas seca do rejeito depositado para cada uma das frações do rejeito, a partir da correlação representado pela Equação 6.1.

$$\rho_d = \frac{G_s}{1+e} \quad \text{Equação 6.1}$$

Na qual;

ρ_d : Massa específica seca (t/cm^3);

G_s : Densidade dos grãos;

e : Índice de vazio.

A Tabela 6.3 apresenta os cálculos para a determinação da massa específica seca (ρ_d) do rejeito depositado para cada uma das frações existentes no Projeto Bloco 8, aplicando a Equação 6.1.

Tabela 6.3 – Cálculo da massa específica do rejeito depositado.

PARÂMETROS DO REJEITO	Símbolo	Unidade	Rejeito Grosso	Rejeito Fino	Lama
Densidade dos sólidos	G_s	--	2,78	2,80	2,85
Índice de vazios do rejeito depositado	e	n/a	0,90	1,00	1,85
Massa específica seca do rejeito depositado	ρ_d	t/m^3	1,46	1,40	1,00

A partir da massa específicas secas apresentadas na Tabela 6.3, foram determinadas as massas de rejeito para os rejeitos grossos, finos e lama do Projeto Bloco 8, considerando a Equação 6.2.

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_t} \quad \text{Equação 6.2}$$

Na qual;

ρ_d : Massa específica seca (t/cm^3);

M_s : Massa dos rejeitos previstas no plano de produção da SAM (t);

V_t : Volume total de rejeitos gerados em função do plano.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 18/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Aplicando a Equação 6.2. as massas de rejeito grosso, fino e lama apresentadas na Tabela 6.2, têm-se o volume de rejeitos grossos, finos e lama para os 18 anos de operação do Bloco 8, sendo o volume total anual de rejeitos, obtido pela soma dos volumes de rejeito grosso, fino e lama respectivamente. A Tabela 6.4 apresenta o volume total dos rejeitos para o Projeto Bloco 8.

Tabela 6.4 – Volume total de rejeito para os 18 anos do Projeto Bloco 8.

Ano	Rejeito Total (10 ³ x m ³)	Rejeito Grosso (10 ³ x m ³)	Rejeito Fino (10 ³ x m ³)	Lama (10 ³ x m ³)
0				
1	41.698,49	5.433,53	31.165,20	5.099,76
2	61.750,04	8.046,36	46.151,60	7.552,08
3	57.784,32	7.529,60	43.187,65	7.067,07
4	54.306,50	7.076,42	40.588,35	6.641,73
5	57.476,72	7.489,52	42.957,75	7.029,45
6	57.780,64	7.529,12	43.184,90	7.066,62
7	59.139,10	7.706,14	44.200,20	7.232,76
8	59.874,99	7.802,03	44.750,20	7.322,76
9	53.859,82	7.018,22	40.254,50	6.587,10
10	66.139,62	8.618,34	49.432,35	8.088,93
11	58.532,72	7.627,12	43.747,00	7.158,60
12	64.969,56	8.465,88	48.557,85	7.945,83
13	64.516,98	8.406,90	48.219,60	7.890,48
14	64.567,76	8.413,52	48.257,55	7.896,69
15	63.427,87	8.264,99	47.405,60	7.757,28
16	56.084,42	7.308,10	41.917,15	6.859,17
17	59.915,46	7.807,30	44.780,45	7.327,71
18	61.577,84	8.023,92	46.022,90	7.531,02
Total	1.063.402,85	138.567,01	794.780,80	130.055,04

A partir dos cálculos realizados, verifica-se que ao longo dos 18 anos de operação do empreendimento, serão gerados 1,063 Bilhões m³ de rejeitos, que deverão ser dispostos nas Barragens 1 e 2 do Projeto Bloco 8, a serem construídas nos Córrego Lamarão e Mundo Novo respectivamente.

Com base nos volumes apresentados, foi desenvolvido os estudos para a Barragem 2.

Ressalta-se que devido aos elevados volumes de produção anual requeridos para o Projeto Bloco 8, foi necessário considerar a distribuição dos rejeitos a serem dispostos entre as Barragens 1 e 2, levando-se ainda em consideração as premissas requeridas pela SAM e volume de estéril disponível

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 19/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

ano a ano para a construção dos maciços iniciais das estruturas, levando ao sequenciamento construtivo apresentado no item 7.2.4 do presente relatório.

7.0 ESTRUTURAS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

Os itens a seguir apresentam o conceito, a concepção e as estruturas que compõem o sistema de disposição de rejeitos do Projeto Bloco 8, sendo eles, o dique inicial, o maciço dos alteamentos contínuos em estéril.

7.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

O sistema de disposição de rejeitos do projeto Bloco 8 consiste na implantação do barramento construído em etapas, considerando a construção de maciço inicial e alteamentos em solo compactado pela metodologia de linha de centro.

A cota do maciço inicial será equivalente a EL. 890,00 m, fazendo com que a barragem apresente altura total de 107,00 m, volume total de maciço de 17,15 Mm³, e reservatório com capacidade de acumulação de 123,40 Mm³.

A Figura 7.1.1 e Figura 7.1.2 apresenta o arranjo geral e seção do Dique de Partida, respectivamente.

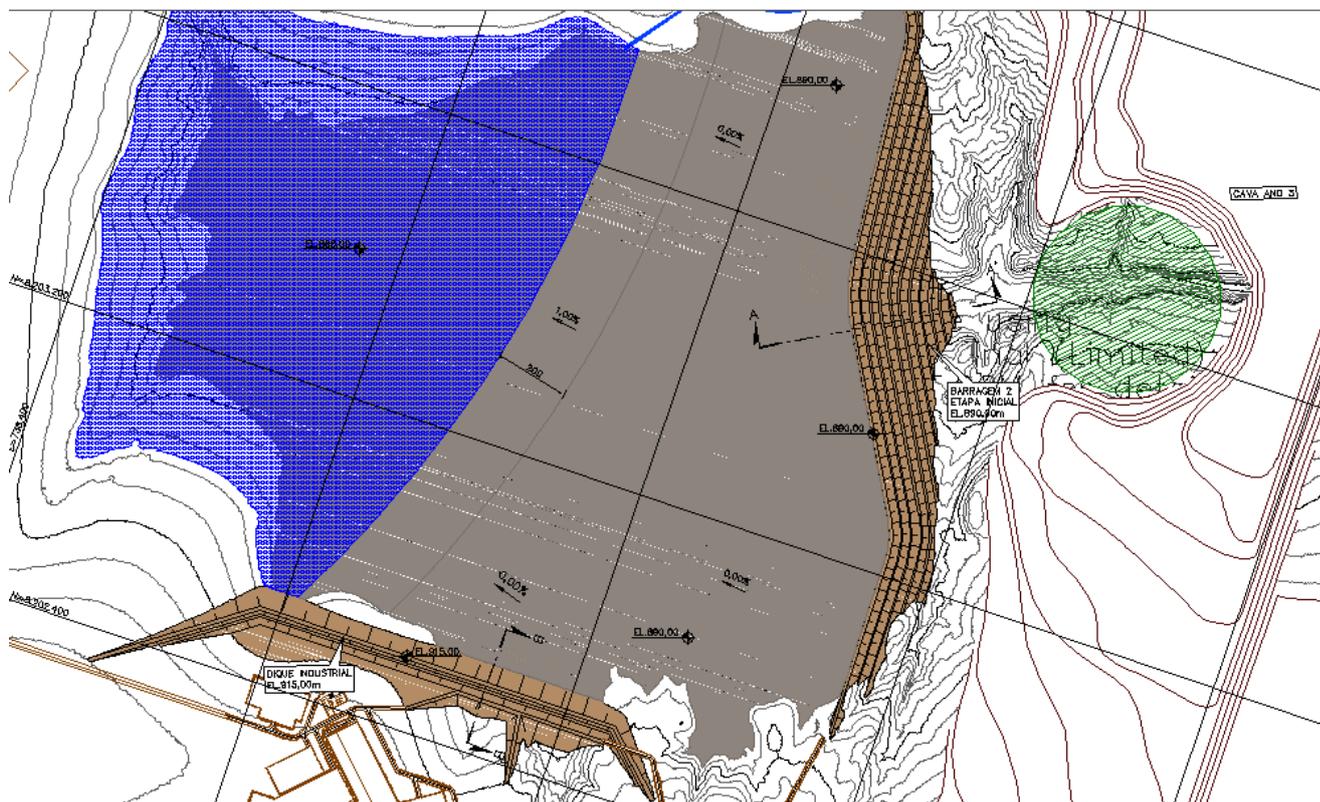


Figura 7.1.1 - Arranjo geral do Dique de Partida.

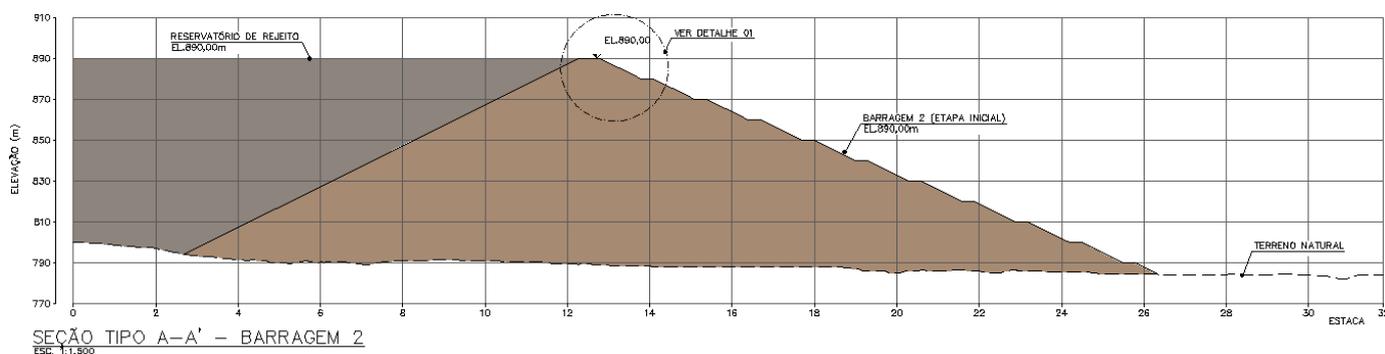


Figura 7.1.2 - Seção do Dique de Partida.

O sistema extravasor foi concebido em duas etapas, inicial e final. Na etapa inicial o extravasor passará por uma berma da cava e sairá no curso natural, a segunda etapa será construída de tal forma que se conecte com a etapa inicial. A Figura 7.1.3 apresenta a planta e a Figura 7.1.4 apresenta a seção típica.



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
21/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

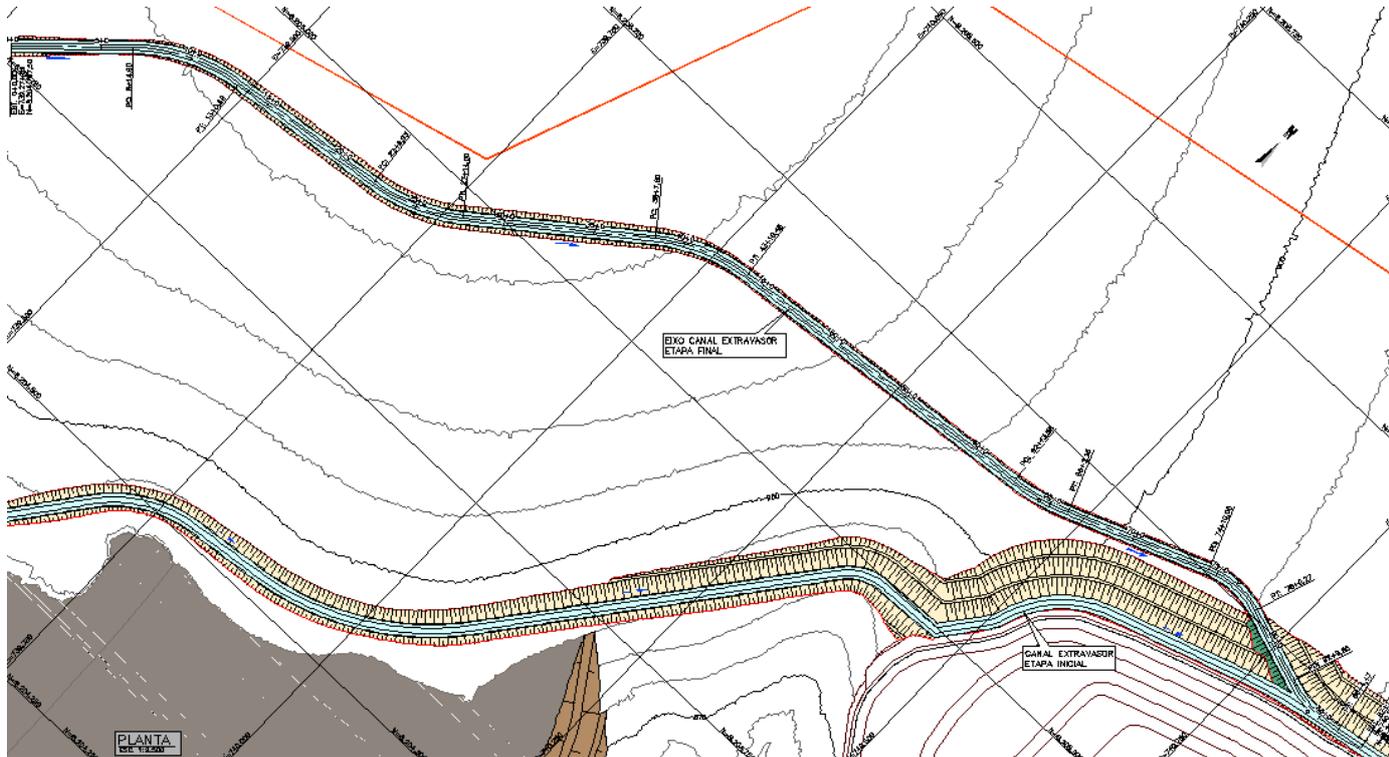
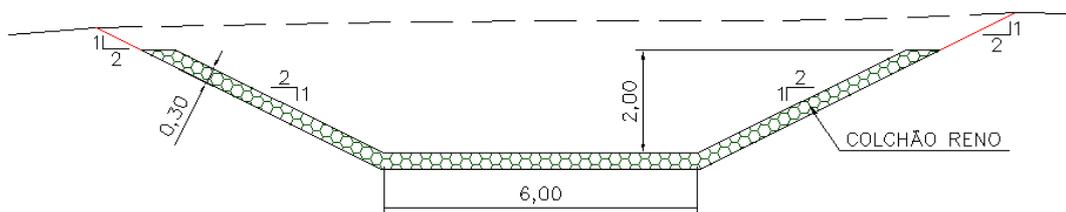


Figura 7.1.3 - Planta.



SEÇÃO TÍPICA – CANAL EXTRAVASOR (FINAL)
ESC. 1:125

Figura 7.1.4 - Seção típica

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 22/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

7.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ALTEAMENTO DO MACIÇO

O alteamento da barragem será uma atividade diária, que tem que ser ajustada em função do estéril que está sendo gerado na planta de processamento do minério. O Sistema de Disposição de Rejeitos do Projeto Bloco 8 será uma estrutura alta e de grande porte, que exigirá o manuseio de grandes quantidades de rejeito, durante o tempo da sua vida útil, portanto, necessitará de controle rigoroso que garanta a sua uniformidade e permeabilidade, para que não haja solução de continuidade no processo construtivo.

7.2.1 Alteamento por Linha de Centro

A construção de uma barragem de rejeitos por linha de centro representa basicamente uma variação do método de jusante em que os alteamentos da barragem são realizados mantendo-se inalterada a posição original do eixo da construção. O primeiro alteamento é executado lançando-se o aterro sobre o limite montante da praia e o talude de jusante do maciço do dique de partida, com os alteamentos subsequentes devendo ser condicionados à manutenção deste eixo original, ao longo de toda a vida útil do empreendimento.

De maneira geral, o método da linha de centro pode ser considerado como uma solução intermediária entre os dois métodos de alteamentos (montante e jusante), agregando, desta forma, vantagens e desvantagens de ambos, embora, do ponto de vista de comportamento estrutural, tenda a se assemelhar essencialmente às barragens construídas pelo método de jusante. Neste contexto, porém, a maior facilidade construtiva e a exigência de volumes relativamente menores de material no processo de construção da barragem são fatores favoráveis à adoção do método da linha de centro. Outra vantagem potencial refere-se ao maior controle da linha de saturação e do processo de fluxo através do maciço da barragem, principalmente quando se decide estender nos alteamentos o filtro septo vertical implantado no dique de partida, que se configura uma variante do método clássico de alteamento de linha de centro para este objetivo.

A Figura 7.2.1.1 apresenta uma seção ilustrativa de uma barragem alteada pela metodologia de linha de centro com extensão do filtro septo nos alteamentos.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 23/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

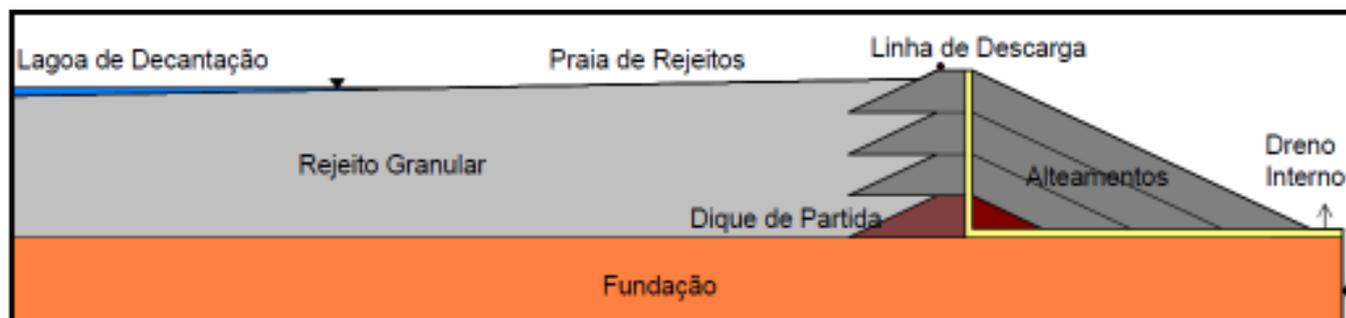


Figura 7.2.1.1 – Metodologia de barragem de rejeitos alteada pela linha de centro.

7.2.2 Projeto da Barragem Alteada por Linha de Centro com Estéril

O projeto da Barragem 2 consiste na implantação do barramento construído em etapas, considerando a construção de maciço inicial e alteamentos em solo compactado pela metodologia de linha de centro.

Para atendimento as cotas finais da Barragem 2, a barragem deverá apresentar crista na EL. 915,00 m, permitindo a formação de uma sela topográfica nas proximidades do complexo industrial do Projeto Bloco 8, sendo a estrutura denominada no presente estudo como “Dique Industrial”;

Com o intuito de maximizar o volume de armazenamento na região do córrego Mundo Novo, foi considerado a cota máxima do barramento na EL. 915,00 m, por limitações da topografia na região norte do empreendimento (ADA e exigência de sela topográfica para não transpor a drenagem do córrego Mundo Novo), além do atendimento aos platôs da Unidade de Beneficiamento do Projeto Bloco 8, bem como respeitar as cotas dos pontos de lançamento dos rejeitos grossos, finos e da lama gerados no processo de produção do Minério de Ferro.

Após a avaliação das características topográfica do córrego Mundo Novo com a avaliação prévia da curva Cota x Volume da região, verificou-se que a cota do maciço inicial para a região será equivalente a EL. 890,00 m, fazendo com que a barragem apresente altura total de 107,00 m, volume total de maciço de 17,15 Mm³, e reservatório com capacidade de acumulação de 123,40 Mm³.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 24/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

A barragem será alteada em etapas com o próprio estéril e/ou materiais de empréstimo considerando 2 (duas) etapas de crescimento para a estrutura. A primeira considera o alteamento de 15,00 m do maciço inicial pela metodologia de linha de centro, com a crista da barragem alterada da EL. 890,00 m para a EL. 905,00 m, fazendo com que a Barragem 2 apresente 122,00 metros de altura final. Para o alteamento será necessário 5,00 Mm³ de solo para a construção desta etapa, sendo que o reservatório apresentará um aumento de sua capacidade em 55,35 Mm³, fazendo com que a barragem apresente capacidade de acumulação total de 178,75 Mm³.

A segunda etapa do alteamento fará com que o maciço final da estrutura atinja a cota final prevista para a Barragem 2 na EL. 915,00 m, implicando em um ganho de volume de 39,60 Mm³ de reservatório. Para a construção do último alteamento será necessário um volume total de 4,30 Mm³ de material, sendo a altura final do barramento igual a 132,00 metros. A capacidade total de armazenamento da Barragem 2 será de 218,35 Mm³.

Nesta etapa deverá ainda ser construído o Dique de Sela na porção norte do reservatório da Barragem 2 e o Dique Auxiliar para o emboque do vertedouro do barramento final, com volume total de 0,30 Mm³.

Em função das elevadas taxas de produção de rejeitos e das dimensões volumétricas do reservatório, os alteamentos terão de superar as taxas normalmente recomendadas para este tipo de alteamento, em torno de 5m, condicionado principalmente pela capacidade de suporte do trecho da praia imediatamente a montante da crista do dique de partida. Dois alteamentos estão previstos, o primeiro com 15 m e o segundo e último com 10 m.

Para minimizar os riscos de ruptura do talude de montante dos alteamentos de alturas maiores que os normalmente recomendados, propõe-se a solução normalmente adotada em situações semelhantes, que seria o lançamento de material granular (rachão por ex) no limite da base do aterro do alteamento, até a estabilização desta base.

Além desta providencia, estender o filtro septo vertical nos alteamentos, conforme já citado, previne que eventuais trincas no trecho vedante do maciço sejam cicatrizadas ao chegar na face montante do filtro, e construir os alteamentos com estéril de mina compactado.

**PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO**

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
25/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

A Figura 7.2.2.1 e Figura 7.2.2.2 apresentam o arranjo geral e a seção típica da Barragem 2, respectivamente. A Tabela 7.2.2.1 apresenta a ficha técnica da estrutura

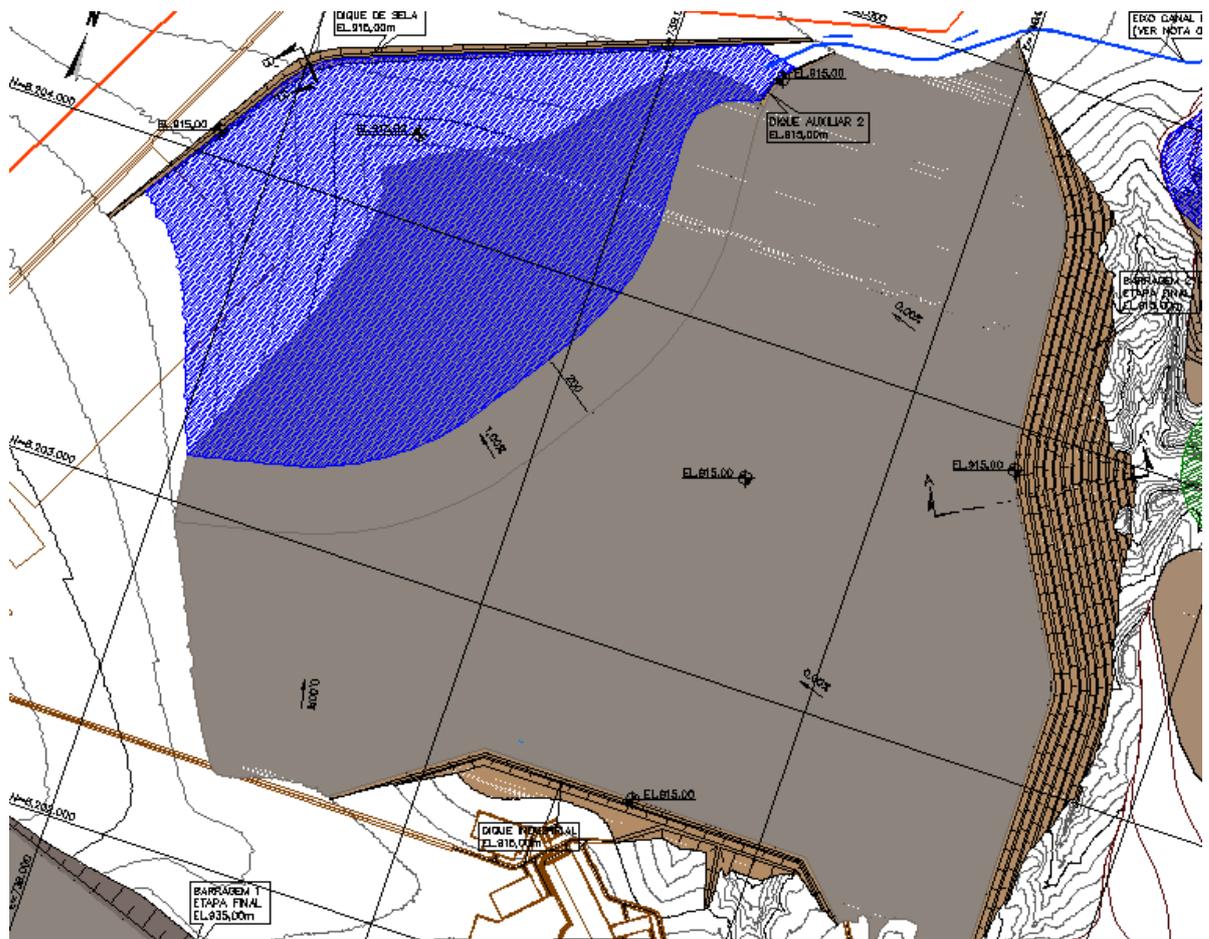
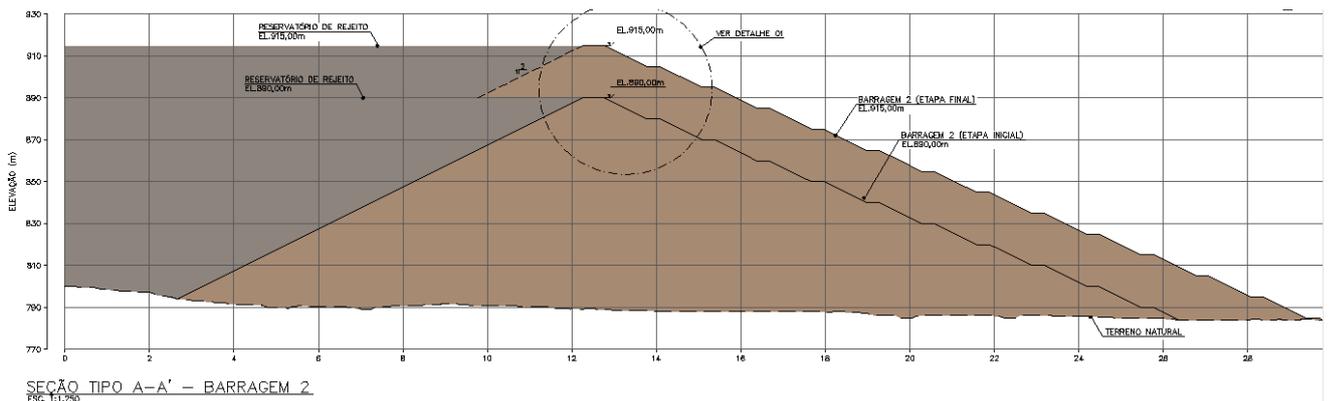


Figura 7.2.2.1 – Arranjo geral da Barragem 2



SEÇÃO TIPO A-A' – BARRAGEM 2
ESQ. E1.200

Figura 7.2.2.2 – Seção típica da Barragem 2

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 26/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 7.2.2.1 – Ficha técnica da Barragem 2

Barragem 2	
Estrutura	Dados
Elevação Crista Inicial (m)	890,00
Elevação Crista Final (m)	915,00
Elevação Base (m)	782,00
Altura Máxima Inicial (m)	107,00
Altura Máxima Final (m)	132,00
Largura de Crista (m)	10,00
Comprimento de Crista Inicial (m)	3.791,25
Comprimento de Crista Final (m)	4.485,76
Talude locais (H:V)	2,0 H : 1,0 V
Desnível máximo entre bermas (m)	10,00
Largura de bermas (m)	6,00
Taludes Globais Jusante (H:V)	3,5 H : 1,0 V
Borda livre reservatório (m)	2,00
Cota do nível d'água operacional (m)	913,00
Área de Maciço Inicial (m ²)	497.756,64
Área do Maciço Final (m ²)	493.195,12
Volume total Maciço Inicial (m ³)	17.150.000,00
Volume total Maciço Final (m ³)	26.450.000,00
Área de espelho d'água (m ²)	1.490.194,95
Volume total do Reservatório Inicial (m ³)	123.400.000,00
Volume total do Reservatório Final (m ³)	218.350.000,00

7.2.3 Metodologia de Ocupação do Reservatório

Para os estudos de disposição de rejeito na Barragem 2, para o maciço inicial e as duas etapas de alteamento, foi considerado a disposição dos rejeitos grossos e finos ao longo de toda a crista da barragem, a partir de tubulação localizada na crista na porção de montante e espigotes espaçados de 2,00 a 2,50 m (a ser definida em etapa futura) ao longo de toda tubulação. O rejeito deverá ser lançado de forma hidráulica, respeitando os teores de sólidos informados no fluxograma de processo (ver documentos “VRP-2010-P-0012” e “VRP-2010-P-0013”) e deverão formar uma praia mínima emersa de 400,00 metros com declividade de 1%. O material imerso deverá apresentar declividade de 3,50% ou 4,50%, propiciando a formação de lago no fundo do reservatório da Barragem 2. O lago será formado na porção oeste da barragem para as configurações iniciais e finais, permitindo as atividades de bombeamento e recirculação de água pela SAM. A lama será lançada em ponto estratégico do reservatório, misturada com o rejeito fino de modo a otimizar a ocupação do reservatório.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 27/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Ao se atingir a máxima ocupação do reservatório no ponto inicialmente adotado, deverá ser realizado a alteração do mesmo de modo a permitir a ocupação das demais áreas do reservatório. Para o deslocamento dos pontos de lançamento, a SAM solicitou que os mesmos sejam direcionados para o interior do reservatório, preservando as posições dos espigotes da tubulação de rejeitos existente na crista, considerando a introdução de tubulações (mangotes). Estas tubulações deverão ser ligadas aos espigotes e deverão ser posicionadas sobre a praia de rejeitos recém-formada, na extensão a ser definida durante as operações do Projeto Bloco 8, propiciando a continuidade de ocupação do reservatório.

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. Os avanços sucessivos do ponto de lançamento permitem a ampliação da praia mínima de rejeitos em relação a crista, com consequente aumento da segurança geotécnica da Barragem 2, a ser alteada pela metodologia de linha de centro, uma vez que o lago será formado sempre em posições mais extremas do reservatório, implicando no abatimento da superfície freática na região do reservatório, reduzindo zonas saturadas no taludes nas etapas de ocupação do reservatório para uma mesma cota, com consequente adensamento da praia de rejeitos na etapa. Ressalta-se que deverá ser avaliado em etapa futura o ganho deste aumento de resistência durante a ocupação do reservatório, uma vez que, a barragem será alteada em 2 etapas, considerando metodologia de linha de centro e utilização de estéril como material de construção para cada uma destas etapas.

O lançamento hidráulico dos rejeitos nos pontos de lançamento após o deslocamento para o interior do reservatório, irá manter as declividades e geometrias especificadas, com ocupação do reservatório com praia de 400,00 m de rejeitos grossos e finos com inclinação média de 1,00%, lançamento da lama em ponto estratégico do reservatório e praia imersa com inclinação de 3,50% ou 4,50%.

A disposição hidráulica dos rejeitos a partir dos pontos realocados para o interior da praia de rejeitos é realizado até que seja atingida a máxima ocupação do reservatório em cada ponto. Ao se atingir este estágio, o ponto de lançamento deverá sofrer novo deslocamento para o interior do reservatório e deverão ser reiniciadas as operações de lançamento nas condições geométricas apresentadas para a formação da praia. O processo deverá ser realizado até que sejam atingidas as configurações

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 28/136</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>	

previstas de ocupação do reservatório pelos rejeitos em projeto, que consideram reservatório de água mínimo para a condição do maciço inicial e final da operação da Barragem 2 igual a 20,00 Mm³.

Para a barragem inicial e final, optou-se pela manutenção de uma praia mínima final de 200 m em relação a máxima ocupação do reservatório, permitindo uma borda livre mínima entre a crista e o lago de 2,00 metros e a praia máxima apresentada nos documentos de projeto.

Ressalta-se que durante as operações de ocupação do reservatório da Barragem 2, optou-se por praias de 400,00 m, de modo a propiciar a implantação de praias competentes para receber as etapas de alteamento da estrutura, por se tratar de um alteamento pela metodologia de “linha de Centro”. Para a condição final da operação, como não haverá novas etapas de alteamento a praia de 200,00 m reflete apenas a condição de borda livre entre a crista da Barragem 2 e a cota do lago.

Ressalta-se ainda 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 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. Ressalta-se ainda que para as tubulações de adução do rejeito grosso, fino e lama da Planta de Beneficiamento do Projeto Bloco 8 a Barragem 2, deverá ser previsto pela SAM as atividades de deslocamento da tubulação principal de adução dos rejeitos, de modo a atender os alteamentos previstos para a estrutura. A primeira etapa do alteamento da Barragem 2 prevê o crescimento do maciço inicial em 15 metros (elevação da crista da barragem da EL. 890,00 para a EL. 905,00 m) considerando a metodologia de alteamento por Linha de Centro e a tubulação de adução deverá ser direcionada para a crista da barragem, ao término das obras de alteamento. Já a etapa final da Barragem 2 prevê o crescimento da barragem em 10,00 metros com a construção de obra de alteamento em estéril compactado da EL. 905,00 para a EL. 915,00 m, devendo ser considerado a alteração do sistema de adução para o lançamento dos rejeitos.

A determinação dos períodos das alterações da linha de adução dos rejeitos deverá ser alterada para a Barragem 2, conforme são apresentadas no item 7.2.4.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 29/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

Para mais detalhes relativos aos reservatórios da Barragem 2 consultar o documento “MINA_BLC8007-1010-O-0076_R00” e “MINA_BLC8007-1010-O-0077_R00” que apresentam os arranjos gerais dos reservatórios nas etapas Inicial (Barragem 2 – EL. 890,00 m) e Final (Barragem 2 – EL. 915,00 m), respectivamente.

A partir dos planos de disposição do rejeito para o reservatório da Barragem 2, para o maciço inicial e final, apresentados nos documentos supracitados, foram elaboradas as curvas Cota x Volume do reservatório. Em função da metodologia construtiva adotada para a Barragem 2, que consiste em maciço inicial em estéril compactado e duas etapas de alteamento por linha de centro em estéril compactado, foi elaborada a curva Cota x Volume para o maciço.

As curvas Cota X Volume do Maciço e do Reservatório da Barragem 2 são apresentadas na Figura 7.2.3.1 e Figura 7.2.3.2, respectivamente.

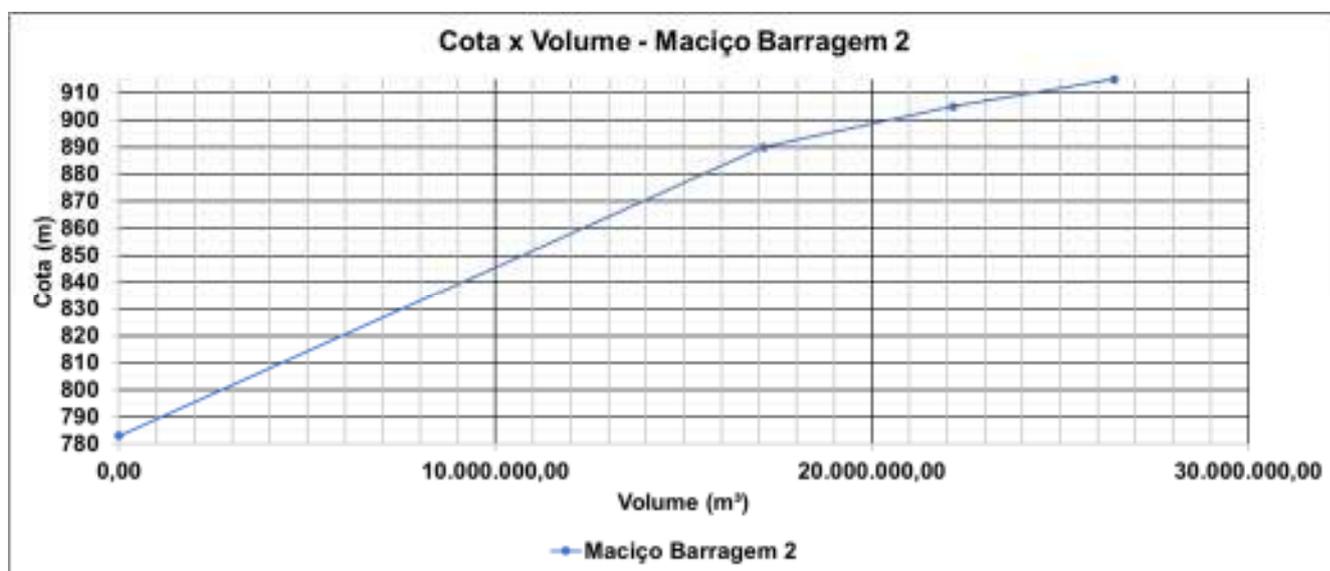


Figura 7.2.3.1 – Curva Cota x Volume – Maciço Barragem 2

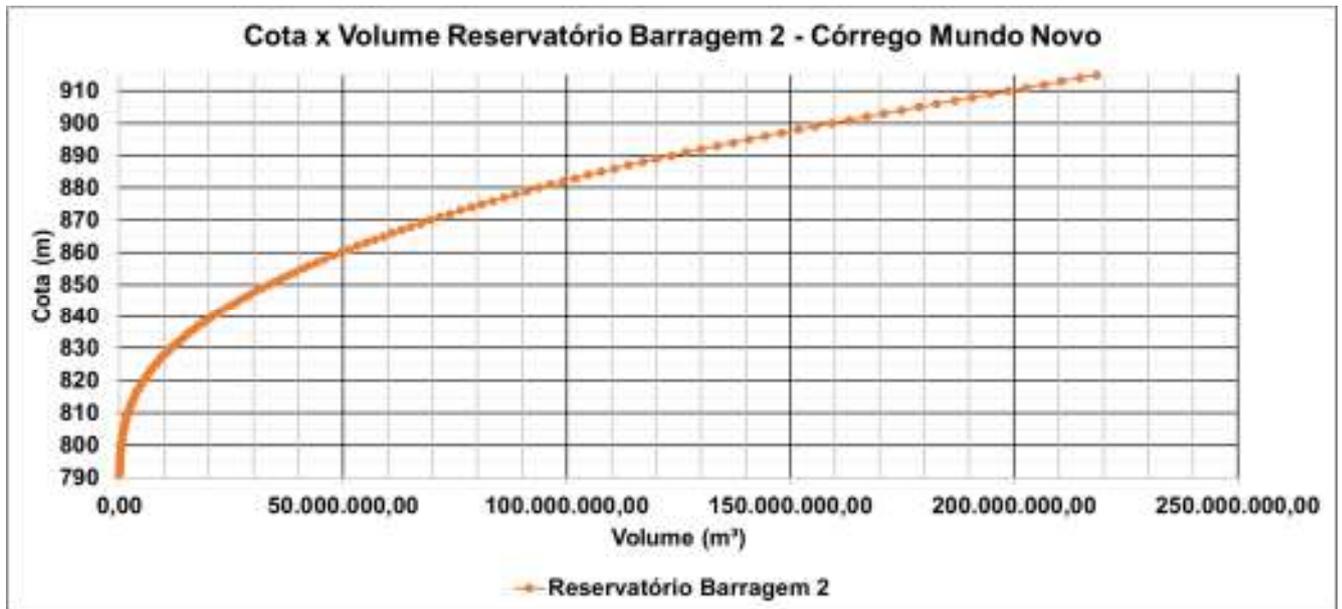


Figura 7.2.3.2 – Curva Cota x Volume – Reservatório Barragem 2

Ressalta-se que a curva cota x volume para o maciço da barragem foi obtida considerando os volumes individualizados para cada etapa de construção da estrutura. Já para a determinação da curva cota x volume do reservatório, foi considerada a conformação final do reservatório da Barragem 2 (EL. 915,00 m), não sendo realizada a implantação dos planos de disposição contínuos para a estrutura. Recomenda-se para as demais etapas do projeto a elaboração do plano de disposição para cenários intermediários, de modo a permitir a maior precisão sobre a ocupação anual do reservatório.

7.2.4 Ocupação do Reservatório Barragem 2

Em função das características técnicas da Barragem 2, foi realizada a simulação de ocupação do reservatório, considerando o atendimento ao Plano de Produção disponibilizado pela SAM conforme documento “PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1”, que originou os volumes apresentados na Tabela 6.4.

Para atender integralmente aos volumes de rejeito a serem dispostos nas Barragens 1 e 2 do Projeto Bloco 8, considerando os 18 anos de operação do empreendimento, verifica-se que tanto a Barragem 1, quanto a Barragem 2 não apresentam capacidade individual para atender as demandas do projeto.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 31/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

Desta forma, para os estudos de disposição foi considerado a disposição dos rejeitos simultaneamente nas duas barragens de rejeitos, sendo levado em consideração para o estudo, o início de operação de cada uma das barragens. Para tal, o critério de escolha de qual das barragens levou em consideração a geração do estéril para o *pré-stripping*, e as premissas de projeto definidas pela SAM que deverão levar em conta os seguintes critérios:

- Disposição da lama em sua maior parte na Barragem 2, devido a posição do ponto de lançamento, que levam a menores custos de bombeamento, relativamente a Barragem 1;
- Construção dos reservatórios “*Ponds*” para armazenamento das descargas da Planta Industrial na porção sul do reservatório da Barragem 2, com a construção de barramentos em drenagens do córrego Mundo Novo;
- Nesta região, para atendimento as cotas finais da Barragem 2, a barragem deverá apresentar crista na EL. 915,00 m, permitindo a formação de uma sela topográfica nas proximidades do complexo industrial do Projeto Bloco 8, sendo a estrutura denominada no presente estudo como “Dique Industrial”;
- Minimização dos investimentos iniciais (CAPEX) a serem despendidos pela SAM.

Além disto, foram levados em consideração a ocupação do reservatório e critérios geotécnicos associados as condições mínimas de segurança para a implantação dos alteamentos por linha de centro, crescimento anual do reservatório, crescimento anual da barragem construída com rejeito grosso (Barragem 1), aterro em estéril compactado (Barragem 2), ambos no método da linha de centro, e disponibilidade de material para a construção das barragens iniciais, diques de sela e, estruturas auxiliares na linha do tempo.

Para os estudos, foram elaborados diversos cenários de disposição, considerando o Plano de Produção apresentado na Tabela 6.4. Foram avaliados os Cenários das barragens operando isoladamente até a sua exaustão, simulando as condições para a Barragem 1 operando desde o início, Barragem 2 operando desde o início, avaliando os tempos de vida útil das estruturas até a sua exaustão. Cenários de Disposição considerando a disposição de toda a Lama na Barragem 2 e rejeito grosso e fino na Barragem 1 com as estrutura operando simultaneamente e Cenários onde foram considerados as Barragens 1 e 2 recebendo os volumes de rejeito grosso, fino e lama, em proporções

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 32/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

adequadas, considerando a capacidade de armazenamento de cada barragem e o início das operações de cada uma das estruturas na linha do tempo.

Por se tratar de um estudo conceitual baseado em informações preliminares da Cota x Volume de reservatórios e maciços das barragens 1 e 2, possíveis revisões do plano de lavra e aferição dos parâmetros geotécnicos dos rejeitos, podem modificar em etapa posterior de projeto a concepção atualmente proposta, que foi considerada, pelos estudos realizados, a mais adequada em termos do atendimento as premissas e aos requisitos técnicos apresentados no início do presente item.

Desta forma, o cenário que apresentou a melhor composição para atendimento ao volume total de rejeitos a serem dispostos ao longo dos 18 anos do Projeto Bloco 8 consiste em:

- Barragem 2 iniciando as operações desde o início das operações do Projeto Bloco 8, na cota referente ao Maciço Inicial em estéril compactado na EL. 890,00 m;
- Esta barragem deverá atender a disposição integral do volume de rejeito grosso, fino e lama nos ANOS 1 e 2 da operação;
- Barragem 1 inicia suas operações no início do ANO 3, considerando a construção do maciço inicial em estéril compactado na EL. 890,00 m;
- Para o Plano de Produção apresentado na Tabela 6.4, foi necessário a redistribuição dos volumes anuais para atendimento as condições operacionais da Barragem 2 e Barragem 1, respectivamente;
- A proporcionalidade anual do volume total de rejeito grosso, fino e lama a serem depositadas ano a ano nas Barragem 1 e 2 é apresentada na Tabela 7.2.4.1 e Tabela 7.2.4.2;
- **Tabela 7.2.4.1 – Distribuição das proporções em percentagem da disposição dos rejeitos grossos, finos e lama para a Barragem 1**

Ano	Barragem 1		
	% Disposição Rejeito Grosso	% Disposição Rejeito Fino	% Disposição Lama
1			
2			
3	85%	90%	30%
4	85%	90%	30%
5	85%	90%	30%
6	85%	90%	30%
7	85%	90%	30%
8	85%	90%	30%

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
33/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Ano	Barragem 1		
	% Disposição Rejeito Grosso	% Disposição Rejeito Fino	% Disposição Lama
9	85%	90%	30%
10	85%	90%	30%
11	85%	90%	30%
12	85%	90%	30%
13	100%	95%	30%
14	100%	100%	100%
15	100%	100%	100%
16	100%	100%	100%
17	100%	100%	100%
18	100%	100%	100%

Tabela 7.2.4.2 – Distribuição das proporções em percentagem da disposição dos rejeitos grossos, finos e lama para a Barragem 2

Ano	Barragem 2		
	% Disposição Rejeito Grosso	% Disposição Rejeito Fino	% Disposição Lama
1	100%	100%	100%
2	100%	100%	100%
3	15%	10%	70%
4	15%	10%	70%
5	15%	10%	70%
6	15%	10%	70%
7	15%	10%	70%
8	15%	10%	70%
9	15%	10%	70%
10	15%	10%	70%
11	15%	10%	70%
12	15%	10%	70%
13	0%	5%	70%
14			
15			
16			
17			
18			

A partir do exposto, verifica-se que a Barragem 2 irá operar entre os ANOS 1 e 13 do empreendimento e a Barragem 1 irá operar entre os ANOS 3 e 18. A Barragem 1 apresenta maciço inicial na EL. 890,00 m, operando do ANO 3 até o final do ANO 7. A partir do ANO 8 de produção a SAM irá iniciar o processo de alteamento contínuo da Barragem 1 com a utilização do rejeito grosso como material de construção, considerando a construção do barramento através da disposição hidráulica, com teor de sólidos compatível com o informado no fluxograma de processo ($TS_{polpa} = 65,40\%$). O crescimento da Barragem 1 com o rejeito deverá ocorrer entre os ANOS 8 e 18 da operação do Projeto Bloco 8 e

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 34/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

irá consumir um volume de 54,22 Mm³ do rejeito grosso gerado na Unidade de Beneficiamento da SAM. Para mais informações sobre os estudos realizados para a Barragem 1, consultar o documento “MINA_BLC8007-1010-G-RE-31”.

Para a Barragem 2, foco do presente estudo, foram realizados os estudos de ocupação do reservatório a partir da proporção da disposição dos volumes de rejeito grosso, fino e lama, considerando as informações dos volumes apresentados na Tabela 6.4, sendo os valores compatibilizados para o Plano de Produção corrigido para a Barragem 2, a partir das percentagens apresentadas na Tabela 7.2.4.2.

Conforme descrito, a Barragem 2 iniciará suas operações no início do ANO 1, sendo considerado nos estudos que o maciço inicial no início das operações esteja concluído integralmente e que a capacidade de acumulação de 123.404.484,76 m³ (123,41 Mm³), esteja disponível para o armazenamento dos rejeitos.

O Plano de Produção de rejeitos para a Barragem 2 é apresentado na Tabela 7.2.4.3, sendo a mesma considerada para os estudos de ocupação do reservatório da estrutura, considerando as características do reservatório, conforme curva cota x volume apresentada na Figura 7.2.3.2.

A partir das informações apresentada na Tabela 7.2.4.3, o Plano de Produção a ser considerado nos estudos da Barragem 2 é apresentado na Tabela 7.2.4.4.

A partir das informações apresentadas na Tabela 7.2.4.4, verifica-se que serão depositados no reservatório da Barragem 2 o volume total equivalente a 217,49 Mm³ de rejeitos (25 Mm³ de rejeito grosso, 123,81 Mm³ de rejeito fino e 68,67 Mm³ de lama), durante os 14 primeiros anos de operação do Projeto Bloco 8, até a completa exaustão do reservatório.

Para o estudo de ocupação do reservatório no tempo, foi realizada a análise da disposição dos rejeitos na estrutura, associando a curva cota x Volume do reservatório da Barragem 2 ao Plano de Produção apresentado na Tabela 7.2.4.4. A associação entre estes itens permite avaliar o comportamento do enchimento anual do reservatório da Barragem 2, permitindo a verificação das cotas do reservatório ano a ano de operação, sendo possível definir os períodos de início de operação de cada um dos alteamentos previstos para a estrutura.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 35/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

A Figura 7.2.4.1. apresenta os resultados obtidos para a ocupação do reservatório da Barragem 2, considerando a distribuição anual dos rejeitos apresentada na Tabela 7.2.4.4.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 BARRAGEM 2
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
36/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão 01

Tabela 7.2.4.3 – Volumes anuais de rejeito grosso, fino e lama depositados na Barragem 2

Ano	Rejeito Grosso			Rejeito Fino			Lama		
	Volume Anual (tabela 5.4)	% Rejeito grosso Barragem 2/ano	Volume Anual depositado na Barragem 2	Volume Anual (tabela 5.4)	% Rejeito Fino Barragem 2/ano	Volume Anual depositado na Barragem 2	Volume Anual (tabela 5.4)	% Lama na Barragem 2/ano	Volume Anual depositado na Barragem 2
	m ³		m ³	m ³		m ³	m ³		m ³
1	5.433.534,25	100%	5.433.534,25	31.165.200,00	100%	31.165.200,00	5.099.760,00	100%	5.099.760,00
2	8.046.356,16	100%	8.046.356,16	46.151.600,00	100%	46.151.600,00	7.552.080,00	100%	7.552.080,00
3	7.529.602,74	15%	1.129.440,41	43.187.650,00	10%	4.318.765,00	7.067.070,00	70%	4.946.949,00
4	7.076.424,66	15%	1.061.463,70	40.588.350,00	10%	4.058.835,00	6.641.730,00	70%	4.649.211,00
5	7.489.520,55	15%	1.123.428,08	42.957.750,00	10%	4.295.775,00	7.029.450,00	70%	4.920.615,00
6	7.529.123,29	15%	1.129.368,49	43.184.900,00	10%	4.318.490,00	7.066.620,00	70%	4.946.634,00
7	7.706.136,99	15%	1.155.920,55	44.200.200,00	10%	4.420.020,00	7.232.760,00	70%	5.062.932,00
8	7.802.027,40	15%	1.170.304,11	44.750.200,00	10%	4.475.020,00	7.322.760,00	70%	5.125.932,00
9	7.018.219,18	15%	1.052.732,88	40.254.500,00	10%	4.025.450,00	6.587.100,00	70%	4.610.970,00
10	8.618.342,47	15%	1.292.751,37	49.432.350,00	10%	4.943.235,00	8.088.930,00	70%	5.662.251,00
11	7.627.123,29	15%	1.144.068,49	43.747.000,00	10%	4.374.700,00	7.158.600,00	70%	5.011.020,00
12	8.465.876,71	15%	1.269.881,51	48.557.850,00	10%	4.855.785,00	7.945.830,00	70%	5.562.081,00
13	8.406.904,11	0%	0,00	48.219.600,00	5%	2.410.980,00	7.890.480,00	70%	5.523.336,00
14	8.413.520,55	0%	0,00	48.257.550,00	0%	0,00	7.896.690,00	0%	0,00
15	8.264.986,30	0%	0,00	47.405.600,00	0%	0,00	7.757.280,00	0%	0,00
16	7.308.095,89	0%	0,00	41.917.150,00	0%	0,00	6.859.170,00	0%	0,00
17	7.807.301,37	0%	0,00	44.780.450,00	0%	0,00	7.327.710,00	0%	0,00
18	8.023.917,81	0%	0,00	46.022.900,00	0%	0,00	7.531.020,00	0%	0,00
Total	138.567.013,70		25.009.250,00	794.780.800,00		123.813.855,00	130.055.040,00		68.673.771,00

A disposição dos rejeitos entre os ANOS 14 a 18 destacados em amarelos são referentes à disposição dos rejeitos integralmente na Barragem 1.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 37/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Desta forma o Plano de Disposição dos Rejeitos para a Barragem 2 é apresentado na Tabela 7.2.4.4.

Tabela 7.2.4.4 – Plano de Disposição de Rejeitos para a Barragem 2

Volumes a serem depositados na Barragem 2					
Ano	Rejeito Grosso	Rejeito Fino	Lama	Total	Rejeito total Acumulado
	m ³				
1	5.433.534,25	31.165.200,00	5.099.760,00	41.698.494,25	41.698.494,25
2	8.046.356,16	46.151.600,00	7.552.080,00	61.750.036,16	103.448.530,41
3	1.129.440,41	4.318.765,00	4.946.949,00	10.395.154,41	113.843.684,82
4	1.061.463,70	4.058.835,00	4.649.211,00	9.769.509,70	123.613.194,52
5	1.123.428,08	4.295.775,00	4.920.615,00	10.339.818,08	133.953.012,60
6	1.129.368,49	4.318.490,00	4.946.634,00	10.394.492,49	144.347.505,10
7	1.155.920,55	4.420.020,00	5.062.932,00	10.638.872,55	154.986.377,64
8	1.170.304,11	4.475.020,00	5.125.932,00	10.771.256,11	165.757.633,75
9	1.052.732,88	4.025.450,00	4.610.970,00	9.689.152,88	175.446.786,63
10	1.292.751,37	4.943.235,00	5.662.251,00	11.898.237,37	187.345.024,00
11	1.144.068,49	4.374.700,00	5.011.020,00	10.529.788,49	197.874.812,50
12	1.269.881,51	4.855.785,00	5.562.081,00	11.687.747,51	209.562.560,00
13		2.410.980,00	5.523.336,00	7.934.316,00	217.496.876,00
14					
15					
16					
17					
18					
Total	25.009.250,00	123.813.855,00	68.673.771,00	217.496.876,00	

Os estudos de concepção da Barragem 2 mostraram que o maciço inicial da estrutura deverá estar construído até a EL. 890,00 m e os alteamentos considerando a metodologia de linha de centro, deverão ser executados com o crescimento de 15,00 metros na primeira etapa (levando a crista da estrutura para a EL. 905,00 m) e 10,00 metros na etapa final (crista na EL. 915,00 m).

Diante do exposto acima e avaliando as informações apresentadas na a Figura 7.2.4.1, verifica -se que o maciço inicial da Barragem 2 deverá operar até o final do ANO 2. Para o início das operações serão necessários 17,12 Mm³ de material para a construção do maciço inicial da Barragem 2. Além deste volume, serão necessários à utilização de 2,57 Mm³ de material para a construção da sela topográfica na região sul do reservatório denominado como Dique Industrial, que nesta etapa do estudo, foi considerado que deverá ser construído até a cota da Barragem 2, na sua elevação final equivalente a EL. 915,00 m. Para a construção destes maciços foi considerado o consumo total do estéril na abertura inicial da lavra (“*pré-stripping*”) no ANO 0 e matérias oriundos das escavações

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 38/136</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>	

obrigatórias para a implantação das estruturas. Avaliando o volume total de estéril disponível, verifica-se que o mesmo não atenderá integralmente o volume inicial necessário.

Desta forma, a SAM deverá avaliar nas demais etapas do projeto as alternativas para obtenção de solo, de forma isolada ou em conjunto, que seriam:

- Antecipação do estéril na área da cava nas atividades do *pré-stripping*;
- Utilização de áreas de empréstimo na área do reservatório da Barragem 2;
- Utilização das escavações obrigatórias para a implantação do Mineroduto, extravasor do maciço inicial, adutoras de água, Planta Industrial, abertura dos acessos de operação, etc.

Para o estudo, foi considerado que o maciço inicial da Barragem 2 deverá ser construído em etapa única e que no início das operações de disposição a estrutura encontre-se na elevação prevista (EL.890,00 m), apresentando a capacidade de armazenamento prevista nos estudos.

Para atendimento ao sequenciamento do Plano de Produção previsto para a Barragem 2, apresentado na Tabela 7.2.4.4 e a partir da análise dos resultados apresentados na Figura 7.2.4.1, verifica-se que o 1º Alçamento da Barragem 2 deverá estar concluído no início do ANO 3 de operação de modo a atender aos volumes totais previstos para a o Projeto Bloco 8 com a operação simultânea de disposição dos rejeitos na Barragem 2 e 1, respectivamente.

Assim, a SAM deverá realizar as obras do alçamento entre os ANOS 1 e 2 da operação, considerando a construção com o estéril gerado durante as operações da lavra. Para a realização das obras do 1º Alçamento da Barragem 2, serão necessários 5,03 Mm³ de estéril para a elevação da crista da barragem da EL. 890,00 m para a EL. 905,00 m com aumento efetivo de reservatório de 55,37 Mm³.

O Volume adicional de 55,37 Mm³ para a Barragem 2 irá atender ao Plano de Produção proposto na Tabela 7.2.4.4, entre o início do ANO 3 e final do ANO 8. Para atendimento aos volumes totais previstos para a Barragem 2, para o início do ANO 9 as obras do 2º Alçamento da barragem deverão estar concluídas, elevando a crista da barragem da EL. 905,00 m para a EL. 915,00 considerando ganho de volume de disposição de 39,63 Mm³. O alçamento irá consumir um volume total de estéril de 4,30 Mm³, oriundo das frentes de lavra de exploração da cava do Projeto Bloco 8 do ANOS 7 e 8.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 39/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

Nesta etapa deverá ainda ser construído o Dique de Sela na porção norte do reservatório da Barragem 2 e o Dique Auxiliar para o emboque do vertedouro do barramento final, com volume total de 0,30 Mm³.

A Barragem 2 nesta condição deverá operar até o final do ANO 13, onde é atingida a máxima ocupação do seu reservatório.

A partir do ANO 14, a SAM poderá desempenhar as atividades de recuperação ambiental do reservatório e da barragem com a implantação das atividades de descomissionamento, conforme os Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) a ser elaborado pela SAM em etapas futuras do empreendimento.

A Barragem 2 na sua conformação final apresenta capacidade total de armazenamento de 218,20 Mm³ dos rejeitos e irá operar nos primeiros 13 anos do Projeto Bloco 8.

Para os estudos realizados na Barragem 2, foi verificado a condição dos crescimentos anuais para a estrutura a partir do maciço inicial, uma vez que serão realizadas apenas duas etapas de alteamento do aterro da barragem pela metodologia de linha de centro para atingir a cota final de operação, com 15 m e 10 m de altura cada uma, taxas bem superiores as normalmente adotadas (4,00 a 5,00 m/ano), o que obrigou a adoção das medidas citadas no item 7.2.2 sendo a avaliação do critério de ocupação do reservatório, um ponto de suma importância para a estabilidade geotécnica da Barragem 2. Ocupações rápidas do reservatório de rejeitos para barragens alteadas pela metodologia de montante e/ou linha de centro, podem levar a geração de elevadas pressões neutras, devido as sobrecargas impostas a praia de rejeitos, podendo desencadear (“gatilho”) o processo de liquefação estática.

Segundo VICK (1970), para barragens alteadas pela metodologia de montante, os níveis anuais de crescimento do reservatório deverão apresentar valores de 4,00 a 5,00 m/ano.



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
40/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão 01

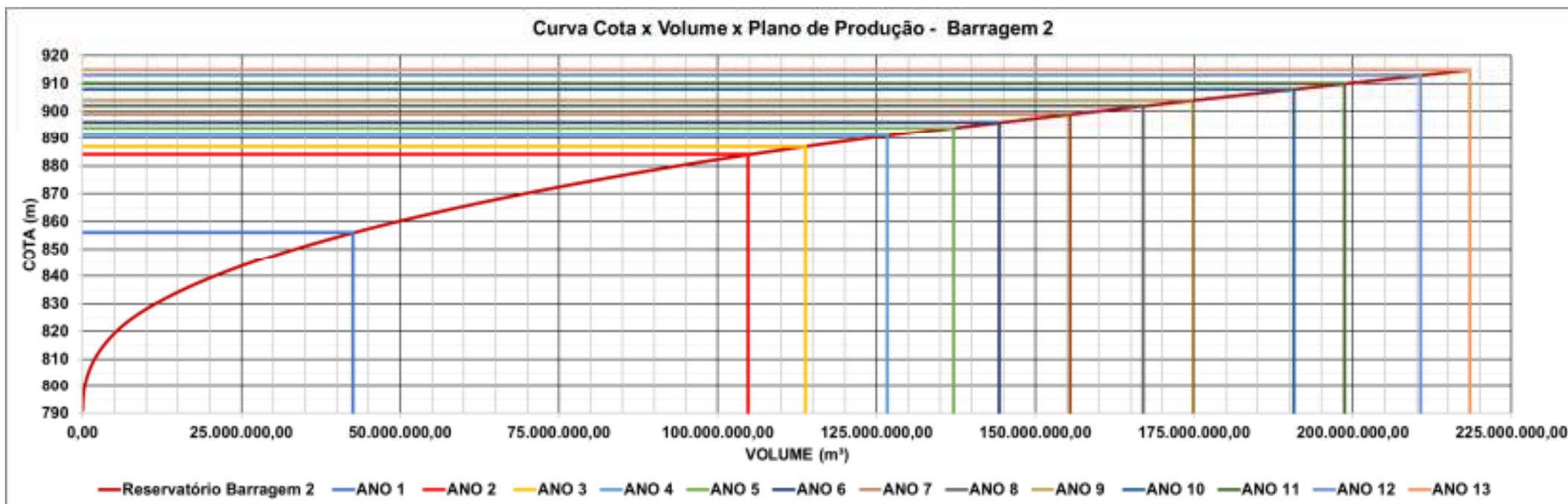


Figura 7.2.4.1 – Curva Cota x Área Volume do reservatório da Barragem 2 x Plano de Produção

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 41/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Para a determinação da ocupação do reservatório da Barragem 2, optou-se pela realização do cálculo a partir dos resultados apresentados na Figura 7.2.4.1, considerando ainda a memória de cálculo apresentada no documento “BARRAGEM 2 - CÓRREGO MUNDO NOVO_REV 1” do Apêndice D.

A partir das interpretações da curva Cota x Volume X Produção, foi possível elaborar as curvas Cota x Tempo para o maciço e reservatório da Barragem 2, de modo a determinar as cotas finais ano a ano da ocupação do reservatório. A Figura 7.2.4.2 apresenta a curva Cota x Tempo do crescimento do maciço da Barragem 2 e de seu respectivo reservatório, considerando o período de operação da estrutura.

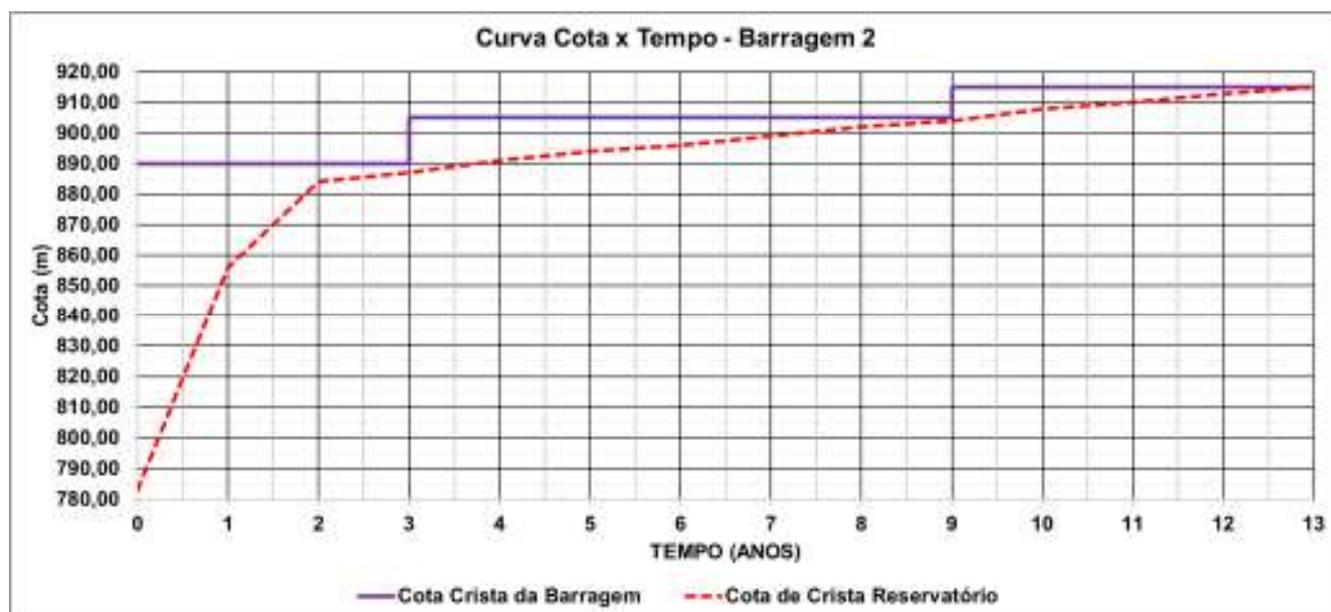


Figura 7.2.4.2 – Curva Cota x Tempo para o Maciço da Barragem 2

Para a determinação do crescimento anual do reservatório da Barragem 2, foi realizada a comparação entre as cotas finais de ocupação do reservatório ao longo dos anos, de modo a verificar as taxas de crescimento. A Figura 7.2.4.3 apresenta o resultado obtido para o reservatório da Barragem 2, sendo verificado que devido as condições topográficas da região, o maciço inicial apresenta as maiores taxas de crescimento, sendo obtidos valores de 73,00 m para o ANO 1 e 28,00 m para o ANO 2. Conforme já citado, por se tratar de uma barragem alteada com estéril pelo método da linha de centro com base de rachão para o talude de montante dos alteamentos, e com filtro septo

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 42/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

vertical até o coroamento final, as taxas elevadas de crescimento no período de operação do maciço inicial (Anos 0 a 3) não implicam em instabilidades geotécnicas para o reservatório.

Para a operação da Barragem 2 nas condições de alteamentos pela metodologia de linha de centro, verifica-se que entre os ANOS 3 e 8, referentes a operação do 1° Alteamento a taxa de crescimento do reservatório encontra-se variando entre 2,00 m/ano a 4,00 m/ano.

Já entre os Anos 9 e 13, referente a operação da Barragem 2 na sua cota final (2° Alteamento) com o alteamento por linha de centro, a taxa de crescimento do reservatório apresenta a mesma variação observada para a operação do 1° Alteamento.

A partir do exposto, verifica-se que os valores se encontram dentro dos recomendados.

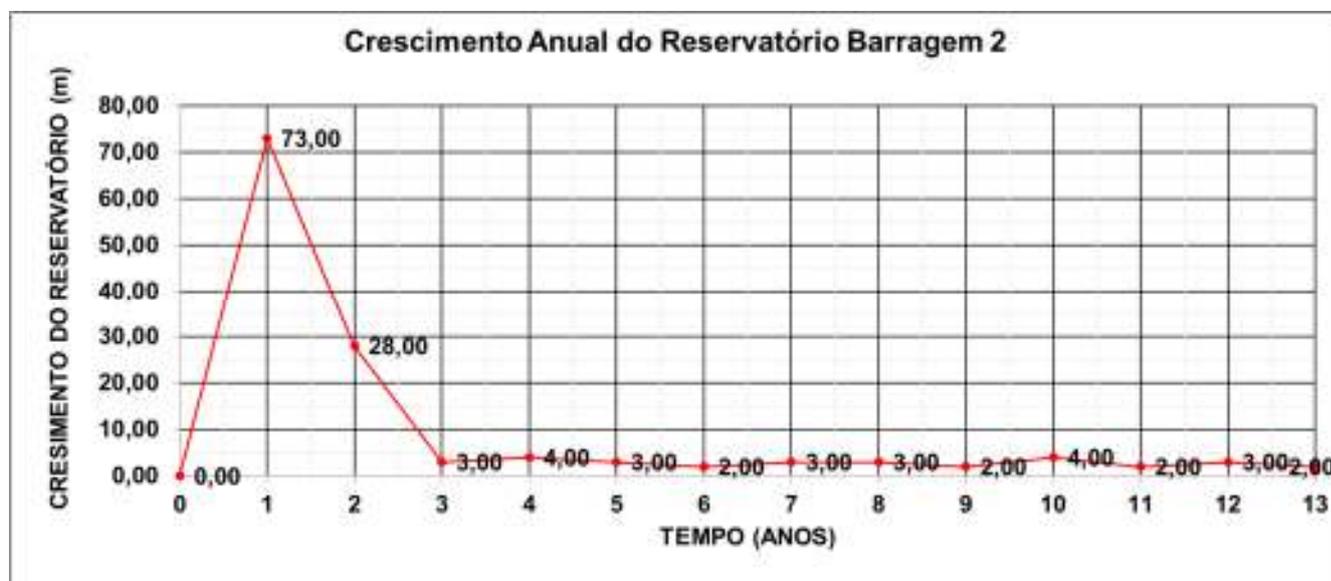


Figura 7.2.4.3 – Taxa de crescimento anual do reservatório da Barragem 2

A partir dos estudos realizado pode-se concluir que:

- A Barragem 2 deverá ser construída no início das operações do empreendimento, de modo a atender as condições definidas no presente estudo;
- O maciço inicial da Barragem 2 deverá atender a produção total do empreendimento para os ANOS 1 e 2 de operação;

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 43/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

- A partir do ANO 3, a Barragem 2 irá receber parte dos rejeitos do Projeto Bloco 8, devendo operar conjuntamente com a Barragem 1;
- O tempo de vida útil do maciço inicial é de 3 anos;
- O 1° Alteamento da Barragem 2 deverá estar concluído no final do ANO 3, de modo a permitir a SAM a disposição contínua na estrutura a partir do início do ANO 4;
- O 1° Alteamento deverá atender a produção entre o início do ANO 4 ao final do ANO 8 totalizando 4 anos de operação, respeitando as proporções de distribuição dos rejeitos entre a Barragem 1 e 2 apresentadas no presente estudo;
- O 2° Alteamento da Barragem 2 deverá estar concluído ao final do ANO 8 de operação de modo a permitir a disposição dos rejeitos a partir do ANO 9 até o final das operações da Barragem 2 no final do ANO 13;
- Os volumes do Plano de Produção requerido pela SAM, considerando a distribuição do volume de rejeito grosso, fino e lama proposto pela WALM para a Barragem 2, são atendidos integralmente;
- Para a construção do maciço inicial da Barragem 2 e do Dique Industrial, não haverá estéril suficiente para a construção de todas as estruturas. Desta forma, recomenda-se à SAM para as próximas etapas do projeto, avaliar a antecipação do estéril no ANO 0 da operação e/ou utilizar áreas de empréstimo na área do reservatório, bem como destinar todos os materiais de escavações obrigatórias do Projeto Bloco 8 para a construção das estruturas iniciais da Barragem 2;
- Para as obras de Alteamentos pela metodologia de linha de centro e implantação do dique de sela para as demais etapas da Barragem 2, verifica-se a existência de volume de estéril suficiente para a implantação destas estruturas;
- As taxas de crescimento anual do reservatório da Barragem 2, a partir dos alteamentos em linha de centro são inferiores a 4,00 m.

7.2.5 Água Liberada do rejeito para a Barragem 2

O presente item apresenta o estudo realizado para a determinação do volume de água liberado pelo rejeito durante o processo de disposição hidráulica dos mesmos no reservatório. Para tal, foram consideradas as informações do Plano de Produção apresentado na Tabela 7.2.5.1 para a Barragem

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 44/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

2, dados do Fluxograma de Processo da SAM, conforme documentos “VRP-2010-P-0012” e “VRP-2010-P-0013” e dos dados operacionais para os rejeitos, considerando as fontes (SAM/WALM) e/ou origem dos cálculos apresentados na Tabela 7.2.5.1.

Tabela 7.2.5.1 – Dados operacionais do reservatório

Parâmetros do Rejeito	Símbolo	Origem do dado ou cálculo	Unidade	Rejeito Grosso	Rejeito Fino	Lama
Densidade dos sólidos	G _s	SAM	-	2,78	2,80	2,85
Índice de vazios do rejeito depositado	e	(G _s - γ _d) / γ _d	n/a	0,90	1,00	1,85
Massa específica seca do rejeito depositado	γ _d	G _s / (1 + e)	t/m ³	1,46	1,40	1,00
Teor de sólidos do rejeito depositado (em peso)	TS _{depositado}	G _s / (G _s + e)	% sólidos em peso	75,5%	73,7%	60,6%
Teor de sólidos da polpa (em peso)	TS _{polpa}	SAM	% sólidos em peso	65,40%	59,00%	60%
Teor de umidade no rejeito depositado (S=100%)	w	(e / G _s) x 100	% umidade	32%	36%	65%

Para a determinação da água liberada do rejeito depositado hidraulicamente no reservatório, foi realizado o cálculo da água na polpa, considerando o teor de sólidos da polpa (TS_{polpa}), para cada ano de operação do Projeto Bloco 8. O cálculo do volume de água para a polpa é dado pela Equação 7.2.5.1.

$$\text{Volume de água}_{\text{Polpa}} = \frac{M_s}{TS_{\text{Polpa}}} - M_s \quad \text{Equação 7.2.5.1}$$

Para se determinar o volume de água, deve-se verificar qual é o volume de água adsorvido (volume retido pelo rejeito), com base no teor de umidade (w) do rejeito depositado na condição de saturação de 100%. A Equação 7.2.5.2 a seguir apresenta a formulação baseada na equação do teor de umidade para a determinação do volume da água retida no rejeito.

$$\text{Volume de água}_{\text{Retido no rejeito}} = W \times M_s \quad \text{Equação 7.2.5.2}$$

O volume de água liberado do rejeito é dado a partir da diferença do Volume de água da polpa e o volume de água retido no rejeito, conforme a Equação 7.2.5.3.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 45/136
		WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Volume de água_{Liberada} = Volume de água_{Polpa} - Volume de água_{Retido no rejeito}

Equação 7.2.5.3

Aplicando a Equação 7.2.5.1, Equação 7.2.5.2 e Equação 7.2.5.3 e considerando a conversão dos volumes apresentadas na Tabela 7.2.5.2, para massa em toneladas de rejeito a partir da Equação 6.2, e considerando os dados operacionais apresentados na Tabela 7.2.5.1 foi realizado o cálculo do volume de água na polpa e a água retida no rejeito, ano a ano para a ocupação da Barragem 2.

A Tabela 7.2.5.2 apresenta o resumo dos cálculos realizados para a determinação da água liberada do rejeito para o Projeto Bloco 8, considerando a operação na estrutura do ANO 3 ao ANO 18.

Ressalta-se que os valores apresentados serão incorporados ao Balanço Hídrico da Barragem 2 apresentado no item 10.4 do presente documento.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
46/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão 01

Tabela 7.2.5.2 – Cálculo do Volume de água liberada do rejeito na Barragem 2

Ano	Volume de água na polpa			Volume de água retida no rejeito			Volume de água liberada do rejeito			
	Rejeito Grosso m ³	Rejeito Fino m ³	Lama m ³	Rejeito Grosso m ³	Rejeito Fino m ³	Lama m ³	Rejeito Grosso m ³	Rejeito Fino m ³	Lama m ³	Total m ³
0										
1	1.964.669,78	15.469.409,20	3.399.840,00	1.202.233,78	7.950.306,12	3.310.370,53	762.435,99	7.519.103,08	89469,47	8.371.008,55
2	2.909.419,92	22.908.179,18	5.034.720,00	1.780.351,57	11.773.367,35	4.902.227,37	1.129.068,35	11.134.811,83	132492,63	12.396.372,81
3	408.385,65	2.143.696,91	3.297.966,00	249.902,06	1.101.725,77	3.211.177,42	158.483,59	1.041.971,15	86.788,58	1.287.243,32
4	383.806,48	2.014.675,97	3.099.474,00	234.861,41	1.035.417,09	3.017.908,89	148.945,07	979.258,88	81.565,11	1.209.769,05
5	406.211,70	2.132.285,41	3.280.410,00	248.571,76	1.095.860,97	3.194.083,42	157.639,94	1.036.424,44	86.326,58	1.280.390,96
6	408.359,65	2.143.560,41	3.297.756,00	249.886,15	1.101.655,61	3.210.972,95	158.473,50	1.041.904,80	86.783,05	1.287.161,35
7	417.960,40	2.193.956,66	3.375.288,00	255.761,11	1.127.556,12	3.286.464,63	162.199,30	1.066.400,54	88.823,37	1.317.423,20
8	423.161,24	2.221.256,90	3.417.288,00	258.943,64	1.141.586,73	3.327.359,37	164.217,60	1.079.670,17	89.928,63	1.333.816,40
9	380.649,57	1.998.104,72	3.073.980,00	232.929,61	1.026.900,51	2.993.085,79	147.719,96	971.204,21	80.894,21	1.199.818,38
10	467.436,01	2.453.663,86	3.774.834,00	286.036,55	1.261.029,34	3.675.496,26	181.399,46	1.192.634,53	99.337,74	1.473.371,72
11	413.674,91	2.171.461,26	3.340.680,00	253.138,70	1.115.994,90	3.252.767,37	160.536,21	1.055.466,36	87.912,63	1.303.915,20
12	459.166,67	2.410.256,48	3.708.054,00	280.976,32	1.238.720,66	3.610.473,63	178.190,35	1.171.535,81	97.580,37	1.447.306,53
13		1.196.733,41	3.682.224,00		615.045,92	3.585.323,37		581.687,50	96.900,63	678.588,13
14										
15										
16										
17										
18										
Total										34.586.185,60

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 47/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

8.0 ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

8.1 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE CAMPO E LABORATÓRIO

Não foram realizadas campanhas de sondagens para o projeto Bloco 8.

Foram realizados ensaios de granulometria para caracterização do rejeito, conforme apresentado a seguir.

8.1.1 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS

Para as características granulométricas dos rejeitos produzidos no processo da Unidade de Processamento do Projeto Bloco 8, foram consideradas as informações disponibilizadas pela SAM, com a distribuição granulométrica para as frações do rejeito grosso, fino e lama. A Tabela 8.1.1.1 e a Figura 8.1.1.1 apresentam a distribuição granulométrica.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
 MINA
 ENGENHARIA
 DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
 BARRAGEM 2
 RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
48/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão 01

Tabela 8.1.1.1 – Distribuição granulométrica dos rejeitos a serem gerados no processo do minério do Projeto Bloco 8

Diâmetro do Material (mm)	Rejeito			Lama			Rejeito Fino			Rejeito Grosso		
	%retida	%retida acumulada	%Passante	%retida	%retida acumulada	%Passante	%retida	%retida acumulada	%Passante	%retida	%retida acumulada	%Passante
0,5	0,22	0,22	99,78				0,09	0,09	99,91	1,07	1,07	98,93
0,3	0,95	1,17	98,83				0,4	0,49	99,51	4,6	5,67	94,33
0,212	1,83	3	97,00				0,77	1,26	98,74	8,87	14,54	85,46
0,15	4,68	7,68	92,32				2,34	3,6	96,4	20,64	35,18	64,82
0,115	7,14	14,82	85,18				5,06	8,66	91,34	23,31	58,49	41,51
0,105	3,4	18,22	81,78				2,68	11,34	88,66	9,62	68,11	31,89
0,074	12,62	30,84	69,16				12,89	24,23	75,77	19,48	87,59	12,41
0,044	16,88	47,72	52,28	1	1	99	20,16	44,39	55,61	9,35	96,94	3,06
0,02	17,27	64,99	35,01	8	9	91	21,23	65,62	34,38	1,62	98,56	1,44
0,005	18,3	83,29	16,71	37	46	54	19,22	84,84	15,16	0,81	99,37	0,63
-0,005	16,71	100	0,00	54	100	0	15,14	99,98	0,02	0,63	100	0

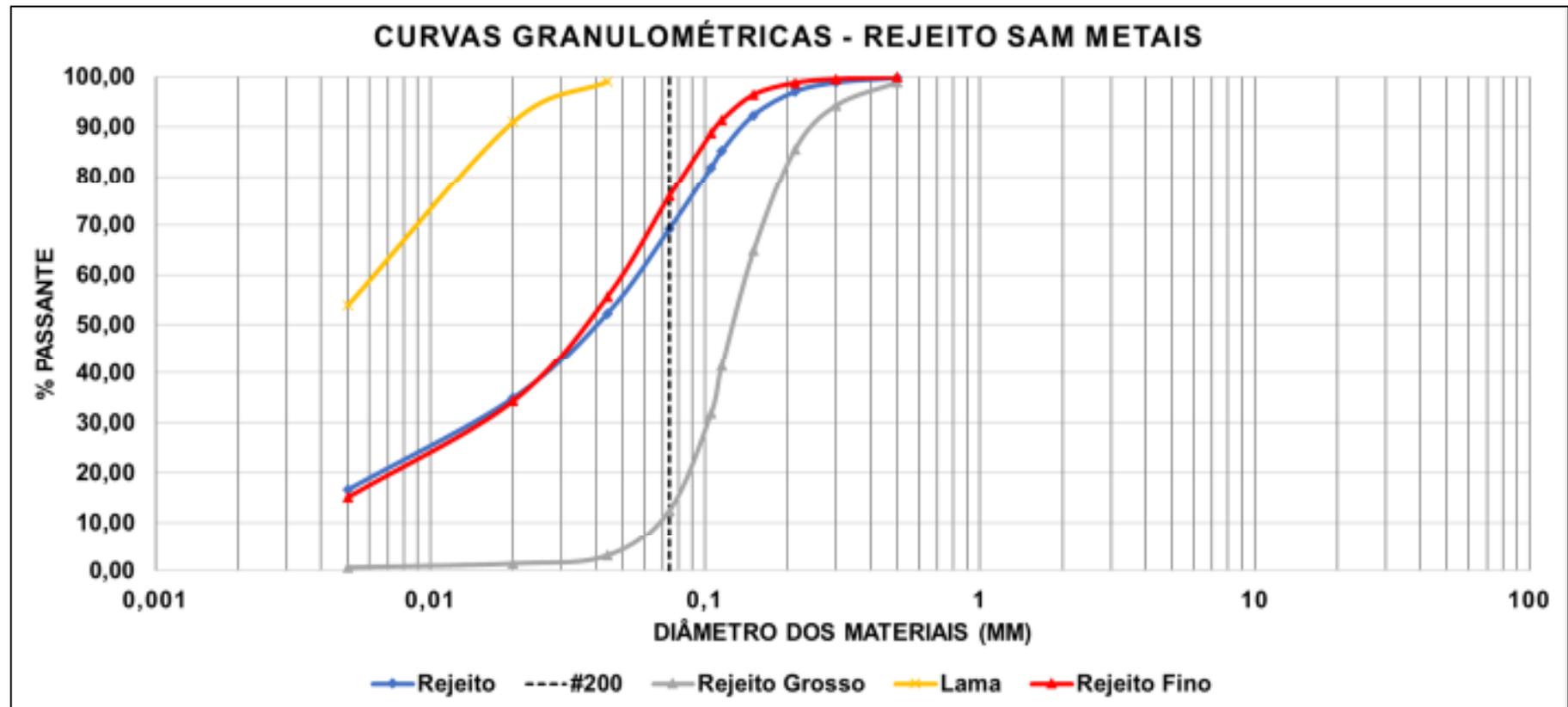


Figura 8.1.1.1 – Curvas Granulométricas resultantes da distribuição granulométrica para os materiais disponibilizados pela SAM

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 50/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

9.0 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Esse item apresenta os resultados obtidos nos estudos, bem como o dimensionamento das estruturas geotécnicas do Sistema de Disposição de Rejeitos do Projeto Bloco 8, incluindo dique industrial, dique de sela, dique de partida e maciço dos alteamentos em estéril.

9.1 TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

É importante salientar que não foram realizados mapeamento e investigações geológicas-geotécnicas para elaboração deste projeto. As informações utilizadas foram extraídas de projeto anteriores em áreas próximas e por informações fornecidas pela da equipe da SAM.

De tal modo, considerou-se uma limpeza de 1,0 m em toda a área da barragem com a finalidade de eliminar todo material solto e de cobertura vegetal.

9.2 DIMENSIONAMENTOS GEOTÉCNICOS

9.2.1 Análises de Percolação

As análises de percolação foram realizadas pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), para a condição normal de operação, utilizando o software Slide 2018. O objetivo das análises de percolação foi o de avaliar a pressão e o fluxo através do maciço e da fundação da barragem, bem como as vazões percoladas a fim de dimensionar o sistema de drenagem interna do sistema de disposição de rejeitos. Foram adotadas as seguintes premissas para a elaboração dos modelos:

- Anisotropia de permeabilidade para o estéril compactado ($K_h = 10K_v$);
- Anisotropia de permeabilidade para os rejeitos ($K_h = 4K_v$);
- Isotropia de permeabilidade para a fundação ($K_h = K_v$);
- Condição normal de operação do sistema de disposição de rejeitos – corresponde ao nível d'água máximo normal, com praia de 400,00 m;
- Condição crítica de operação do sistema de disposição de rejeitos, com praia de 200,00 m de comprimento na elevação do NA máx. maximorum na passagem da cheia, para o dique de

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 51/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

partida, Dique Industrial e maciço alteado com estéril, bem como a colmatação de 1000 vezes para o sistema de drenagem interna do dique de partida, Dique Industrial e Dique de Sela e de 100 vezes para o sistema de drenagem interna do alteamento construído com estéril;

- Parâmetros hidráulicos dos materiais de fundação definidos a partir da experiência dos profissionais envolvidos no projeto;
- Parâmetros hidráulicos dos rejeitos definidos a partir da granulometria dos rejeitos pela fórmula de HAZEN.

As análises de percolação foram elaboradas para a seção central e para as ombreiras, tanto para o maciço principal quanto para os diques de sela e industrial.

Observa-se que após realização dos ensaios no rejeito, estas análises devem ser refeitas.

Os parâmetros de condutividade hidráulica adotados para as análises de percolação são apresentados na Tabela 9.2.1.1.

Tabela 9.2.1.1 - Coeficientes de permeabilidade dos materiais

Material	Coeficiente de permeabilidade [m/s]	k_v/k_h
Estéril	$1,0 \times 10^{-8}$	0,10
Fundação	$1,0 \times 10^{-7}$	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

Os resultados das análises são apresentados no APÊNDICE A, e o resumo encontra-se apresentada na Tabela 9.2.1.2 e Tabela 9.2.1.3.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 52/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 9.2.1.2 - Vazão percolada pela Barragem 2.

Etapa	Seção	Comprimento da praia de rejeitos (m)	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Vazão Total (m³/s)
Barragem Final	Ombreira Esquerda	1103,13	6,59E-07	7,27E-04
	Central	524,25	5,33E-06	2,80E-03
	Ombreira Direita	1181,13	1,66E-06	1,96E-03

Tabela 9.2.1.3 - Vazão percolada pelo Dique Industrial.

Etapa	Seção	Comprimento da praia de rejeitos (m)	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Vazão Total (m³/s)
Dique Industrial	Ombreira Esquerda	336,22	2,65E-07	8,93E-05
	Central	461,52	1,38E-06	6,38E-04
	Ombreira Direita	942,25	5,18E-07	4,88E-04

Tabela 9.2.1.4 - Vazão percolada pelo Dique de Sela.

Etapa	Seção	Comprimento da praia de rejeitos (m)	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Vazão Total (m³/s)
Dique de Sela	Ombreira Esquerda	694,21	2,13E-07	1,48E-04
	Central	183,45	2,69E-07	4,94E-05
	Ombreira Direita	1300,49	1,98E-07	2,58E-04

A partir dos resultados das análises de percolação, foram realizadas análises de estabilidade dos taludes de jusante e montante dos diques e do talude de jusante da barragem final, para as duas condições necessárias e recomendadas pela norma NBR 13.028 (ABNT, 2017).

9.2.2 Análises de Estabilidade

Para verificação da geometria proposta foram realizadas análises de estabilidade utilizando o Software Slide 2018, através do método do equilíbrio limite de GLE/ Morgenstern Price.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 53/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

Os critérios de aceitação para as análises foram estabelecidos de acordo com a norma técnica NBR 13.028 (ABNT, 2017), com exceção da análise entre bermas que foi considerado o fator de segurança mínimo de 1,50.

As análises de estabilidade foram realizadas em uma seção, Seção B-B, tanto para os diques quanto para o barramento final. Para o dique auxiliar não foram realizadas análises devido ao fato de não trazer risco ao complexo.

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

- Materiais isotrópicos e homogêneos;
- Ruptura global do talude do tipo circular;
- Níveis freáticos, normal e crítico, obtidos pela análise de percolação;
- Para final de construção, foi considerado o fator de poropressão ($r_u = u/\sigma_v$) igual a 0,15 para o solo compactado e $r_u = 0,10$ para o solo de fundação. E esta análise será realizada apenas para o dique de partida.

Para simulação da superfície freática normal, foi considerado o perfeito funcionamento do filtro vertical e do tapete drenante. Para a análise da superfície freática crítica foi considerada o filtro e o tapete colmatados.

A estabilidade contra rebaixamento rápido não será avaliada pois não há possibilidade de ocorrer.

Para o dique de sela não será realizada análise entre bermas, pois o talude de jusante final não apresenta bermas.

Os parâmetros de resistência dos materiais foram estimados pela equipe da WALM, com base em materiais similares.

Observa-se que após realização dos ensaios no rejeito, estas análises devem ser refeitas.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
54/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Os valores dos parâmetros de resistência são apresentados na Tabela 9.2.2.1. Os resultados das análises são apresentados na Tabela 9.2.2.2.

Tabela 9.2.2.1 - Parâmetros de Resistência dos Materiais

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Estéril	19	12	28
Fundação	21	15	30
Rejeito	23	10	33
Areia	20	0	35
Brita 0	22	0	36

Tabela 9.2.2.2 – Resultados Análises de Estabilidade

Etapa	N.A	Condição	Talude	FS Requerido	FS Obtido	Figura
Dique de Partida	Operacional	Final de Construção	Jusante	1,30	1,36	Figura B 1
			Montante		1,31	Figura B 2
		Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,61	Figura B 3
			Entre Bermas	1,50	1,90	Figura B 4
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,61	Figura B 5
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,61	Figura B 6
Barragem Final	Operacional	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,53	Figura B 7
			Entre Bermas	1,50	1,90	Figura B 8
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,53	Figura B 9
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,53	Figura B 10
Dique Industrial	Operacional	Final de Construção	Jusante	1,30	1,48	Figura B 11
			Montante		1,30	Figura B 12

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 55/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

		Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,73	Figura B 13
			Entre Bermas	1,50	1,90	Figura B 14
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,73	Figura B 15
			Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,73
Dique de Sela	Operacional	Final de Construção	Jusante	1,30	1,67	Figura B 17
			Montante		1,62	Figura B 18
	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,84	Figura B 19	
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,84	Figura B 20
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,83	Figura B 21

No APÊNDICE B são apresentadas as figuras com os resultados obtidos para as análises de estabilidade realizadas.

9.2.3 Análise Sísmica

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

9.2.3.1 SISMO NATURAL

9.2.3.1.1 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE SÍSMICO

Para o estudo da estabilidade sísmica da Barragem 2 foi utilizado o Método Pseudo-Estático.

O Método Pseudo-Estático ou Método do Coeficiente Sísmico é uma extensão do Método das Lamelas, que é 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.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>		<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 56/136</p>
		<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

Segundo Kramer (1996), as forças de inércia geradas pelo carregamento dinâmico devido ao sismo são dadas pelas equações:

$$F_h = k_h x W \quad \text{Equação 9.2.3.1.1.1}$$

$$F_v = k_v x W \quad \text{Equação 9.2.3.1.1.2}$$

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

Nas análises de estabilidade pseudo-estáticas a componente vertical do esforço sísmico é desprezada nos cálculos, 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 considerado pode ser obtida por meio da Equação 9.2.3.1.1.3.

$$F_h = k_h x W \quad \text{Equação 9.2.3.1.1.3}$$

O coeficiente sísmico k é definido pela Equação 9.2.3.1.1.4.

$$k = \frac{a_{ref}}{g} x \frac{a}{a_{ref}} \quad \text{Equação 9.2.3.1.1.4}$$

Onde:

a_{ref} = aceleração de referência de pico;

g = aceleração da gravidade;

a/a_{ref} = multiplicador de aceleração.

A definição da aceleração de pico na área do Projeto Bloco 8 mereceu uma análise de sismicidade particular, com a avaliação de dados de epicentros de diversos eventos compreendidos dentro de um raio máximo de 300 km em relação ao empreendimento.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 57/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

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;
- 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 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;
- 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

 <p>SAM Sul Americana de Metais SA</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 58/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

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) ($a_{pico,rocha}=0,037$ 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 elaborado pela WALM.

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 9.2.3.1.1.1, sendo o mais atualizado para o território brasileiro. Foi desenvolvido por Assumpção et al. (2016) e publicado no Boletim nº 96 da 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.

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 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 9.2.3.1.1.1.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
59/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Tabela 9.2.3.1.1.1 – 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 me pé. Objetos suspensos vibram. Moveis quebram. Danos em construção de má qualidade, algumas trincas em construção normal. Queda de reboco, ladrilhos ou tijolos mal assentados e telhas. Ondas em piscinas. Pequenos escorregamentos em taludes arenosos.	0,08 a 0,15

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 60/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

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 arvores 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
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 9.2.3.1.1.1.

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

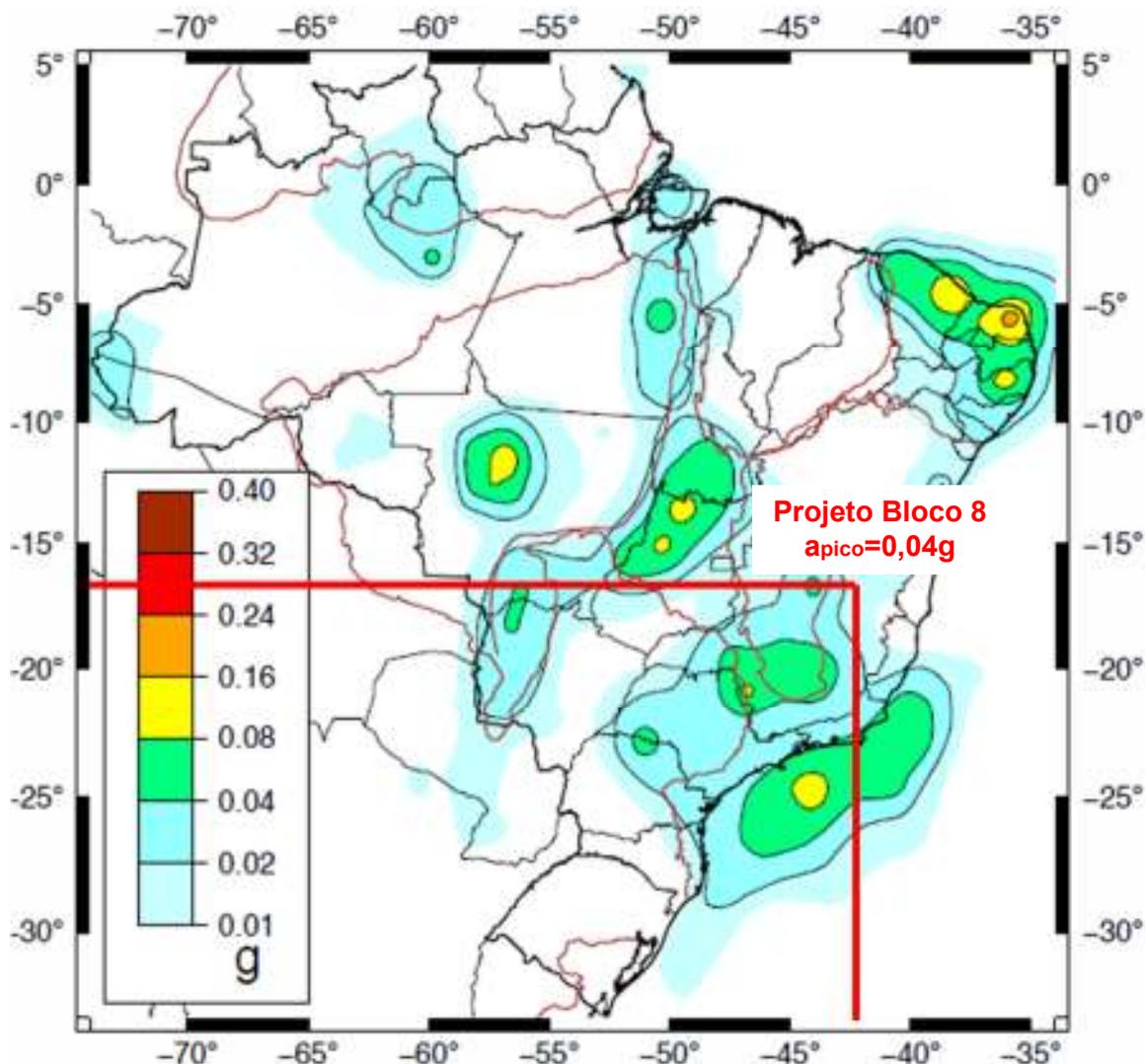


Figura 9.2.3.1.1.1 - Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro (Assumpção et al., 2016)

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

Tabela 9.2.3.1.1.2– Métodos de análises pseudo-estáticas (Duncan e Wright, 2005)

Referência	Aceleração de Referência a_{ref}	Multiplicador de Aceleração a/a_{ref}	Fator de Redução de Resistência do Solo	Fator de Segurança Mínimo	Deslocamento Tolerável
Makdisi & Seed (1978)	0,2 g (M~6 ½)	0,5	0,8	1,15	Aprox. 1,0 m
Makdisi & Seed (1978)	0,75 g (M~8 ¼)	0,2	0,8	1,15	Aprox. 1,0 m

 Sul Americana de Metais SA		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 62/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

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
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
Kavazanjian et. al (1997)	PHA_{soil}	0,17 se a análise de resposta é realizada	0,8 para argilas totalmente saturadas ou sensitivas	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 9.2.3.1.1.3.

Tendo em vista todas as informações supracitadas e seguindo o preconizado na Equação 9.2.3.1.1.4, os valores adotados para determinação do coeficiente sísmico natural para a Barragem 2 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.

Observa-se que a ruptura por montante não é possível de ocorrer.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 63/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 9.2.3.1.1.3– Parâmetros de resistência reduzida pelo fator de (0,8) de Hynes-Griffin & Franklin (1984)

Material	γ (kN/m ³)	Parâmetros de Resistência	
		c'	ϕ' (°)
Estéril	19	9,6	23,04
Fundação	21	12	24,79
Rejeito	23	8,0	27,45
Areia	20	0	29,26
Brita 0	22	0	30,17

A Tabela 9.2.3.1.1.4 apresenta o resultado das análises de estabilidade pseudo-estáticas geradas. As suas figuras correspondentes são apresentadas no APÊNDICE C.

Tabela 9.2.3.1.1.4– Resultados das análises de estabilidade sísmica induzida pelo sismo natural.

Etapa	N.A	Talude	Kh	F.S. Requerido	F.S. Obtido	Figura
Dique de Partida	Max Maximorum	Jusante	0,0185	1,10	1,22	Figura C 1
Barragem Final					1,16	Figura C 2
Dique Industrial					1,32	Figura C 3
Dique de Sela					1,41	Figura C 4

9.2.3.2 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.

Estas estruturas englobam os barramentos do Projeto Bloco 8, no qual está inserida a Barragem 2. 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

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 64/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Bloco 8, considerando o Plano de Lavra proposto pela VENTURINI Consultoria (2018) representado pelo documento PROPOSTA DE PLANO DE LAVRA 29_05_2018_rev1.

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

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

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

A partir dos estudos realizados pela SAM/VMA, determinou-se um modelo de projeção sismográfica para um cenário similar ao do Projeto Bloco 8, sendo representado pela Equação 9.2.3.2.1.

$$V_{p\text{máx}} = 600 \times \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,113} \quad \text{Equação 9.2.3.2.1}$$

Onde:

V_p= Velocidade de partícula máxima em mm/s;

D= Distância entro 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 9.2.3.2.1 abaixo apresenta os limites máximos de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência recomendados pela NBR 9653 (ABNT,2005).

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 65/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 9.2.3.2.1– Limites de vibração pelo terreno conforme norma ABNT 9653:2005.

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 da Barragem 2 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 Barragem 2 limitem-se a $V_{p,máx} = 25\text{mm/s}$, 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/VMA, bem como para a estimativa precisa das velocidades de pico para a área da Barragem 2.

Ressalta-se que em relação ao arranjo geométrico elaborado pela WALM para a barragem, considerando a configuração da Cava final do projeto para 18 anos, a distância mínima entre a barragem e a borda da estrutura é da ordem de 2,00 km. Esta distância deverá ser considerada, bem como as cargas por espera a serem praticadas pela SAM nos planos de lavra.

9.2.4 Análise de Liquefação

A metodologia de análise de liquefação proposta por Olson (2001) foi baseada na avaliação da liquefação e na retro análise de 33 casos históricos de ruptura por liquefação, por meio de correlações entre as razões de resistência ao cisalhamento de pico e liquefeita.

A partir desses 33 casos históricos disponíveis na literatura de falhas/rupturas por liquefação, Olson verificou que as rupturas por liquefação podem ser divididas em 3 categorias:

- Categoria 1 – ruptura por carregamento estático induzido;
- Categoria 2 – ruptura por deformação induzida; e
- Categoria 3 – ruptura por sismos induzidos.

A Figura 9.2.4.1 apresenta um comportamento esquemático esperado de um solo arenoso contrátil, saturado e em condições de carregamento não drenado para explicitar essas três categorias de ruptura por liquefação verificadas por Olson.

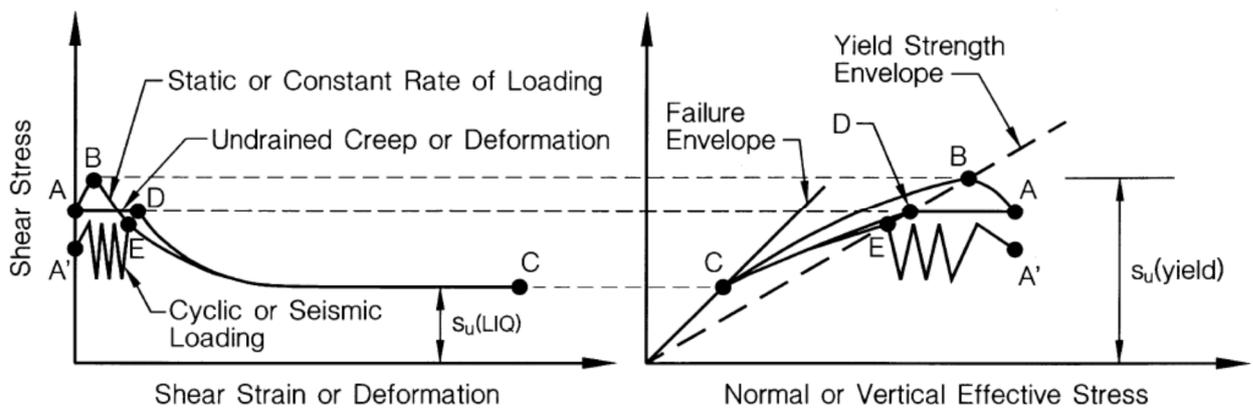


Figura 9.2.4.1 - Comportamento esquemático de um solo arenoso contrátil, saturado e em condições de carregamento não drenado (Fonte: Olson, 2001 e Olson & Stark, 2003).

A partir da Figura 9.2.4.1 observa-se que as três categorias de ruptura por liquefação propostas por Olson apresentam o seguinte comportamento:

- Categoria 1 – durante um carregamento estático ou a taxa constante de carregamento em condições não drenadas, como por exemplo a execução de um aterro em condições não drenadas, a resistência ao cisalhamento efetiva do material move do ponto A para o ponto B, em que este equivale a resistência ao cisalhamento máxima do material. A partir daí, se a tensão aplicada excede o ponto B, o material perde sua estruturação, entra em colapso e o

 <p>SAM Sul Americana de Metais SA</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 67/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

gatilho de liquefação é ativado; assim, a resistência do material move do ponto B para o ponto C, em que esta equivale a resistência ao cisalhamento não drenada liquefeita;

- Categoria 2 – de acordo com Olson, neste caso a tensão estática ao cisalhamento resultante de um aterro é grande o suficiente para dar início a deformação de cisalhamento, creep ou outro mecanismo de deformação tanto do aterro quanto da fundação. Então, se a deformação devido ao cisalhamento é grande o suficiente e o mesmo ocorrem em condições não drenadas, a resistência do material passa do ponto A para o ponto D, o qual apresenta resistência ao cisalhamento abaixo da resistência de pico, mas está em um nível de deformação tão alto que chega a atingir a envoltória de ruptura do material pós-pico de resistência. Com isso, qualquer deformação acima do ponto D aciona o gatilho de liquefação e a resistência do material passa do ponto D para o ponto C, que equivale a resistência ao cisalhamento não drenada liquefeita;
- Categoria 3 – esta categoria de ruptura geralmente não representa as mesmas condições de tensões que correspondem a resistência de pico e sua razão de resistência. Nesta situação, se o material está sujeito a um carregamento estático, em condições não drenadas ou drenadas, e então é submetido a uma nova carga, porém sísmica ou dinâmica, sua resistência passa do ponto A para o ponto A'; se a duração ou a intensidade do carregamento sísmico / dinâmico é suficiente para causar um aumento da poropressão em nível tal que o estado de tensões do material mova do ponto A' para o ponto E, qualquer ação adicional acionará o gatilho de liquefação, fazendo com que o ponto E passe para o ponto C.

A partir das retro análises Olson concluiu que para as Categorias 1 e 2, ou seja, de ruptura por tensão estática induzida e por deformação induzida, pode-se utilizar como base de cálculo a resistência ao cisalhamento de pico e sua razão de resistência. Já para a Categoria 3 – ruptura por ações sísmicas ou dinâmicas deve-se acrescentar a tensão cisalhante atuante a tensão cisalhante provocada pelo sismo, fazendo com que a razão de resistência de pico a ser analisada seja menor. Já para a condição liquefeita, a resistência ao cisalhamento liquefeita e sua razão de resistência são as mesmas, pois o material tende a atingir a resistência residual ou pós-pico.

Em regiões de baixa sismicidade ou quando o sismo induzido por vibrações e detonações é baixo, a parcela de tensão cisalhante é baixa e a razão de resistência ao sismo é baixa o suficiente que não

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
68/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

altera a razão de resistência estática. Logo, quando o efeito sísmico/dinâmico é baixo, a avaliação de liquefação realizada é classificada como análise de liquefação estática.

Para o projeto, foi realizada uma análise de Liquefação Estática considerando a razão de resistência de pico não drenada média $S_u(\text{pico})/\sigma'_{vo}$ igual a 0,2 para o rejeito situado abaixo do nível d'água. A Figura 9.2.4.2 apresenta o resultado da análise.

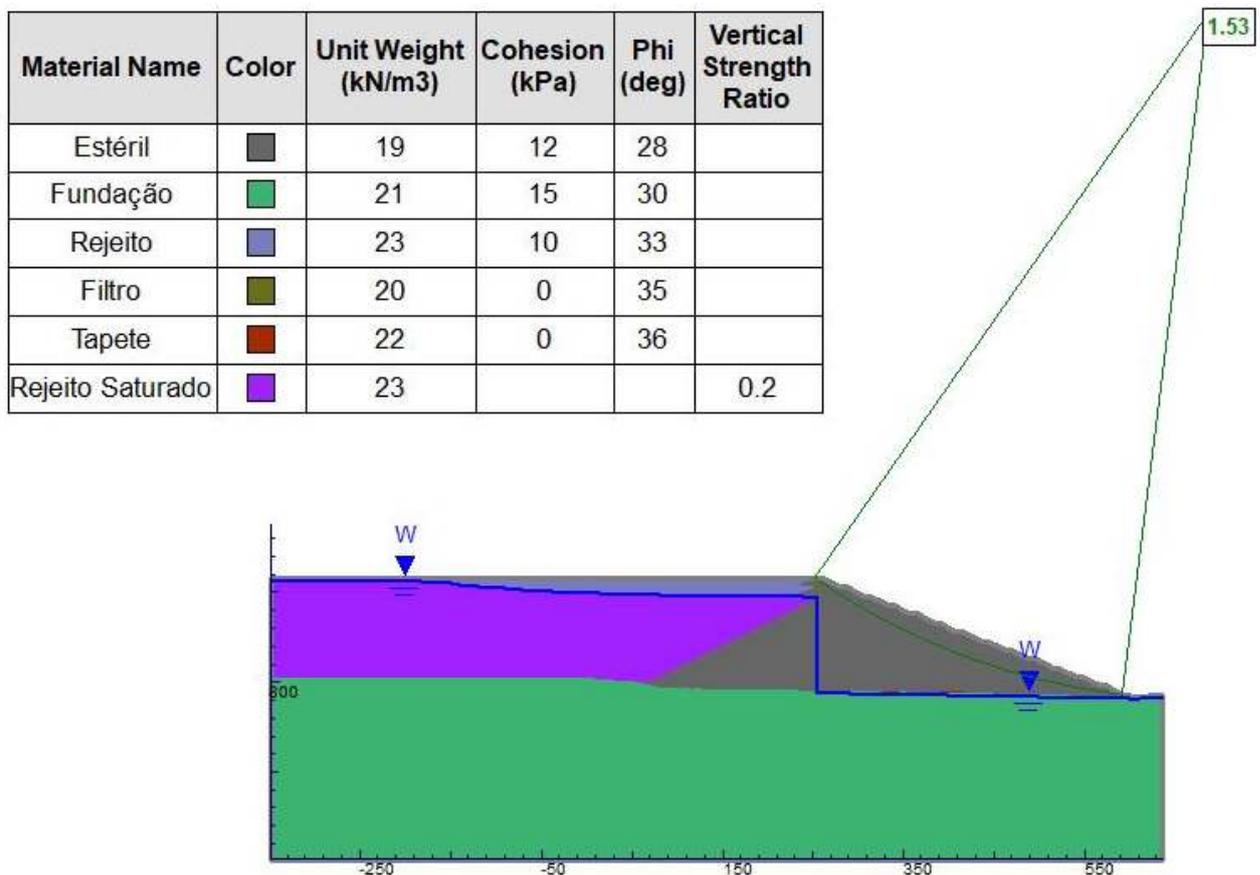


Figura 9.2.4.2 - Análise de Liquefação preliminar - $S_u(\text{pico})/\sigma'_{vo}$ igual a 0,2 – FS= 1,53

Conforme pode ser visualizado na Figura 9.2.4.2 a estrutura não se apresenta susceptível ao processo de ruptura por liquefação. Isto se deve ao fato de que o talude de jusante da barragem será constituído de estéril não saturado e compactado, não sendo susceptível à liquefação.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 69/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

9.2.5 Drenagem Interna

O sistema de drenagem interna do maciço principal da Barragem 2, do Dique Industrial e de Sela é composto por um filtro vertical e tapete drenante no fundo do talvegue. Os critérios e metodologias de cálculo para o dimensionamento do sistema de drenagem interna são descritos a seguir:

- Foram consideradas as vazões obtidas das análises de percolação realizadas nas seções geológico-geotécnicas: Ombreiras e seção central, tanto para o maciço principal quanto para o dique Industrial e de Sela;
- Foi adotado um fator de segurança para a vazão estimada pela análise de percolação igual a 10;
- Considerou-se a Lei de Darcy, baseada em regime de escoamento laminar, para o cálculo da área mínima da seção drenante:

$$Q = k * i * A \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde,

Q = vazão que chega ao sistema de drenagem interna (m³/s);

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

i = gradiente hidráulico = $\Delta h/L$;

A = área da seção a ser dimensionada = espessura do filtro (e) x 1 m (m²);

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

L = comprimento do filtro (m);

e = espessura do filtro (m).

- Com relação ao filtro:
 - Apesar de ser alimentado por água de maneira distribuída ao longo de todo seu eixo, por simplificação considera-se que a vazão total devido ao fluxo (QFV) adentra o filtro por sua extremidade superior, e escoar por este até o tapete horizontal;
 - Considera-se que o gradiente hidráulico é igual a 1,00;

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 70/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

- Com relação ao tapete horizontal:
 - Considerou-se que este teria saída unicamente na região do fundo de talvegue. Nas ombreiras, os tapetes terão drenagem cega, isto é, não terão saída e seus fluxos serão direcionados ao tapete da região do fundo do talvegue;
 - 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, inicialmente considera-se a permeabilidade da areia ($k = 5,00 \times 10^{-4}$ m/s), brita 0 ($k = 5,00 \times 10^{-2}$ 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, $\Delta h = e$:

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

9.2.5.1 Dimensionamento

Filtro

A espessura do filtro vertical foi dimensionada a partir da maior vazão resultante entre as análises de percolação realizadas para cada estrutura. Dessa maneira, tem-se:

$$Q = k(\text{areia}) * \frac{\Delta h}{L} * A \rightarrow Q = k(\text{areia}) * \frac{\Delta h}{L} * (e * 1)$$

$$e = \frac{Q * FS}{k(\text{areia}) * \frac{\Delta h}{L}}$$

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 71/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 9.2.5.1.1 – Espessura do Filtro Vertical.

Etapa	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Espessura (cm)
Barragem Final	6,47E-07	1,29
Dique Industrial	6,38E-08	0,13
Dique de Sela	2,07E-08	0,04

Por razões construtivas, adotou-se a espessura de 1,00 m para o filtro vertical de todas as seções.

Tapete Horizontal

A espessura do tapete horizontal foi dimensionada separadamente para a região de cada ombreira e do fundo do talvegue, a partir das vazões resultantes nas análises correspondentes a cada região. Dessa maneira, tem-se:

$$Q = k(\text{brita}) * \frac{\Delta h}{L} * A$$

$$A = \frac{10 * Q * L}{k(\text{brita}) * i}$$

- Fundo do Talvegue

Considerou-se a soma das vazões resultantes nos trechos do filtro e tapete da análise de percolação para a seção central e ombreiras, tanto para a barragem principal quanto para os diques.

Portanto, a vazão total considerada nestas seções serão:

Tabela 9.2.5.1.2 – Vazão Total - Barragem.

Etapa	Seção	Vazão (m³/s/m)	L (m)	Vazão (m³/s)
Barragem Final	Ombreira Esquerda	6,59E-07	1103,13	7,27E-04
	Central	5,33E-06	524,25	2,80E-03
	Ombreira Direita	1,66E-06	1181,13	1,96E-03

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 72/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 9.2.5.1.3 – Vazão Total – Dique Industrial.

Etapa	Seção	Vazão (m³/s/m)	L (m)	Vazão (m³/s)
Dique Industrial	Ombreira Esquerda	2,65E-07	336,22	8,93E-05
	Central	1,38E-06	461,52	6,38E-04
	Ombreira Direita	5,18E-07	942,25	4,88E-04

Tabela 9.2.5.1.4 – Vazão Total – Dique de Sela.

Etapa	Seção	Vazão (m³/s/m)	L (m)	Vazão (m³/s)
Dique de Sela	Ombreira Esquerda	2,13E-07	694,21	1,48E-04
	Central	2,69E-07	183,45	4,94E-05
	Ombreira Direita	1,98E-07	1300,49	2,58E-04

Desta forma, utilizando a equação abaixo, obtém-se as seguintes espessuras:

$$e = \frac{Q_{total} * FS}{k_{brita} * i}$$

Tabela 9.2.5.1.5 - Dimensionamento tapete horizontal - Barragem

Trechos	Material	Coefficiente de permeabilidade k (m/s)	i (m/m)	e (cm)	e _{adotado} (m)
Ombreira Esquerda	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,09	12,91	0,50
Central	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,02	0,086	0,50
Ombreira Direita	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,08	0,367	0,50

Tabela 9.2.5.1.6 - Dimensionamento tapete horizontal - Dique Industrial

Trechos	Material	Coefficiente de permeabilidade k (m/s)	i (m/m)	e (cm)	e _{adotado} (m)
Ombreira Esquerda	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,08	8,83	0,50
Central	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,09	0,78	0,50
Ombreira Direita	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,03	43,99	0,50

 SAM Sul Americana de Metais S/A	 WALM	PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 73/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

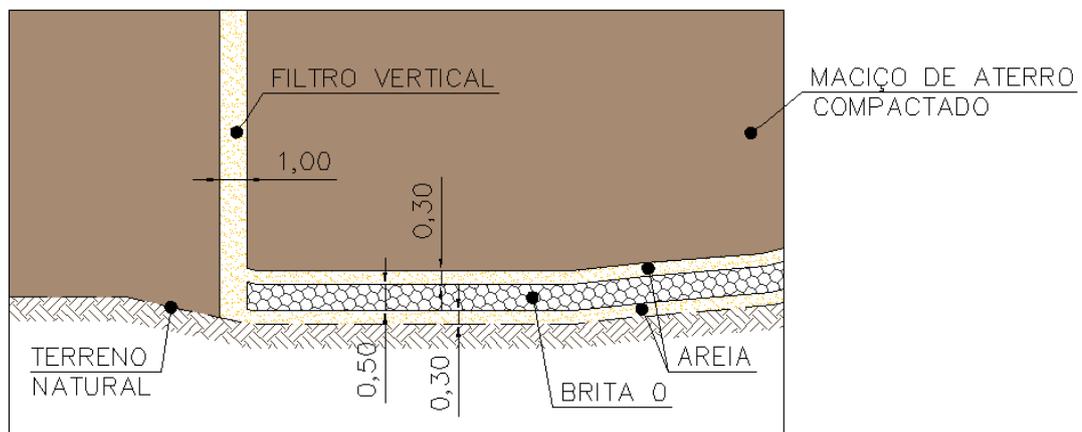
Tabela 9.2.5.1.7 - Dimensionamento tapete horizontal - Dique de Sela

Trechos	Material	Coefficiente de permeabilidade k (m/s)	i (m/m)	e (cm)	e _{adotado} (m)
Ombreira Esquerda	Brita	$5,0 \times 10^{-2}$	0,01	29,52	0,50
Central	Brita	$5,0 \times 10^{-2}$	0,02	0,40	0,50
Ombreira Direita	Brita	$5,0 \times 10^{-2}$	0,01	50,06	0,50

Assim, foi adotado tapete do tipo 'sanduíche' com núcleo drenante em brita 0 envolto por transição geotécnica em areia.

O desenho de projeto n° MINA_BLC8007-1010-O-0083 apresenta os detalhes do sistema de drenagem interna para a Barragem 2, Dique Industrial e Dique de Sela.

A Figura 9.2.5.1.1 apresenta o detalhe típico do tapete drenante do fundo do talvegue com as transições até o filtro de areia.



DETALHE 01 – TAPETE DRENANTE
 TIPO SANDUÍCHE (SEÇÃO CENTRAL)
 SEM ESCALA

Figura 9.2.5.1.1 - Detalhe típico do tapete do fundo do talvegue.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p align="center">PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 74/136</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>	

10.0 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos foram elaborados com a finalidade de fornecer subsídios para o dimensionamento das estruturas hidráulicas previstas na Barragem de Rejeitos 2 do Projeto Bloco 8, sendo compostas por:

- Sistema Extravasor da Barragem 2 (Dique Inicial e Barragem Final);
- Sistema de Drenagem Superficial da Barragem 2 (Barragem Final);
- Sistema Extravasor do reservatório formado pelo Backfill.

Face à inexistência de monitoramento fluviométrico das bacias de interesse, o cálculo das vazões de projeto foi realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão. Em virtude das magnitudes das áreas de contribuição, as vazões de projeto foram determinadas segundo o Método do Hidrograma Unitário para os reservatórios e Método Racional para os dispositivos de drenagem superficial.

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

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

10.1 CHUVAS DE PROJETO

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

Para a definição das chuvas de projeto realizou-se a análise das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) existentes nas proximidades do empreendimento, considerando-se um raio de até 50 quilômetros do mesmo. As estações existentes dentro do referido limite são apresentadas na Tabela 10.1.1 e Figura 10.1.1.

 SAM Sul Americana de Metais S/A	 WALM	PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 75/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 10.1.1: 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



Figura 10.1.1 – 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).

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 76/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

As médias mensais da estação Grão Mogol (1642014) são apresentadas na Figura 10.1.2. 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.

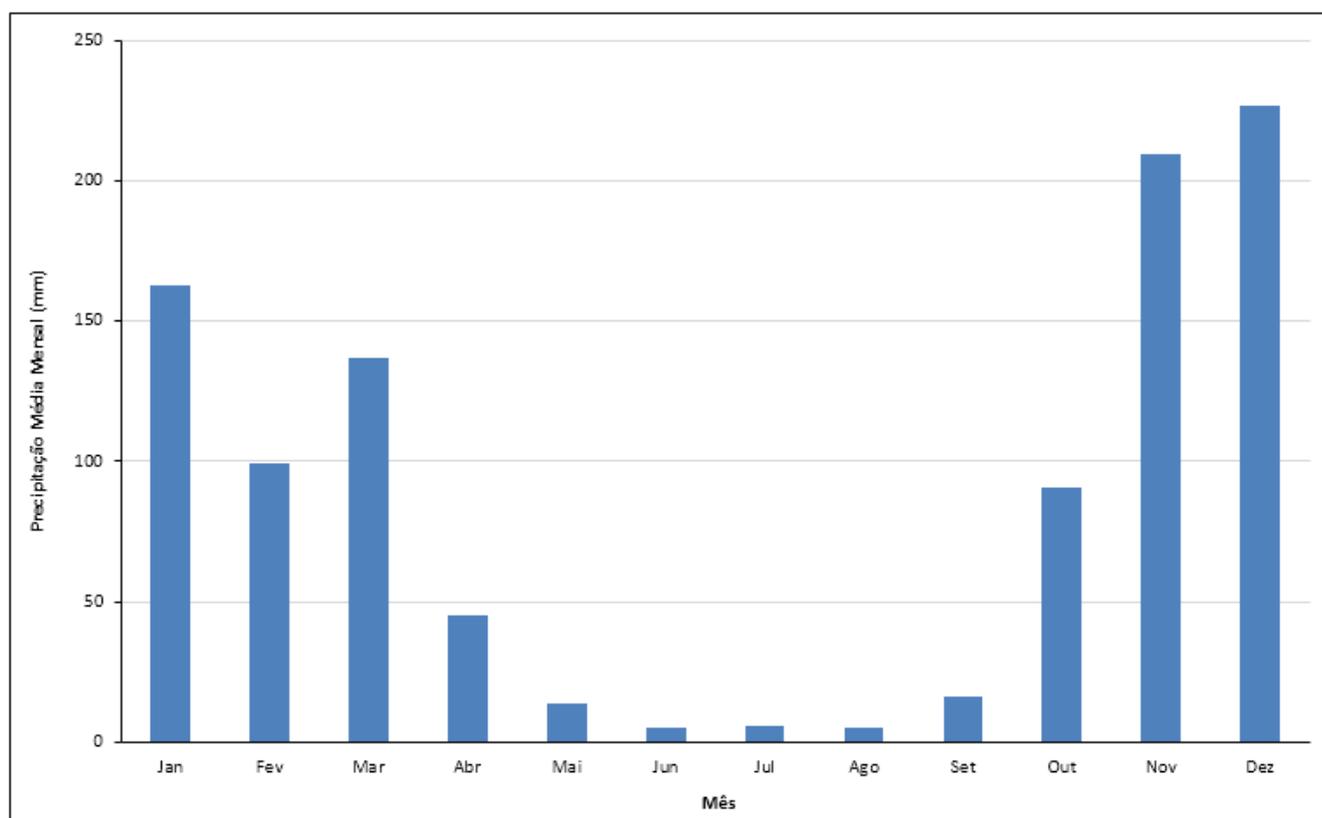


Figura 10.1.2: Altura de chuva total média mensal da Estação Grão Mogol (1642014)

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

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
77/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

chuva para tempos de retorno específicos, com especial interesse àquelas cujas probabilidades de ocorrência sejam muito baixas (eventos extremos).

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

As distribuições de probabilidades teóricas foram extrapoladas, permitindo a estimativa dos quantis de precipitação para períodos de retorno de até 10.000 anos. A partir da análise visual do gráfico das distribuições de probabilidades, foi escolhida a distribuição de Pearson III por apresentar a melhor aderência aos dados apresentados, conforme pode ser observado na Figura 10.1.3.

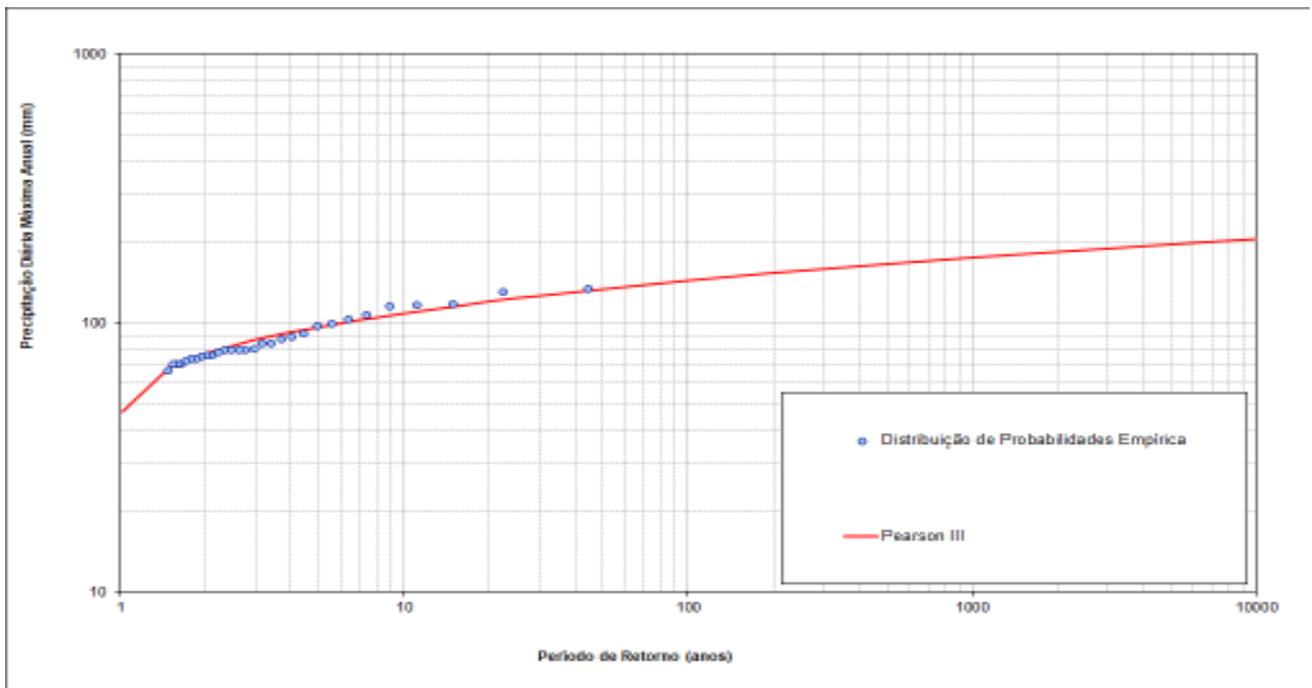


Figura 10.1.3: Ajuste da Distribuição Teórica de Pearson III para Alturas de Chuvas de 1 dia.

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

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
78/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

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).

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 (P_{6min}/P_{24}) e de 1 hora com 24 horas (P_1/P_{24}), configurando as chamadas isozonas de igual relação entre as precipitações de diferentes durações.

Os quantis de altura de chuva para os diversos períodos de retorno estão apresentados na Tabela 10.1.2.

Tabela 10.1.2: 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
2 dias	101	127	144	165	180	195	209	228	242	287
3 dias	123	156	176	199	216	231	246	264	278	322
5 dias	156	199	223	251	270	287	304	324	339	387
7 dias	184	237	268	304	329	352	375	404	425	491
10 dias	218	276	309	347	372	396	418	446	467	530
15 dias	270	337	373	413	439	463	485	512	531	589
20 dias	312	391	433	480	511	539	565	598	621	691
30 dias	382	486	544	608	651	690	727	773	806	907

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p align="center">PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p align="center">MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p align="right">Folha 79/136</p>	
	<p align="center">WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p align="right">Revisão 01</p>	

10.2 VAZÕES DE PROJETO

O estudo para o cálculo das vazões de projeto foi realizado com o intuito de fornecer subsídios para o dimensionamento das estruturas hidráulicas previstas na área de implantação da Barragem 2.

Conforme já mencionado, em função da inexistência de monitoramento fluviométrico nas bacias de interesse, o cálculo das vazões de projeto foi realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão.

Para a determinação das vazões de projeto utilizadas no dimensionamento das estruturas constituintes do sistema de drenagem superficial, utilizou-se o Método Racional, em virtude das áreas de contribuição serem inferiores a 1,0 km² (PINHEIRO, 2011).

Já para as vazões de projeto utilizadas nos dimensionamentos dos sistemas extravasores da Barragem 2 e do reservatório formado pelo Backfill, adotou-se o Método do Hidrograma Unitário, em virtude da magnitude da área de contribuição e visando a determinação dos efeitos de amortecimento dos reservatórios dessas estruturas.

10.2.1 Sistema Extravador da Barragem 2 e Backfill

De acordo com a NBR 13028(ABNT, 2017) (“Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água”), o dimensionamento do sistema extravasor de barragens deve ser definido em função do dano potencial associado à falha estrutural da barragem.

Para as estruturas em estudo, admitiu-se que a mesma terá um dano potencial associado ALTO, sendo o sistema extravasor dimensionado para uma vazão de TR =10.000 anos, considerando uma borda livre mínima de 1,0m, tanto para a fase inicial, quanto para a fase final.

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

 Sul Americana de Metais SA		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 80/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

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

O parâmetro CN representa o tipo de cobertura, solo e ocupação na bacia. Os valores atribuídos a cada tipo de solo, considerando as condições normais de chuva antecedente (CN II) estão apresentados na Tabela 10.2.1.1.

Tabela 10.2.1.1 – Valores adotados para o CN

Estrutura	Cobertura do Solo	Área (%)	CN II adotado
Barragem 2: Dique Inicial	Campo, Pastagem	65,02	60
	Rejeito	18,99	85
	Reservatório	15,99	100
	CN Ponderado	100	71
Barragem 2: Barragem Final	Campo, Pastagem	41,70	60
	Rejeito	41,76	85
	Reservatório	16,54	100
	CN Ponderado	100	77
Backfill	Cava	10,07	85
	Reservatório	89,93	100
	CN Ponderado	100	90

Na síntese dos hidrogramas de vazões foi utilizado o método SCS, tendo como parâmetro o lagtime (Tlag) dado pela multiplicação do tempo de concentração pelo fator de 0,60.

O tempo de concentração foi calculado usando o Método de Kirpich, obtido pela Equação 10.2.1.1.

$$Tc = 3,989 \times \frac{L^{0,77}}{Se^{0,385}} \quad \text{Equação 10.2.1.1}$$

Onde,

Tc = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue, em km;

Se = declividade equivalente, em m/m.

Os parâmetros utilizados no modelo para o cálculo das vazões de projeto do sistema extravasor da Barragem 2 e Backfill estão apresentados nas Tabela 10.2.1.2.

 Sul Americana de Metais SA		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 81/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 10.2.1.2 – Parâmetros Utilizados: Sistema Extravisor

Estrutura	Área de Drenagem (km ²)	Número de Curva Ponderado (CN II)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração	Lag Time
Barragem 2: Dique Inicial	9,30	71	20,75	37 min	22,2 min
Barragem 2: Barragem Final	8,78	77	15,17	25 min	15 min
Backfill	0,47	90	5,64	5 min	3 min

As simulações foram realizadas para os eventos de chuva com as durações variando entre 1 hora até 30 dias. Adicionalmente, para a obtenção das vazões de projeto (vazões máximas defluentes), foram considerados os potenciais de amortecimento dos reservatórios, a partir da avaliação do trânsito de cheia.

Os resultados das simulações para as vazões afluentes ao sistema extravisor da Barragem de Rejeitos 2 e Backfill podem ser visualizados nas Tabela 10.2.1.3.

Tabela 10.2.1.3 – Vazões Afluentes ao Sistema Extravisor

Duração	Vazão Afluente (m ³ /s)			
	Barragem 2: Dique Inicial	Barragem 2: Barragem Final	Backfill	
Horas	1	79,23	129,33	17,65
	2	110,48	149,63	13,61
	3	110,62	138,30	10,90
	4	104,27	123,98	9,14
	6	89,49	100,68	7,00
	8	77,19	84,77	5,73
	10	67,77	73,48	4,88
	12	60,52	65,06	4,26
	18	46,26	49,01	3,14
	24	37,81	39,74	2,51
Dias	2	28,00	28,56	1,71
	3	21,60	21,82	1,29
	5	16,25	16,19	0,93
	7	15,41	15,14	0,85
	10	11,77	11,52	0,65

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 82/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

Ressalta-se que os efeitos do amortecimento do reservatório da Barragem 2 serão considerados no item 10.3.1.1, onde será apresentada a avaliação do trânsito de cheias nesse reservatório, bem como o dimensionamento do sistema extravasor.

10.2.2 Sistema de Drenagem Superficial da Barragem 2

As vazões de projeto das estruturas constituintes do sistema de drenagem superficial da Barragem 2 foram determinadas em conformidade com o preconizado pela NBR 13.028 (ABNT,2017), que recomenda os seguintes tempos mínimos de recorrência:

- 100 anos para dispositivos de pequenas vazões, que neste estudo representa as canaletas de bermas; e
- 500 anos para dispositivos de grandes vazões, onde considerou-se os canais periféricos e as descidas de água¹.

Em virtude da magnitude das áreas de contribuições (inferiores a 1,0 km²), as vazões das estruturas constituintes do sistema de drenagem superficial da Barragem 2 na sua etapa final foram obtidas utilizando 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, considerando que os eventos chuvosos correspondentes às vazões máximas têm a duração igual ao tempo de concentração da respectiva bacia, conforme Equação 10.2.2.1.

$$Q_p = \frac{C \cdot i_{t,T} \cdot A}{3,6} \quad \text{Equação 10.2.2.1}$$

Onde:

Q_p: vazão de projeto (m³/s);

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

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

A: área da bacia de contribuição (km²).

¹ A referida NBR enquadra descidas de água como dispositivos de pequenas vazões, entretanto, para o caso do presente projeto esta premissa não foi adotada devido à magnitude das áreas de contribuição a estas estruturas.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 83/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Os tempos de concentração foram estimados em 5 minutos devido as pequenas extensões das estruturas.

O coeficiente de escoamento foi admitido com base em valores consagrados por bibliografias técnicas especializadas, sendo utilizado o valor de 0,40 para áreas de contribuição natural, e 0,60 para o maciço da barragem, sendo realizada a ponderação em caso de contribuição dos dois tipos de área.

A Tabela 10.2.2.1 apresenta uma síntese das variáveis utilizadas e os resultados obtidos para as estruturas do sistema de drenagem superficial da etapa final, utilizando o Método Racional, sendo TR o tempo de retorno, Tc o tempo de concentração I a intensidade média da chuva e C o coeficiente de escoamento. Ressalta-se que para o cálculo da vazão de projeto de dimensionamento das canaletas de drenagem das bermas considerou-se como referência a maior área de contribuição.

Tabela 10.2.2.1 – Vazões de Projeto do Sistema de Drenagem Superficial – Método Racional

Estruturas	Nomenclatura	AD total (km ²)	Tempo de Retorno (anos)	Tempo de Concentração (min)	i (mm/h)	C médio	Q (m ³ /s)
Canaletas de berma	-	0,007	100	5,00	124	0,60	0,15
Descidas de água	D-01	0,057	500	5,00	142	0,60	1,36
	D-02	0,080	500	5,00	142	0,60	1,89
	D-03	0,109	500	5,00	142	0,60	2,59
	D-04	0,073	500	5,00	142	0,60	1,73
	D-05	0,038	500	5,00	142	0,60	0,90
Canais periféricos	CP-01-I	0,228	500	5,00	142	0,42	3,75
	CP-01-II	0,338	500	5,00	142	0,45	5,99
	CP-01-III	0,479	500	5,00	142	0,47	8,97
	CP-02-I	0,013	500	5,00	142	0,55	0,29
	CP-02-II	0,073	500	5,00	142	0,58	1,69
	CP-02-III	0,157	500	5,00	142	0,59	3,63

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 84/136</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>	

10.3 CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

10.3.1 Sistema Extravador da Barragem 2

O sistema extravasor da Barragem 2, para as fases inicial e final, foi concebido com a finalidade de conduzir, de forma ordenada, as vazões defluentes do reservatório em épocas de cheias até o talvegue natural, garantindo a segurança hidráulica do barramento.

Os dimensionamentos para ambas as etapas foram elaborados a partir de processo interativo de definição de seção, e conseqüentemente obtenção de uma curva de descarga do extravasor, com os parâmetros de entrada da bacia e reservatório na simulação hidrológica/hidráulica (a saber, chuva de projeto, parâmetros físicos da bacia e curva cota-volume do reservatório), buscando assim uma seção otimizada. Ou seja, os dimensionamentos consideraram os hidrogramas afluentes e o potencial de amortecimento do reservatório, a partir da avaliação do trânsito de cheias.

Destaca-se que o sistema extravasor foi previsto em concreto com seção trapezoidal. O extravasor da fase final é conectado ao vertedouro da etapa inicial, conforme pode ser visualizado nos desenhos de Arranjo Geral das fases.

10.3.1.1 Avaliação do Trânsito de Cheia na Barragem 2

A simulação do trânsito da cheia de projeto pelo reservatório da Barragem 2 foi realizada com o emprego do Método de Puls Modificado, incorporado ao modelo matemático HEC-HMS versão 3.5. Esse método é baseado na discretização em diferenças finitas da equação do balanço hídrico, utilizando como elementos de cálculo as relações cota x descarga do vertedouro e cota x volume do reservatório, além do hidrograma de vazões afluentes de projeto, obtido nos estudos hidrológicos. Para realização das simulações adota-se, como nível de água inicial dos reservatórios, a cota correspondente à soleira vertente de cada etapa.

A determinação da curva de descarga do sistema extravasor para ambas as etapas foi efetuada através da equação de emboque de canal, conforme Equação 10.3.1.1.1.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
85/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

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

Equação 10.3.1.1.1

Onde:

Q= é a vazão de projeto, em m³/s;

C= é o coeficiente de descarga, adimensional, adotado igual a 0,9;

A= é a área útil do vertedouro, considerando-se seção trapezoidal como 6,00 m de base menor e inclinação de taludes de 2H : 1V;

G= é a aceleração da gravidade, igual a 9,81 m/s²;

H= é a carga hidráulica sobre a soleira do vertedouro, em m.

A curva de descarga obtida para a etapa inicial está apresentada na Figura 10.3.1.1.1, enquanto que a Figura 10.3.1.1.2 apresenta a curva da fase final.

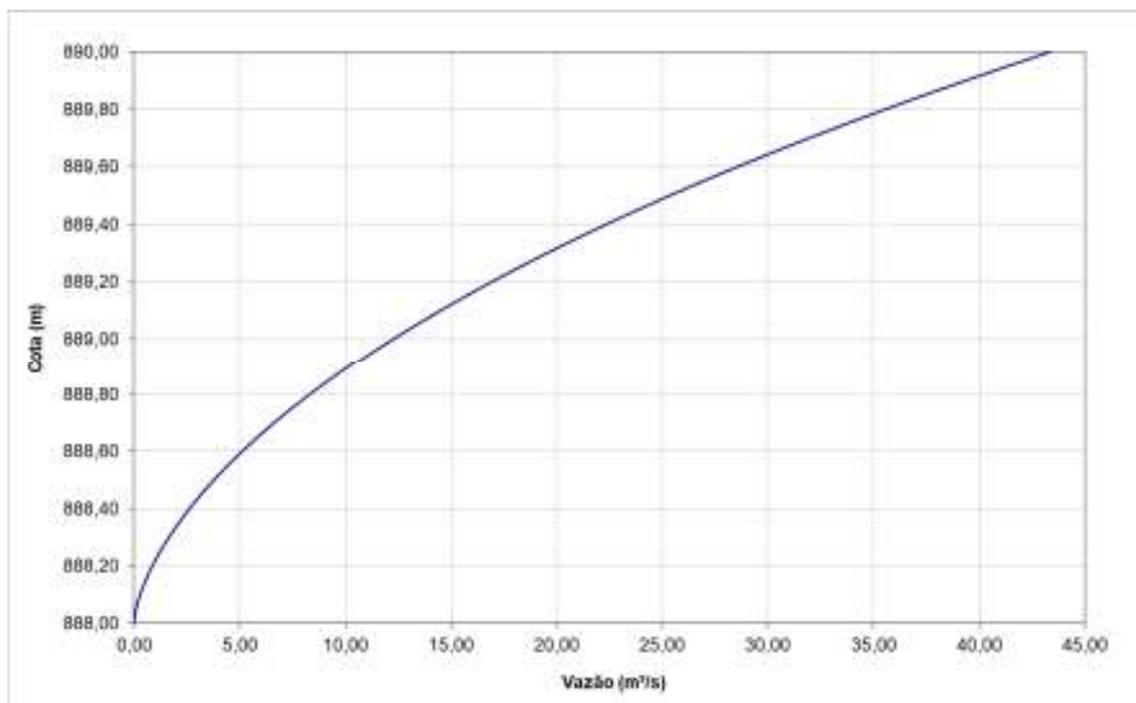


Figura 10.3.1.1.1: Curva de descarga do sistema extravasor da Barragem 2: Dique Inicial

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
86/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

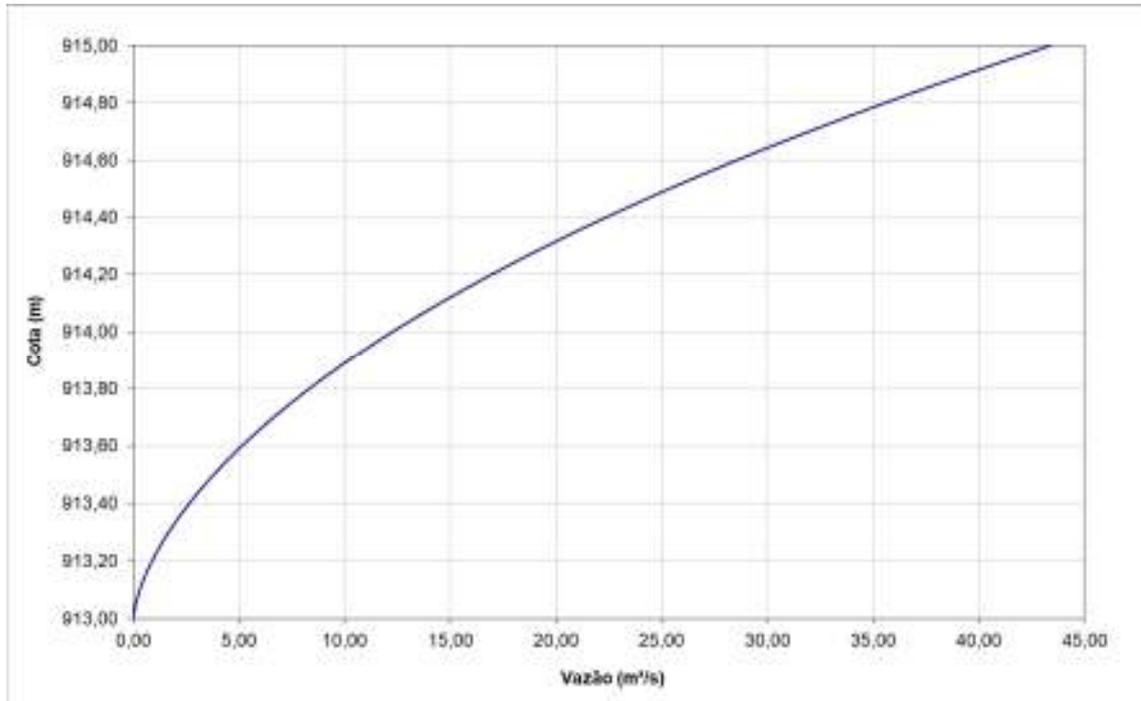


Figura 10.3.1.1.2: Curva de descarga do sistema extravasor da Barragem 2: Barragem Final

A Figura 10.3.1.1.3 e a Figura 10.3.1.1.4 apresentam as curvas cota x volume da Barragem 2 para as etapas inicial e final, respectivamente.

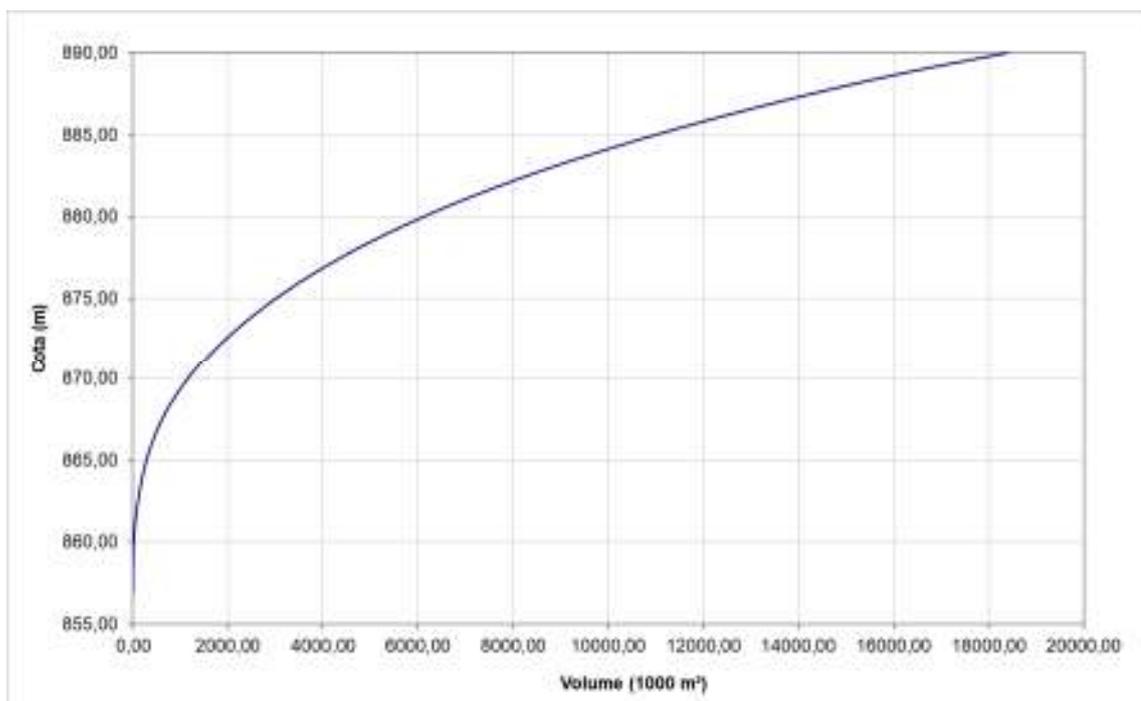


Figura 10.3.1.1.3: Curva cota x volume da Barragem 2: Dique Inicial

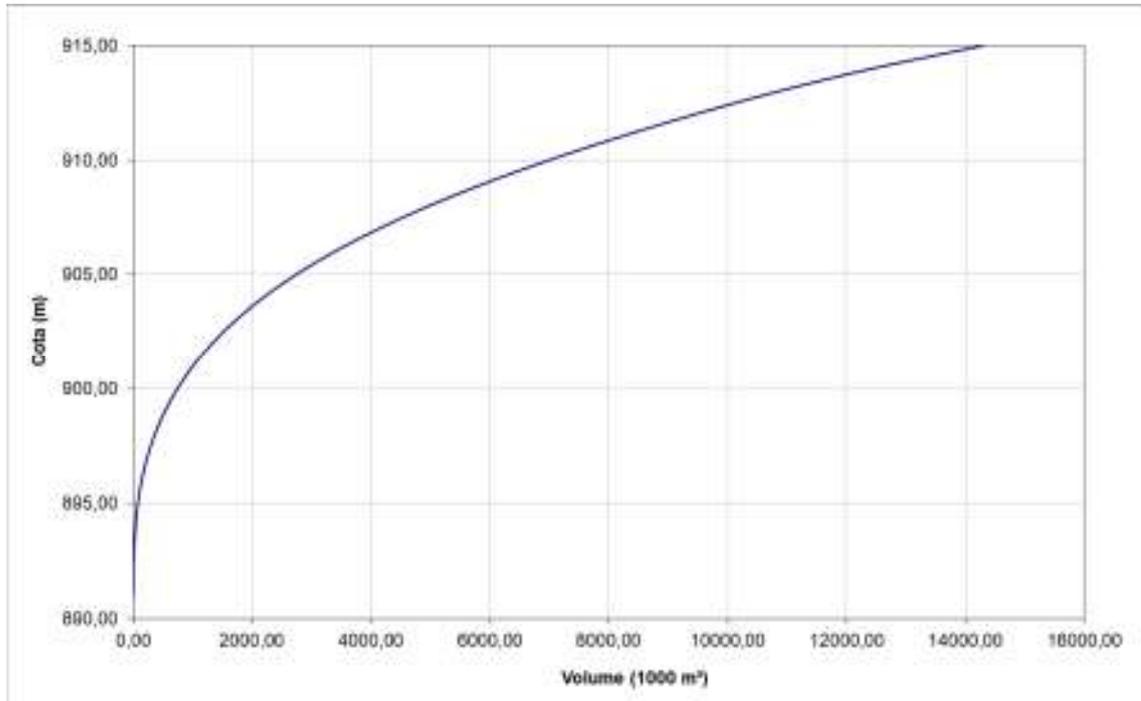


Figura 10.3.1.1.4: Curva cota x volume da Barragem 2: Barragem Final

Os resultados do trânsito de cheias pelo reservatório da Barragem 2 na etapa inicial para a vazão com TR de 10.000 anos podem ser visualizados na Tabela 10.3.1.1.1. Em seguida, a Tabela 10.3.1.1.2 sintetiza os resultados.

Tabela 10.3.1.1.1 – Trânsito de cheias para TR 10.000 anos da Barragem 2: Dique Inicial

Duração	Vazão (m³/s)		Elevação (m)	Borda Livre (m)
	Afluyente	Defluente		
1 H	79,23	0,38	888,11	1,89
2 H	110,48	1,07	888,23	1,77
3 H	110,62	1,63	888,30	1,70
4 H	104,27	2,11	888,35	1,65
6 H	89,49	2,87	888,42	1,58
8 H	77,19	3,43	888,47	1,53
10 H	67,77	3,85	888,50	1,50
12 H	60,52	4,18	888,53	1,47
18 H	46,26	4,84	888,58	1,42
24 H	37,81	5,25	888,61	1,39
2 DIAS	28,00	8,10	888,79	1,21
3 DIAS	21,60	8,59	888,81	1,19
5 DIAS	16,25	9,16	888,84	1,16
7 DIAS	15,41	10,92	888,94	1,06
10 DIAS	11,77	9,48	888,86	1,14
15 DIAS	8,83	7,81	888,77	1,23

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 88/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Duração	Vazão (m³/s)		Elevação (m)	Borda Livre (m)
	Afluente	Defluente		
20 DIAS	7,91	7,37	888,74	1,26
30 DIAS	7,08	6,88	888,71	1,29

Tabela 10.3.1.1.2 – Síntese dos resultados da Barragem 2: Dique Inicial

Barragem 2: Dique Inicial – TR = 10.000 anos	
Duração crítica (dias)	7
Precipitação referente ao evento crítico (mm)	491
Vazão Afluente (m³/s)	15,41
Vazão Máxima Defluente (m³/s)	10,92
Cota da Soleira (m)	888,00
Sobrelevação Máxima do Nível de Água (m)	888,94
Cota do Coroamento (m)	890,00
Borda livre resultante (m)	1,04

De acordo com os resultados explicitados, o vertedouro da fase inicial da Barragem 2 apresenta as seguintes dimensões:

Tabela 10.3.1.1.3 – Extravador Barragem 2: Dique Inicial

Geometria	Trapezoidal
Base menor (m)	6,00
Taludes (H:V)	2,00
Altura (m)	2,00

Os resultados do trânsito de cheias pelo reservatório da Barragem 2 na etapa final para a vazão com TR de 10.000 anos podem ser visualizados na Tabela 10.3.1.1.1. Em seguida, a Tabela 10.3.1.1.2 sintetiza os resultados.

Tabela 10.3.1.1.4 – Trânsito de cheias para TR 10.000 anos da Barragem 2: Barragem Final

Duração	Vazão (m³/s)		Elevação (m)	Borda Livre (m)
	Afluente	Defluente		
1H	129,33	0,58	913,15	1,85
2H	149,63	1,45	913,27	1,73
3H	138,30	2,13	913,35	1,65
4H	123,98	2,67	913,40	1,60
6H	100,68	3,51	913,48	1,52
8H	84,77	4,10	913,52	1,48
10H	73,48	4,53	913,56	1,44
12H	65,06	4,87	913,58	1,42
18H	49,01	5,55	913,63	1,37
1DIA	39,74	5,93	913,65	1,35

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
89/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Duração	Vazão (m³/s)		Elevação (m)	Borda Livre (m)
	Afluente	Defluente		
2DIA	28,56	8,69	913,82	1,18
3DIA	21,82	9,04	913,84	1,16
5DIA	16,19	9,40	913,86	1,14
7DIA	15,14	10,94	913,94	1,06
10DIA	11,52	9,38	913,86	1,14
15DIA	8,60	7,65	913,76	1,24
20DIA	7,65	7,15	913,73	1,27
30DIA	6,80	6,61	913,70	1,30

Tabela 10.3.1.1.5 – Síntese dos resultados da Barragem 2: Barragem Final

Barragem 2: Barragem Final – TR = 10.000 anos	
Duração crítica (dias)	7
Precipitação referente ao evento crítico (mm)	491
Vazão Afluente (m³/s)	15,14
Vazão Máxima Defluente (m³/s)	10,94
Cota da Soleira (m)	913,00
Sobrelevação Máxima do Nível de Água (m)	913,94
Cota do Coroamento (m)	915,00
Borda livre resultante (m)	1,04

De acordo com os resultados explicitados, o vertedouro da fase final da Barragem 2 apresenta as seguintes dimensões:

Tabela 10.3.1.1.6 – Extravador Barragem 2: Dique Inicial

Geometria	Trapezoidal
Base menor (m)	6,00
Taludes (H:V)	2,00
Altura (m)	2,00

10.3.2 Sistema Extravador do Reservatório Formado pelo Backfill

O sistema extravador do reservatório formado pelo Backfill foi concebido com a finalidade de conduzir, de forma ordenada, as vazões defluentes do reservatório em épocas de cheias até o extravador da Barragem 2, garantindo a segurança hidráulica da estrutura. Destaca-se que o sistema extravador foi previsto em concreto com seção trapezoidal.

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 90/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

10.3.2.1 Avaliação do Trânsito de Cheia no Reservatório do Backfill

A avaliação do trânsito de cheias no reservatório do Backfill foi realizada segundo os mesmos critérios apresentados para a Barragem de Rejeitos 2.

A curva de descarga obtida, considerando-se para este caso uma base menor de 1,00 m, está apresentada na Figura 10.3.2.1.1, enquanto que a Figura 10.3.2.1.2 apresenta a curva cota x volume do reservatório.

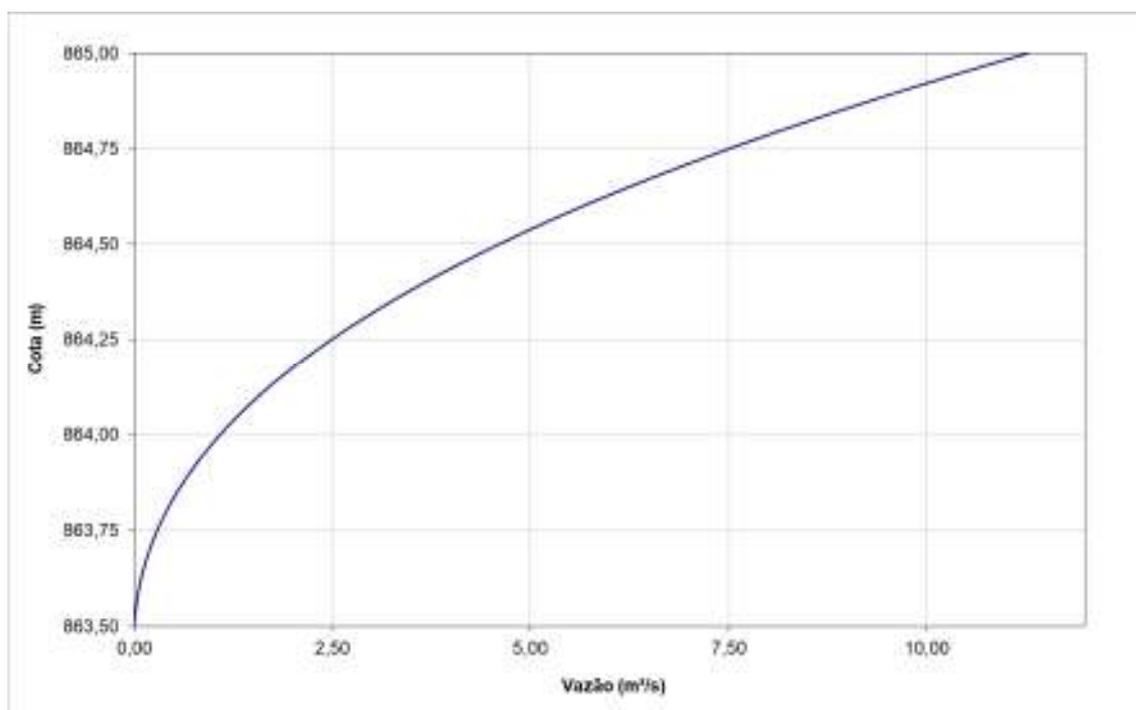


Figura 10.3.2.1.1: Curva de descarga do sistema extravasor do reservatório do Backfill

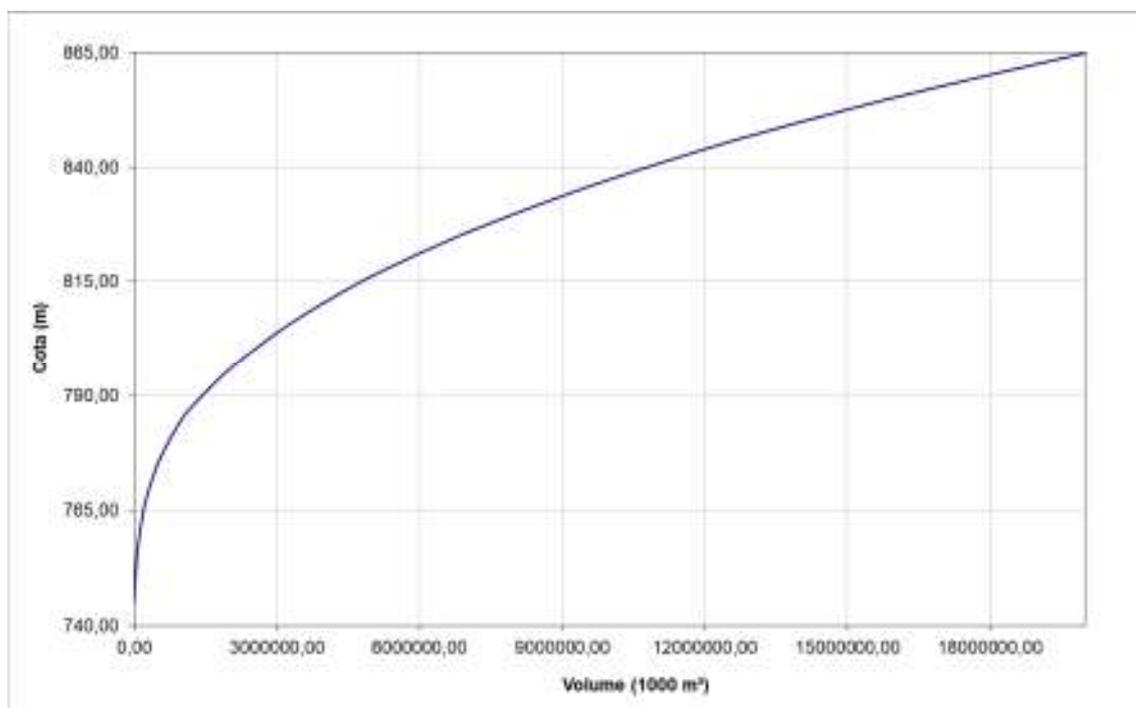


Figura 10.3.2.1.2: Curva cota x volume do reservatório do Backfill

Os resultados do trânsito de cheias pelo reservatório do Backfill para a vazão com TR de 10.000 anos podem ser visualizados na Tabela 10.3.2.1.2. Em seguida, a Tabela 10.3.2.1.3 sintetiza os resultados.

Tabela 10.3.2.1.1 – Trânsito de cheias para TR 10.000 anos do reservatório do Backfill

Duração	Vazão (m³/s)		Elevação (m)	Borda Livre (m)
	Afluente	Defluente		
5MIN	3,10	0,00	863,50	1,50
10MIN	15,73	0,01	863,51	1,49
25MIN	22,90	0,01	863,53	1,47
30MIN	22,46	0,02	863,54	1,46
1H	17,65	0,02	863,56	1,44
2H	13,61	0,05	863,59	1,41
3H	10,90	0,07	863,60	1,40
4H	9,14	0,08	863,62	1,38
6H	7,00	0,10	863,63	1,37
8H	5,73	0,12	863,65	1,35
10H	4,88	0,13	863,66	1,34
12H	4,26	0,14	863,66	1,34
18H	3,14	0,16	863,68	1,32
1DIA	2,51	0,17	863,68	1,32
2DIA	1,71	0,26	863,73	1,27
3DIA	1,29	0,28	863,75	1,25
5DIA	0,93	0,32	863,77	1,23
7DIA	0,85	0,40	863,80	1,20

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 92/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Duração	Vazão (m³/s)		Elevação (m)	Borda Livre (m)
	Afluente	Defluente		
10DIA	0,65	0,37	863,79	1,21
15DIA	0,48	0,34	863,77	1,23
20DIA	0,42	0,34	863,77	1,23
30DIA	0,37	0,33	863,77	1,23

Tabela 10.3.2.1.2 – Síntese dos resultados do reservatório do Backfill

Barragem 2: Dique Inicial – TR = 10.000 anos	
Duração crítica (dias)	7
Precipitação referente ao evento crítico (mm)	491
Vazão Afluente (m³/s)	0,85
Vazão Máxima Defluente (m³/s)	0,40
Cota da Soleira (m)	863,50
Sobrelevação Máxima do Nível de Água (m)	863,80
Cota do Coroamento (m)	865,00
Borda livre resultante (m)	1,20

De acordo com os resultados explicitados, o vertedouro do reservatório do Backfill apresenta as seguintes dimensões:

Tabela 10.3.2.1.3 – Extravador do reservatório do Backfill

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

Salienta-se que a contribuição desta estrutura ao extravasor da Barragem de Rejeitos 2 não provoca nenhum prejuízo à estrutura, uma vez que esta possui de capacidade de condução das vazões de pico das duas estruturas somadas.

10.3.3 Sistema de Drenagem superficial da Barragem 2

O sistema de drenagem superficial tem por objetivo coletar as águas provenientes do escoamento superficial sobre o talude de jusante e crista do maciço da Barragem 2 e conduzi-las, de forma ordenada, até o sump localizado a jusante, evitando o desenvolvimento de processos erosivos. O sistema proposto é constituído basicamente pelas seguintes estruturas:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 93/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	

Canaletas de drenagem nas bermas, cuja função hidráulica será de conduzir os escoamentos superficiais provenientes das bancadas da barragem até as descidas de água e/ou aos canais periféricos;

Descidas de água sobre os taludes, responsáveis por coletar os escoamentos provenientes das bermas, destinando-os aos canais periféricos;

Canais periféricos de coleta e condução de águas superficiais, tendo como objetivo coletar o escoamento proveniente das bermas, descidas de água e áreas adjacentes, descartando-os juntos aos sumps. Os canais periféricos serão concebidos com perfil longitudinal em degraus onde a topografia possuir altas declividades, de forma a auxiliar na dissipação da energia do fluxo de água;

Sumps, concebidos com a função de contenção de sedimentos. Vale ressaltar que o SUMP-03, localizado no talvegue a jusante da barragem, receberá toda a contribuição da drenagem superficial da barragem, a qual deverá ser bombeada para que não atinja a cavidade existente logo a jusante.

O arranjo geral do sistema de drenagem superficial da Barragem 2 (etapa final) está apresentado no desenho MINA_BLC8007-1010-O-0080.

10.3.3.1 Dimensionamento Hidráulico dos Dispositivos de Drenagem Superficial

As estruturas do sistema de drenagem foram dimensionadas para o escoamento das vazões de pico, apresentadas na Tabela 10.2.2.1, considerando o regime permanente e uniforme.

Os cálculos para o dimensionamento hidráulico dos canais em calha lisa que não possuem estruturas de contenção a montante, a saber canaletas de berma e canais periféricos CP-01-I e CP-02-I, foram efetuados empregando a equação de Manning (apresentada na sequência) considerando-se como premissa uma borda livre de, no mínimo, 30% da altura da lâmina de água calculada.

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

Equação 10.3.3.1.1

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 94/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Onde:

Q: vazão (m³/s);

n: coeficiente de rugosidade de Manning, adotado 0,018 (concreto);

A: área molhada (m²);

Rh: raio hidráulico da seção molhada (m);

I: declividade longitudinal (m/m).

Para os dispositivos localizados a jusante dos sumps, a saber canais periféricos CP-01-II, CP-01-III, CP-02-II e CP-02-III, o dimensionamento foi realizado pela equação de emboque de canal.

A Tabela 10.3.3.1.1 apresenta a síntese do dimensionamento hidráulico das estruturas em calha lisa.

Tabela 10.3.3.1.1 – Síntese do dimensionamento hidráulico dos canais do sistema de drenagem superficial

Estrutura	Q (m ³ /s)	Base (m)	Altura Parede (m)	Declividade Mínima (%)	Profundidade máxima (m)	Borda livre mínima (m)
Berma	0,15	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25
CP-01-I	3,75	2,00	1,00	1,00	0,63	0,37
CP-01-II	5,99	2,50	1,50	-	1,35	0,15
CP-01-III	8,97	3,50	1,50	-	1,41	0,09
CP-02-I	0,29	1,00	0,50	1,00	0,19	0,31
CP-02-II	1,69	1,50	1,00	-	0,81	0,19
CP-02-III	3,63	2,50	1,00	-	0,96	0,04

As descidas de água foram dimensionadas segundo formulações e critérios apresentados por OHTSU, YASUDA e TAKAHASHI (2004) para o regime tipo Skimming Flow, que corresponde a escoamento deslizante sobre vórtices. Destaca-se que a altura das paredes nestes trechos foi majorada em 40% para confirmar a “espuma” gerada pelo escoamento aerado. Os dimensionamentos obtidos são apresentados na Tabela 10.3.3.1.2.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 95/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 10.3.3.1.2 – Síntese do dimensionamento hidráulico das descidas de água do sistema de drenagem superficial

Estrutura	Q (m³/s)	Base (m)	Altura Parede (m)	Altura do Degrau (m)	Profundidade Aerada (m)	Borda Livre (m)	Velocidade Final (m/s)
D-01	1,36	1,00	1,00	0,50	0,34	0,66	6,50
D-02	1,89	1,00	1,00	0,50	0,43	0,57	7,24
D-03	2,59	1,00	1,00	0,50	0,52	0,48	8,05
D-04	1,73	1,00	1,00	0,50	0,40	0,60	7,03
D-05	0,90	1,00	1,00	0,30	0,26	0,74	5,67

Os dimensionamentos hidráulicos dos *sumps*, bem como da vazão a ser bombeada no SUMP-03 deverão ser realizados nas próximas fases do projeto, quando da implantação dos canais periféricos e descidas de água e, conseqüentemente, do conhecimento das variáveis necessárias para o cálculo dos referidos dispositivos.

10.4 BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM 2

Neste item é apresentado o estudo do balanço hídrico do reservatório da Barragem 2, tendo como finalidade prever/avaliar o comportamento do nível de água e o regime de operação do reservatório, verificar o funcionamento do sistema de captação de água e prever a ocupação da praia de rejeitos.

Especificamente, os trabalhos consistiram na elaboração do modelo matemático do balanço hídrico mensal considerando os cenários de disposição de rejeitos elaborados para a barragem na etapa inicial (El. 890,00m) e na etapa final (El. 915,00m), a partir dos dados disponíveis e critérios e premissas de projeto.

10.4.1 PREMISSAS E CRITÉRIOS

Para elaboração dos estudos foram observadas as seguintes premissas e critérios:

- Balanço hídrico desenvolvido com o auxílio do software Goldsim Technology Group LCC;
- Simulação realizada considerando intervalo de tempo mensal;

 <p>SAM Sul Americana de Metais SA</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 96/136</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

- Classificação dos resíduos sólidos segundo a Norma ABNT/NBR 10.004/2004: Resíduo Classe IIB - Não perigoso e inerte;
- Vida útil do projeto de 13 anos;
- Início do período de enchimento da Barragem 2 no mês de outubro do ANO -1 de operação do empreendimento;
- Início do período de operação da Barragem 2 no mês de janeiro do ANO 1 de operação do empreendimento;
- Disponibilidade de operação da planta de beneficiamento durante 100% das horas no ano (8760 horas/ano);
- Volume total de rejeitos a ser disposto na barragem de aproximadamente 217,49 Mm³;
- O valor anual de água liberada pelos rejeitos foi fornecido pela SAM em 04/09/18, e equivale a 674 m³/h;
- Barragem inicial na El. 890,00 m, que deverá atender até o terceiro ano de operação da barragem, seguida de um alteamento contínuo até a El. 915,00 m no décimo terceiro ano de operação da barragem;
- Vazão percolada pelo sistema de drenagem interna do maciço e pela fundação de 40 m³/h do início até o final de operação;
- Cota da soleira do vertedouro posicionada a 2,00 m abaixo da crista da barragem, em todas as etapas, ou seja, na El. 888,00m na etapa inicial e na El. 913,00 m, na etapa final;
- Taxa de assoreamento do reservatório igual a 10,00 m³/ha/ano, considerando os sedimentos provenientes da área da bacia hidrográfica de contribuição;
- Curvas cota x área x volume obtidas dos cenários de disposição de rejeitos para as El. 890,00 m e 915,00 m;
- Nível de água mínimo operativo do sistema de captação correspondente a uma lâmina de água de 2,00 m acima do rejeito e sedimentos depositados.
- Minimização das operações de vertimento da barragem de rejeitos visando o maior reaproveitamento de água para o empreendimento.

10.4.2 METODOLOGIA

A operação simulada do reservatório foi realizada a partir da aplicação da equação do balanço hídrico entre afluências e defluências médias mensais, a saber:

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 97/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

$$\Delta V / \Delta t = \{ [P_{DIRETA} + Q_{AFLUENTE} + Q_{REJEITO}] - [Q_{RETIDA} + Q_{PERCOLADA} + E_{REAL} + Q_{RECIRCULADA} + Q_{VERTIDA}] \}$$

Onde:

$\Delta V / \Delta t$: corresponde à variação do volume no intervalo de tempo.

P_{DIRETA} : Precipitação total mensal sobre a superfície do espelho de água formado pelo reservatório. A série de precipitações utilizadas no estudo foi obtida a partir de dados consistidos de altura de chuva diária da Estação Grão Mogol (período de 1973 a 2018, tendo sido excluído os anos 1975 e 1990 por possuírem falhas e o ano de 2018 por estar incompleto), pertencente a Agência Nacional de Águas. Os dados de precipitação médios mensais estão apresentados na Tabela 10.4.2.1.

Tabela 10.4.2.1 – Totais Mensais de Precipitação (mm)

Valores (mm)											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
162,56	99,19	136,62	45,38	13,62	5,29	5,64	5,51	16,34	90,56	209,6	226,62

$Q_{AFLUENTE}$: Vazão natural da bacia de contribuição afluyente ao reservatório. Os valores utilizados foram referentes à série de precipitações mensais consolidada na área do Projeto Bloco 8 transformada em vazão através do coeficiente de escoamento superficial, adotado igual a 0,25, e a área de drenagem da bacia de contribuição (9,3 km²).

$Q_{REJEITO}$: Volume de água presente na polpa de rejeitos.

Q_{RETIDA} : Vazão retida nos espaços vazios existentes nos rejeitos.

$Q_{PERCOLADA}$: Vazão percolada pelo sistema de drenagem interna do maciço e da fundação da barragem de 40 m³/h.

E_{REAL} : Evaporação real incidente no espelho d'água do reservatório. Foram utilizados os dados diários da estação meteorológica Montes Claros operada pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. As normais mensais de evaporação estão apresentadas na Tabela 10.4.2.2.

Tabela 10.4.2.2 – Totais Mensais de Evaporação (mm)

Valores (mm)											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
136,05	97,40	87,50	94,5	94,65	104,2	97,6	97,45	101,8	120,95	152,85	165,05

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 98/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

$Q_{\text{RECIRCULADA}}$: vazão de água que será recirculada para atender a demanda requerida pelo processo de beneficiamento do minério. Corresponde a vazão de água livre na polpa dos rejeitos, somada à vazão de água regularizada.

$Q_{\text{VERTIMENTO}}$: Vazão vertida pelo sistema extravasor da barragem.

Na Figura 10.4.2.1 são apresentadas, de forma esquemática, as variáveis de entrada e saída de água, utilizadas na equação do balanço hídrico.

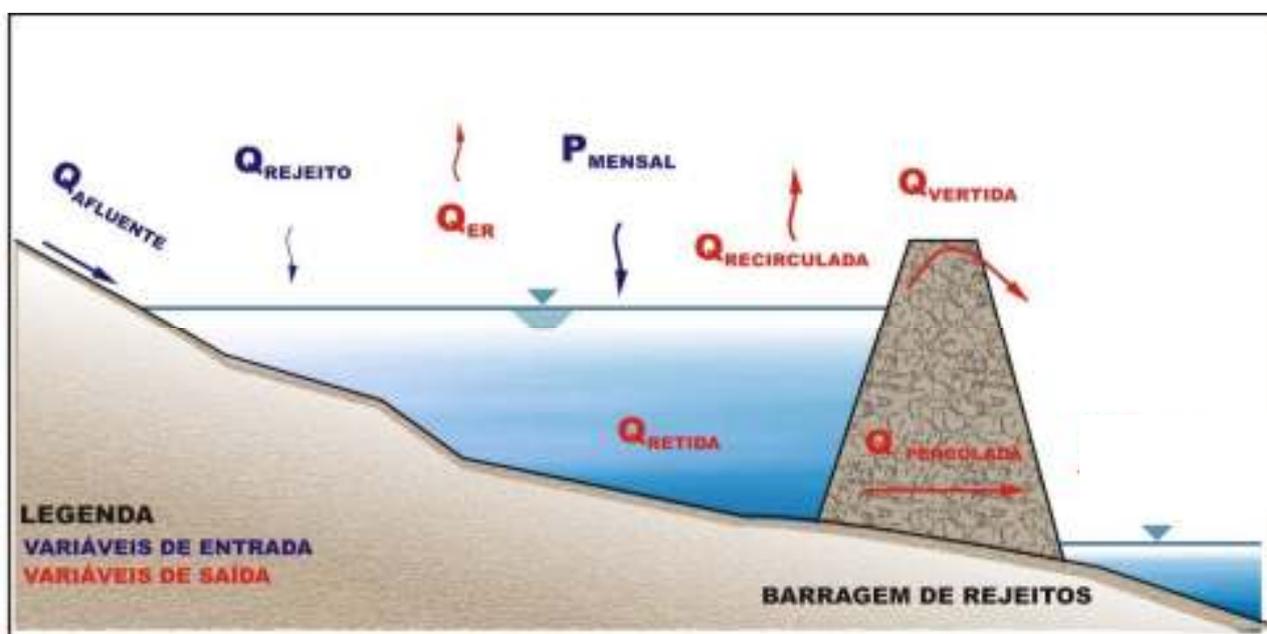


Figura 10.4.2.1 - Representação Esquemática do Balanço Hídrico do Reservatório da Barragem de Rejeitos 2.

Sistemática da Simulação

A simulação do balanço hídrico do reservatório da Barragem 2, considerando as variáveis de entrada e saída de água apresentadas acima, foi realizada com o auxílio do programa computacional Goldsim.

O programa GoldSim é um ambiente gráfico especialmente elaborado para permitir a montagem de modelos de simulação de processos dinâmicos, com elementos especializados e pré-definidos para representar estruturas, como, por exemplo, barragens.

As simulações do balanço hídrico, considerando o tempo de operação da Barragem 2 de 13 anos, foram realizadas a partir de uma média móvel dos dados da série de vazões médias mensais (1973

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 99/136
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

a 2018 - 43 anos). Vale ressaltar que os anos 1975, 1990 e 2018 foram excluídos da simulação por apresentarem falhas e/ou incompletos, justificando os 43 anos de simulação. Desta forma, a primeira simulação considerou o período da série de 1973 a 1986 (13 anos de operação da barragem), a segunda considerou o período de 1974 a 1987, e, assim sucessivamente, resultando em 43 simulações.

Na apresentação dos resultados, foram considerados três possíveis cenários:

- Cenário médio: média dos resultados das 43 simulações;
- Cenário máximo: simulação que apresenta a maior disponibilidade de água dentre as 43 simulações;
- Cenário mínimo: simulação que apresenta a menor disponibilidade de água para recirculação dentre as 43 simulações.

10.4.3 RESULTADOS

Os resultados obtidos das operações simuladas encontram-se sintetizados a seguir.

No balanço hídrico do reservatório da Barragem 2, a vazão de água bombeada durante o período de operação correspondeu a vazão de água livre dos rejeitos somada a vazão regularizada pelo reservatório (água nova). Ressalta-se que na simulação do balanço hídrico, foi considerada a captação durante 24 horas/dia.

A vazão máxima de água nova no reservatório sem deplecionamento do reservatório abaixo do nível de água mínimo operativo de 2,0 metros (que representa o volume necessário para a realização do bombeamento), considerando a série histórica de dados, foi de 85 m³/h.

Na Figura 10.4.3.1 são apresentadas as vazões captadas/recirculadas no reservatório da Barragem 2, ao longo da vida útil do referido barramento, na qual pode-se observar a captação contínua (constante) da vazão de água nova e recirculada (vazão de água livre dos rejeitos), ou seja, a não ocorrência falhas no sistema de bombeamento durante todo o período de operação da barragem. Vale mencionar que a vazão bombeada (água livre e água regularizada) deverá iniciar a partir do terceiro mês de enchimento da barragem, ou seja, considerando-se que o início do período de

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 100/13 6
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

enchimento da Barragem 2 será em outubro do ano -1, a captação na Barragem 2 deverá iniciar no começo de janeiro do ANO 1.

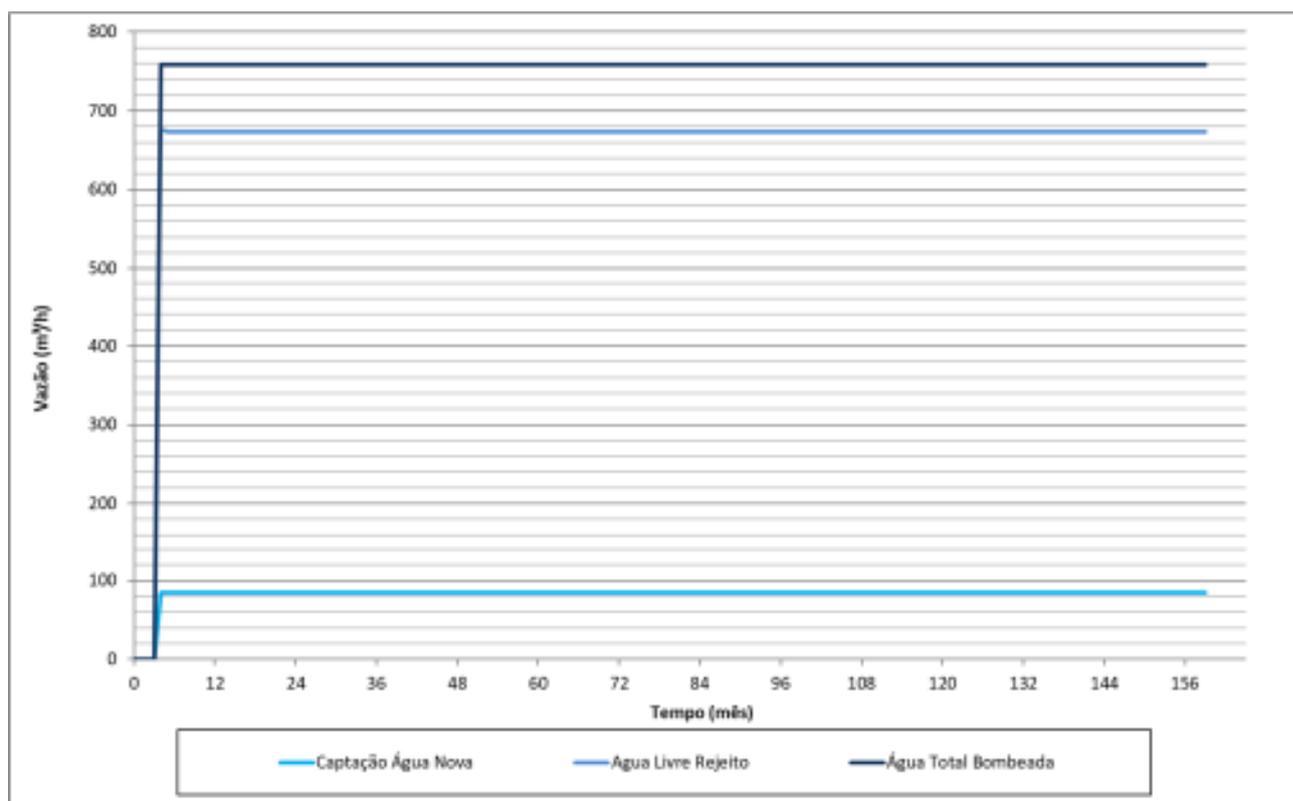


Figura 10.4.3.1 – Vazões Bombeadas no Reservatório da Barragem 2.

A Figura 10.4.3.2 ilustra a variação do nível de água do reservatório ao longo do período simulado, considerando os 13 anos de operação da Barragem 2. O nível de água máximo atinge a soleira do vertedouro a partir do 154º mês de simulação (julho do ANO 13) da barragem final, ocorrendo vertimentos.

Ainda na Figura 10.4.3.2 pode-se verificar que para o cenário mais crítico (cenário mínimo), o nível de água do reservatório não atinge o nível de água necessário para o bombeamento (NA mínimo Operativo), indicando a possibilidade de recircular vazão de 759 m³/h durante todo o período de operação da Barragem 2, sem a ocorrência de falha no sistema de captação.

O nível de água mínimo operativo corresponde a uma lâmina de água de 2,00 m acima dos rejeitos e sedimentos depositados. A manutenção desse “calado” faz-se necessária para garantir o

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
101/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

funcionamento adequado dos conjuntos moto-bombas e também servir como um “volume de detenção”, auxiliando na sedimentação dos rejeitos e sedimentos provenientes da bacia hidrográfica.

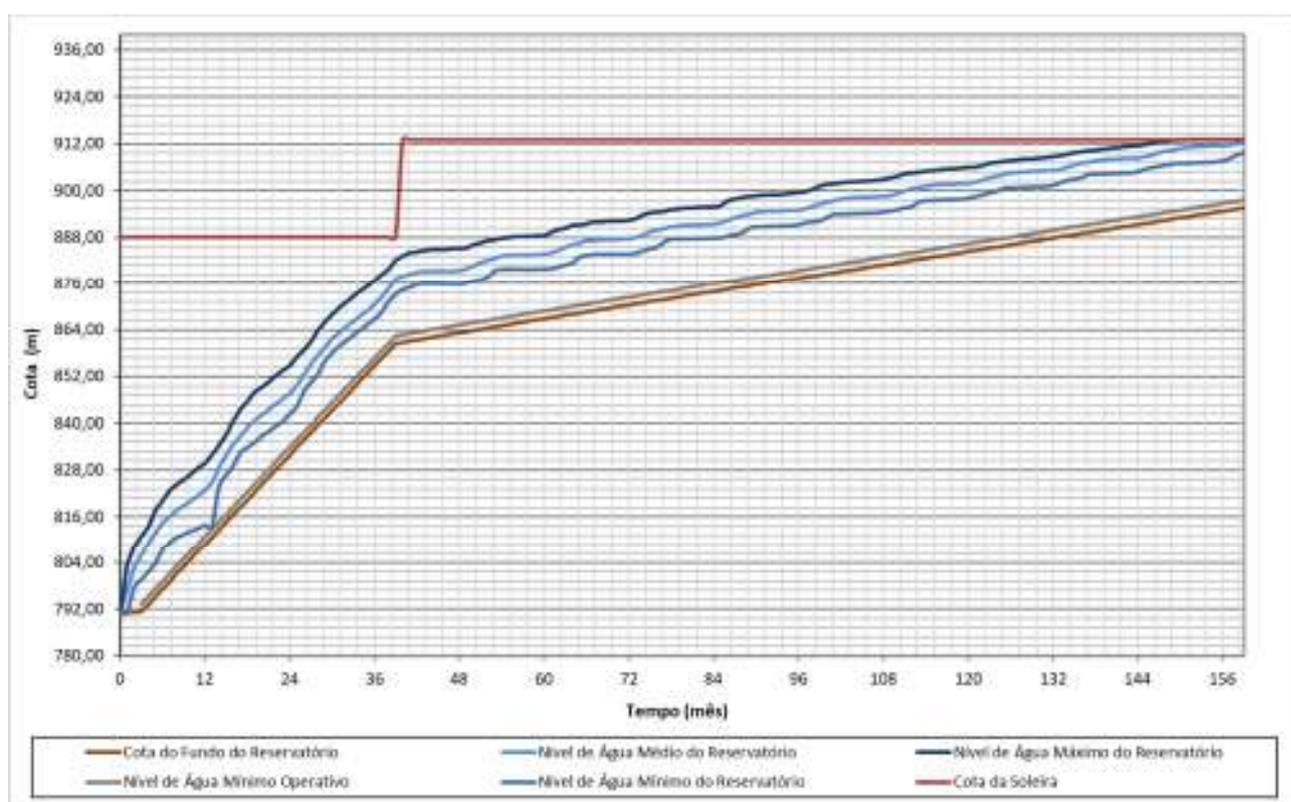


Figura 10.4.3.2 - Variação dos Níveis de Água no Reservatório.

Na Figura 10.4.3.3 é possível verificar a frequência de vertimentos e as suas respectivas vazões durante a vida útil da barragem. Conforme já comentado, foram observados vertimentos somente nos últimos meses de operação da barragem final.

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
102/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

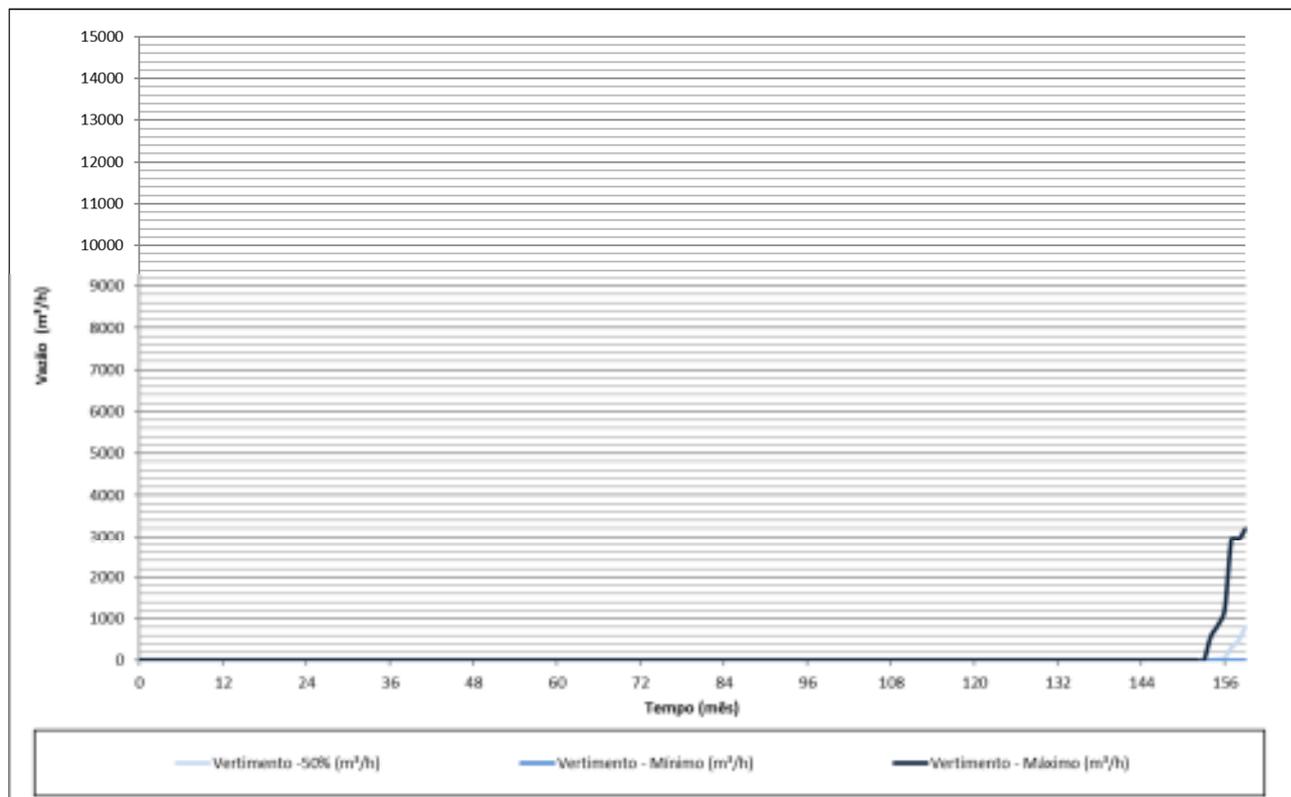


Figura 10.4.3.3 – Vertimentos do Reservatório ao Longo do Período Simulado

Como complemento dos resultados, na Tabela 10.4.3.1, estão apresentados os valores médios, das variáveis de entrada e saída do balanço hídrico do reservatório da barragem de rejeitos, para todo o período simulado (159 meses).

Tabela 10.4.3.1 – Resultados do Balanço Hídrico Médio Mensal

Entrada (m³/h)			Saídas (m³/h)				Resultado Balanço Hídrico (m³/h)
P _{DIRETA}	Q _{AFLUENTE}	Q _{ÁGUA LIVRE}	Q _{PERCOLADA}	E _{DIRETA}	Q _{RECIRCULADA}	Q _{VERTIDA}	
105,25	250,38	657,15	40,00	138,79	740,03	10,84	83,11

De acordo com os resultados apresentados, verifica-se que o balanço hídrico do reservatório da Barragem 2 é positivo, com incremento final médio de 83,11 m³/h. Entretanto, de acordo com os resultados das simulações realizadas considerando o cenário mais crítico (cenário mínimo), não foi possível aumentar a vazão de recirculação durante o período sem que ocorressem falhas no sistema de captação.

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 103/13 6
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

11.0 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Para subsidiar os estudos dos projetos básico e executivo da Barragem 2 será proposta, em uma etapa posterior, uma campanha de investigações geológico-geotécnicas. A partir desta será possível caracterizar a fundação da área de implantação da barragem e também das possíveis áreas de empréstimo.

Com os resultados será possível validar os parâmetros de resistência adotados nas análises de estabilidade.

12.0 PLANO DE MONITORAMENTO

O plano de monitoramento geotécnico consiste no monitoramento visual e por instalação de instrumentos visando acompanhar possíveis mudanças nas condições de estabilidade da barragem ao longo do tempo, em conformidade com as recomendações apresentadas no subitem a seguir.

12.1 PLANO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

O plano de monitoramento e instrumentação para a o Sistema de Disposição de Rejeitos do Projeto Bloco 8 foi concebido com o objetivo de gerar informações para avaliação tanto da estabilidade da estrutura quanto de possíveis danos no maciço. Em barragens construídas com rejeitos, o monitoramento por instrumentos é fundamental para o controle da percolação no interior do maciço com vistas a manutenção das condições estabelecidas em projeto.

O monitoramento contínuo desde o dique de partida até o último alteamento 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.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 104/13 6</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

12.2 MONITORAMENTO VISUAL

O plano de monitoramento visual proposto consiste na inspeção local da barragem 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;
- Verificação das estruturas de drenagem, buscando identificar processos erosivos, pontos de assoreamento e pontos com possível deficiência no revestimento.

12.3 MONITORAMENTO POR INSTRUMENTOS

A instrumentação tem como objetivo avaliar o comportamento e as condições de segurança do sistema de disposição de rejeitos no que diz respeito aos aspectos da segurança estrutural do maciço, durante a 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 maciço da barragem devido a possíveis problemas no sistema de drenagem interna, pressões desenvolvidas na fundação 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 barragem e dos diques serão:

- 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;

 Sul Americana de Metais SA		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 105/13 6
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

- Medidor de nível de água: instalado no aterro da barragem, 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 do sistema de drenagem interna, para conhecimento da vazão percolada pelo maciço da barragem.
- Piezômetro tipo Casagrande (tubo aberto): instalado na fundação da barragem para conhecimento e avaliação das poropressões desenvolvidas devido ao crescimento da barragem.

Os medidores de nível d'água e piezômetros do tipo Casagrande deverão ser executados nos pontos designados logo após a formação definitiva dos taludes e bermas. O mesmo acontece para os marcos superficiais.

A barragem construída continuamente pelo estéril exigirá o consequente alteamento dos instrumentos. Os piezômetros do tipo Casagrande e medidores de nível d'água serão alteados por meio de instalação de tubos de aço perfurados. Para estes, à medida que a barragem for alteada, as áreas dos piezômetros Casagrande devem estar protegidas em seu entorno e a compactação dessa região deverá ser manual com compactador tipo sapo. Desse modo será garantida a integridade do instrumento e a possibilidade de medidas constantes durante a construção da barragem.

A Tabela 12.3.1 e Tabela 12.3.2 apresentam as coordenadas de localização dos instrumentos programados para serem instalados em cada etapa, inicial e final, respectivamente.

Tabela 12.3.1 – Localização dos Instrumentos – Etapa Inicial.

Etapa Inicial					
Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
Barragem Principal	Medidor de Nível D'água	MNA-01	740.731,06	8.203.029,16	870,00
		MNA-02	740.601,73	8.203.435,90	890,00
		MNA-03	740.646,91	8.203.461,61	870,00
		MNA-04	740.692,12	8.203.487,33	850,00
		MNA-05	740.403,84	8.203.783,78	890,00
		MNA-06	740.449,16	8.203.809,29	870,00
		MNA-07	740.494,36	8.203.835,00	850,00

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
106/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01**Etapa Inicial**

Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo		
			E	N	(m)		
		MNA-08	740.539,53	8.203.860,77	830,00		
		MNA-09	740.584,76	8.203.886,42	810,00		
		MNA-10	740.629,95	8.203.912,13	790,00		
		MNA-11	740.319,58	8.204.158,15	890,00		
		MNA-12	740.371,30	8.204.163,33	870,00		
		MNA-13	740.423,15	8.204.167,58	850,00		
		MNA-14	740.475,25	8.204.168,88	830,00		
		MNA-15	740.268,90	8.204.613,51	890,00		
		Dique Industrial		MNA-16	739.183,86	8.202.593,57	915,00
				MNA-17	739.183,86	8.202.527,83	900,00
				MNA-18	739.770,23	8.202.593,57	915,00
				MNA-19	739.770,23	8.202.547,91	900,00
				MNA-20	739.997,89	8.202.593,57	915,00
				MNA-21	739.997,89	8.202.547,91	900,00
		Barragem Principal	Marco Superficial	MS-01	740.678,97	8.203.036,56	890,00
MS-02	740.730,96			8.203.037,31	870,00		
MS-03	740.597,72			8.203.442,99	890,00		
MS-04	740.642,90			8.203.468,69	870,00		
MS-05	740.688,11			8.203.494,41	850,00		
MS-06	740.399,94			8.203.790,68	890,00		
MS-07	740.445,14			8.203.816,40	870,00		
MS-08	740.490,34			8.203.842,10	850,00		
MS-09	740.535,54			8.203.867,81	830,00		
MS-10	740.580,74			8.203.893,52	810,00		
MS-11	740.625,94			8.203.919,23	790,00		
MS-12	740.318,86			8.204.166,27	890,00		
MS-13	740.370,63			8.204.170,98	870,00		
MS-14	740.422,43			8.204.175,70	850,00		
MS-15	740.474,53			8.204.176,99	830,00		
MS-16	740.266,04	8.204.620,74	890,00				
Dique Industrial		MS-17	739.191,88	8.202.593,57	915,00		
		MS-18	739.191,88	8.202.527,83	900,00		
		MS-19	739.778,26	8.202.593,57	915,00		
		MS-20	739.778,26	8.202.547,91	900,00		
		MS-21	740.005,92	8.202.593,57	915,00		
		MS-22	740.005,92	8.202.547,91	900,00		

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
107/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Etapa Inicial					
Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
Barragem Principal	Piezômetro Casagrande	PZC-01	740.678,86	8.203.042,98	890,00
		PZC-02	740.730,85	8.203.043,70	870,00
		PZC-03	740.594,53	8.203.448,56	890,00
		PZC-04	740.639,72	8.203.474,25	870,00
		PZC-05	740.684,93	8.203.499,97	850,00
		PZC-06	740.396,90	8.203.795,99	890,00
		PZC-07	740.441,95	8.203.821,96	870,00
		PZC-08	740.487,15	8.203.847,67	850,00
		PZC-09	740.532,35	8.203.873,38	830,00
		PZC-10	740.577,55	8.203.899,09	810,00
		PZC-11	740.622,75	8.203.924,80	815,00
		PZC-12	740.318,26	8.204.172,66	890,00
		PZC-13	740.369,83	8.204.178,01	870,00
		PZC-14	740.421,83	8.204.182,08	850,00
		PZC-15	740.474,01	8.204.182,50	830,00
		Dique Industrial		PZC-16	740.263,18
PZC-17	739.198,21			8.202.593,57	915,00
PZC-18	739.198,21			8.202.527,83	900,00
PZC-19	739.784,58			8.202.593,57	915,00
PZC-20	739.784,58			8.202.547,91	900,00
PZC-21	740.012,24			8.202.593,57	915,00
PZC-22	740.012,24			8.202.547,91	900,00

Tabela 12.3.2 – Localização dos Instrumentos – Etapa Final

Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
Barragem Principal	Medidor de Nível D'água	MNA-22	740.783,06	8.203.029,92	875,00
		MNA-23	740.835,05	8.203.030,64	855,00
		MNA-24	740.736,76	8.203.514,02	855,00
		MNA-25	740.781,96	8.203.539,74	835,00
		MNA-26	740.675,15	8.203.937,84	795,00
		MNA-27	740.316,84	8.204.633,73	895,00
		MNA-28	740.364,84	8.204.653,76	885,00
Dique de Sela		MNA-29	737.815,28	8.204.062,68	915,00
		MNA-30	738.004,10	8.204.339,18	915,00

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
108/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
		MNA-31	738.701,90	8.204.629,50	915,00
Barragem Principal	Marco Superficial	MS-23	740.685,01	8.202.618,13	915,00
		MS-24	740.782,96	8.203.038,09	875,00
		MS-25	740.834,95	8.203.038,82	855,00
		MS-26	740.733,32	8.203.520,11	855,00
		MS-27	740.778,51	8.203.545,83	835,00
		MS-28	740.671,14	8.203.944,94	795,00
		MS-29	740.313,95	8.204.640,94	895,00
		MS-30	740.361,95	8.204.660,97	20,00
		MS-31	740.095,57	8.204.875,49	915,00
		Dique de Sela	Marco Superficial	MS-32	737.819,65
MS-33	738.010,02			8.204.344,61	915,00
MS-34	738.709,40			8.204.632,34	915,00
Barragem Principal	Piezômetro Casagrande	PZC-23	740.782,85	8.203.044,48	875,00
		PZC-24	740.834,84	8.203.045,21	855,00
		PZC-25	740.730,13	8.203.525,68	855,00
		PZC-26	740.775,33	8.203.551,40	835,00
		PZC-27	740.667,95	8.203.950,51	795,00
		PZC-28	740.311,27	8.204.647,14	895,00
		PZC-29	740.359,27	8.204.667,17	875,00
Dique de Sela	Piezômetro Casagrande	PZC-30	737.823,10	8.204.074,71	915,00
		PZC-31	738.014,68	8.204.348,88	915,00
		PZC-32	738.715,32	8.204.634,58	915,00

Os desenhos de projeto n° MINA_BLC8007-1010-O-0078 e MINA_BLC8007-1010-O-0079 apresentam os detalhes e localização dos instrumentos programados.

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.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 109/13 6
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

13.0 CLASSIFICAÇÃO CONFORME PORTARIA DNPM Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017

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:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m (quinze metros);
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- 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.

Na Tabela 13-1, encontram-se detalhadas as características inerentes a Barragem 2 e os pesos imputados a cada um dos parâmetros de classificação.

Tabela 13-1 – Classificação da Barragem 2 conforme Portaria DNPM

QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Volume Total do Reservatório	5	218.350.000,00
Existência de População à Jusante	5	Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas.
Impacto Ambiental	2	Área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
110/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Impacto Sócio-Econômico	1	Baixa concentração de instalações residenciais
Somatório	13	
QUANTO A CATEGORIA DE RISCO		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Altura	7	132,00 m
Comprimento	3	4.485,76 m
Vazão de Projeto	0	TR = 10.000 anos
Método Construtivo	5	Alteamento por linha de centro
Auscultação	0	Conforme projeto técnico
Somatório	15	
ESTADO DE CONSERVAÇÃO (EC)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	0	Estrutura bem mantida e em operação normal
Percolação	0	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem
Deformações e Recalques	0	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura
Deterioração dos Taludes / Paramentos	0	Não existe deterioração de taludes e paramentos
Somatório	0	
PLANO DE SEGURANÇA (PS)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Documentação de Projeto	8	Há documentação técnica de projeto conceitual
Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem	0	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem
Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento	0	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e inspeção
Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador)	0	Possui PAE
Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança	0	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança
Somatório	8	

 Sul Americana de Metais S/A		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 111/13 6
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

Tabela 13-2 – Resumo da Classificação da Barragem 2

DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES	
Características Técnicas (CT)	15
Estado de Conservação (EC)	0
Plano de Segurança de Barragens (PS)	8
Pontuação Total da Categoria de Risco (CRI)	23
Dano Potencial Associado (DPA)	13
Categoria de Risco	Baixo
Dano Potencial Associado	Alto
Classe	B

Tabela 13-3 – Matriz de Classificação da Barragem 2

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	B	C	E

14.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente relatório foram apresentados os estudos desenvolvidos em nível conceitual para o Sistema de Disposição de Rejeitos do Projeto Bloco 8. Estes estudos objetivaram o dimensionamento das seguintes partes componentes da Barragem 2:

- Dique de Partida;
- Alçamento contínuo do barramento;
- Sistema de drenagem superficial;
- Sistema de drenagem interna;
- Sistema Extravasor;
- Sistema de monitoramento geotécnico.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 112/13 6</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

Dispondo da premissa que a barragem é alteada pelo método de linha de centro com estéril compactado, foi apresentado neste relatório o conceito deste tipo de estrutura, bem como as características desejáveis para o rejeito. Foi explicitado também, que o rejeito da SAM atende aos requisitos para este tipo de barramento.

Os dimensionamentos geotécnicos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos, bem como quantitativos dos serviços deverão ser refinados na fase de projeto detalhado.

Os estudos mostraram que o sistema de disposição de rejeitos pelo método de alteamento por linha de centro tem garantida a segurança hidráulica durante toda a vida útil do projeto, sendo as estruturas dimensionadas em conformidade com as normas vigentes e as boas práticas de engenharia, incluindo a borda livre operacional. Na próxima etapa do projeto deverá ser feito a atualização de acordo com as possíveis mudanças decorrentes das sondagens.

Relacionamos a seguir os principais tópicos que deverão ser avaliados na próxima etapa de projeto, em função de informações adicionais e da própria evolução do empreendimento nos aspectos de lavra, processo e licenciamento ambiental:

- Revisão do balanço de solo, entre uso de estéril e de áreas de empréstimo, para construção dos maciços em função da disponibilidade / antecipação de estéril versus DMT (distância média de transporte para áreas de empréstimo);
- Minimização de riscos de lançamento de água com coloides em suspensão para jusante;
- Granulometria e permeabilidade em areia a ser utilizada nos filtros do dique de partida e tapetes e dos rejeitos fino e grosso;
- Idem densidade seca em estado “solto” e adensado, visando aferição da água liberada pelos rejeitos;
- Na fase próxima de projeto deverão ser definidos os métodos para avançar com a saída dos espigotes sobre a praia de rejeitos, que tem condições precárias de tráfego.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 113/13 6
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01

15.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas (2013). Condutos e Filtros - Notas de aula (em power point) do Eng. David Paul do US Army Corps of Engineers no Workshop – Segurança de Barragens – Brasília.

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

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

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

DUNCAN, J.M. & WRIGHT, S. G. Soil Strength and Slope Stability.

FEMA – Federal Emergency Management Agency (2005). Technical Manual: Conduits through Embankment Dams, 614p.

GAIOTO, N.; Pinça, R. L.; Martins, A.; Pacheco, J. G.; Ciparrone, M. (1981). Galeria de Desvio da barragem de Jacareí: um projeto concebido para admitir grandes deformações. In: XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Recife, 1981.

HUFF, F. A. Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. Water Resources Research, v3, n.4, p. 1007-1019. 1967.

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

ICOLD - International Commission on Large Dams, River Control During Dam Construction, Bulletin 48, Denis, 1984.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 114/13 6</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

MITTAL, H., K.; Morgernstern, N. (1977). Design and Performance of Tailings Dams. Proceedings of ASCE Conference on Geotechnical Practice for Disposal of Solid Waste Materials, ASCE, Reston, 4:475-492.

McCUEM, R.H; WONG, S.L.; RAWLS, W.J. Estimating urban time of concentration. Journal of Hydraulic Engineering, vol 110, n 7, ASCE, 1984.

MORGENSTERN, N.; Vick, S. G.; Viotti, C. B.; Waats, B. - Fundão Tailings Dam Review Panel (2016). Report on the Immediate Causes of Failure of the Fundão Dam.

OHTSU, I.; YASUDA, Y.; TAKAHASHI, M. Flow characteristics of skimming flow in stepped channels. Journal of Hydraulic Engineering, v. 130, p. 860-869, 2004.

OLSON, S. M. (2001). Liquefaction Analysis of Level and Sloping Ground Using Field Case Histories and Penetration Tests. PhD Thesis in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign.

OLSON, S. M. & STARK, T. D. (2003). Yield Strength Ratio and Liquefaction Analysis of Slopes and Embankments. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering – ASCE nº 129:8, 727 – 737.

SILVA, W. P. (2010). Estudo do Potencial de Liquefação Estática de uma Barragem de Rejeito Alteada para Montante Aplicando a Metodologia de Olson (2001). Dissertação de mestrado profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP.

PEREIRA, G, M, Projeto de Usinas Hidrelétricas Passo a Passo, São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 518p,

PETERKA, A. J. Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. Denver, Colorado United States Department of the Interior: BUREAU OF RECLAMATION. 1984.

 <p>SAM Sul Americana de Metais SA</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 115/13 6</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

PINHEIRO, M.C. Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos em Obras de Mineração. Porto Alegre: ABRH, 2011. 308 p.

RUTLEDGE, P.C.; Gould, J.D. (1973). Movements of Articulated Conduits under Earth Dams on Compressible Foundations. In: Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume, John Wiley & Sons, New York.

SARTORI, A. et al. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 10 n.4 Out/Dez 2005.

TUCCI, C.E.M (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Ed da UFRGS/ABRH, 4 ed. 2009.
VALENZUELA, L. (2015). Tailings Dams and Hydraulic Fills-The 2015 casagrande Lecture, XV Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires, 2015.

VERONESE, A, Erosioni de Fondo a Valle di uno Scarico (in Italian), Annali, dei Lavori, Publicci, 1937, 75, 717–726.

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 116/13 6</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

APÊNDICE A

ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
117/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

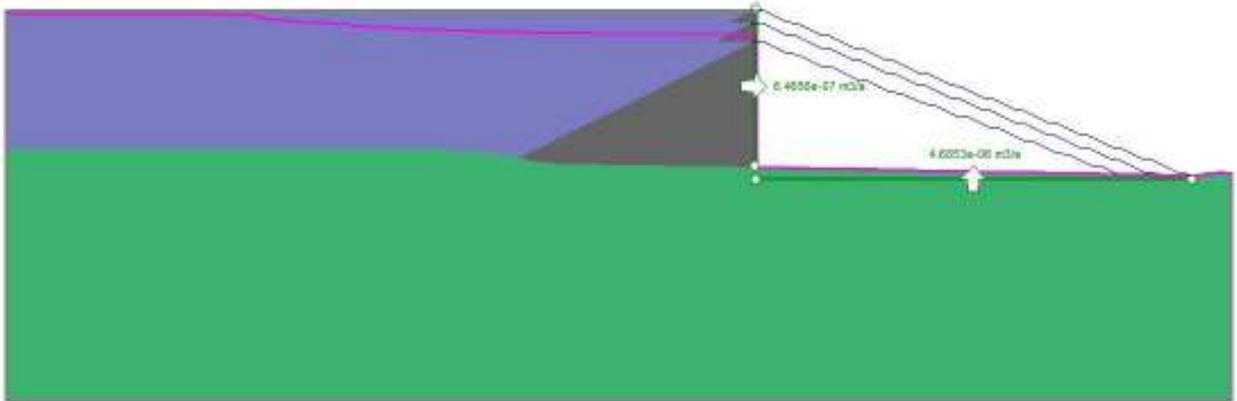


Figura A.1 – Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 915,00) – Seção Central

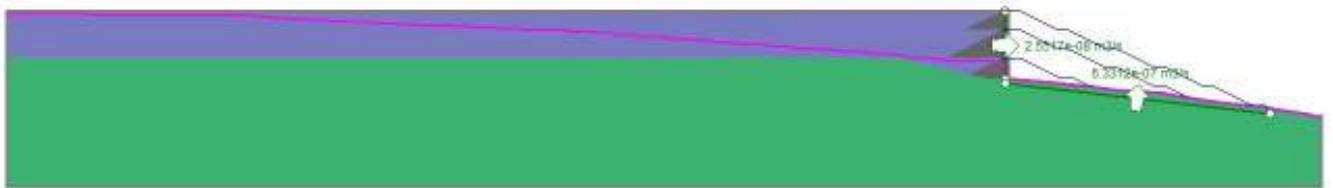


Figura A.2 – Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 915,00) – Seção Ombreira Esquerda



Figura A.3 – Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 915,00) – Seção Ombreira Direita

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
118/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

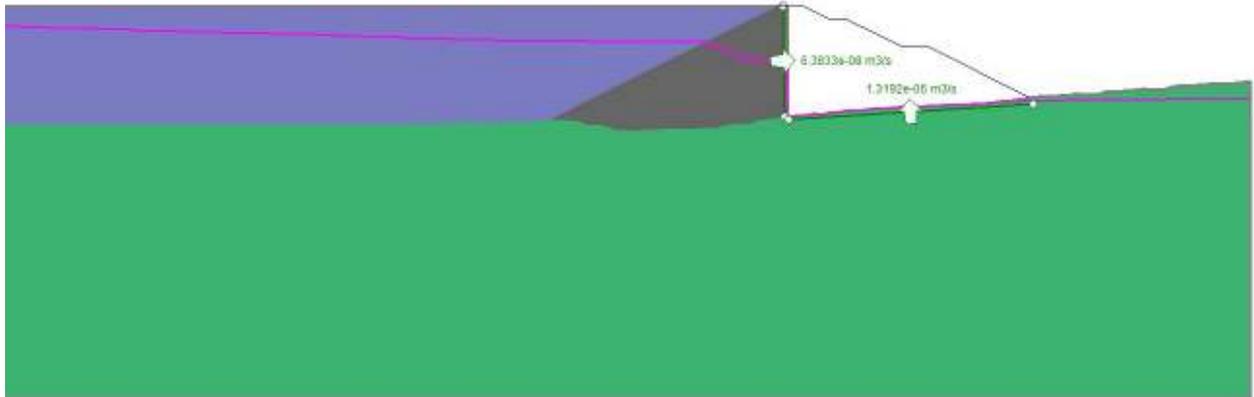


Figura A.4 – Análise de Percolação – Dique Industrial (EL. 915,00) – Seção Central

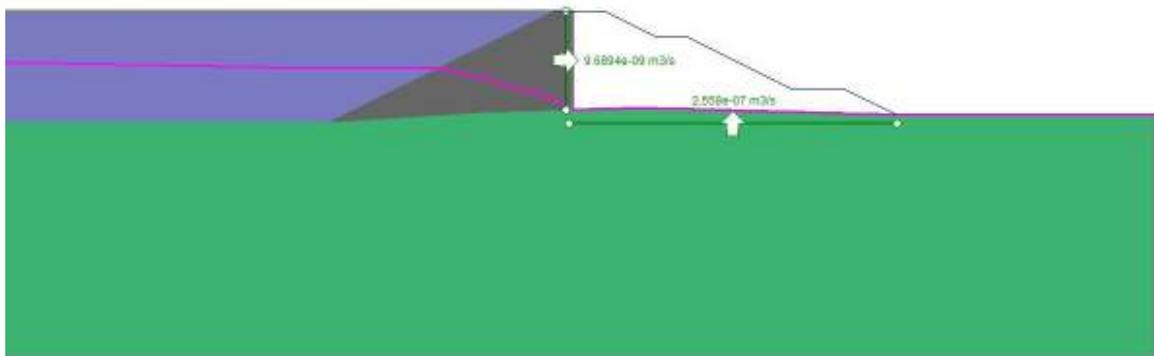


Figura A.5 – Análise de Percolação – Dique Industrial (EL. 915,00) – Seção Ombreira Esquerda

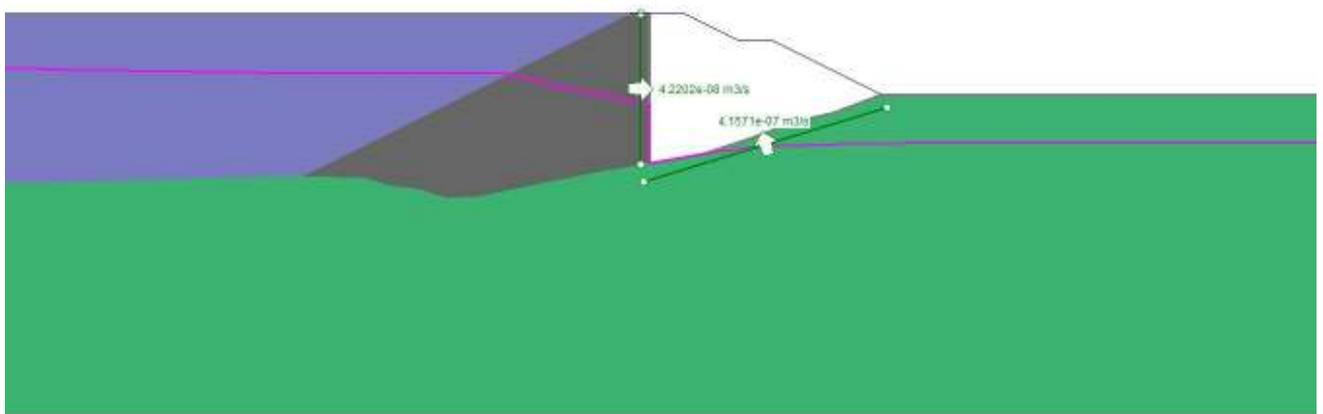


Figura A.6 – Análise de Percolação – Dique Industrial (EL. 915,00) – Seção Ombreira Direita

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
119/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

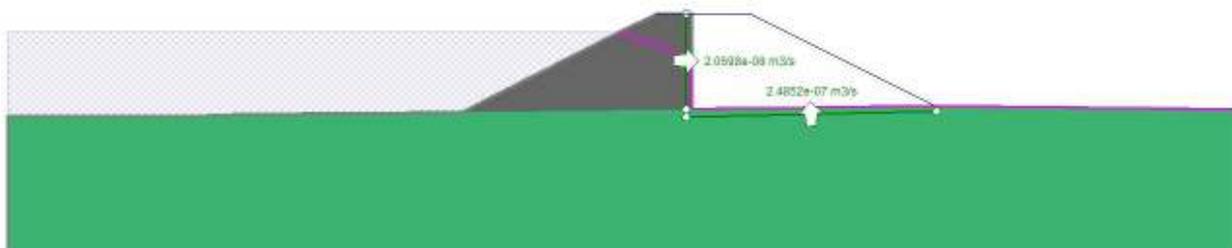


Figura A.7 – Análise de Percolação – Dique de Sela (EL. 915,00) – Seção Central

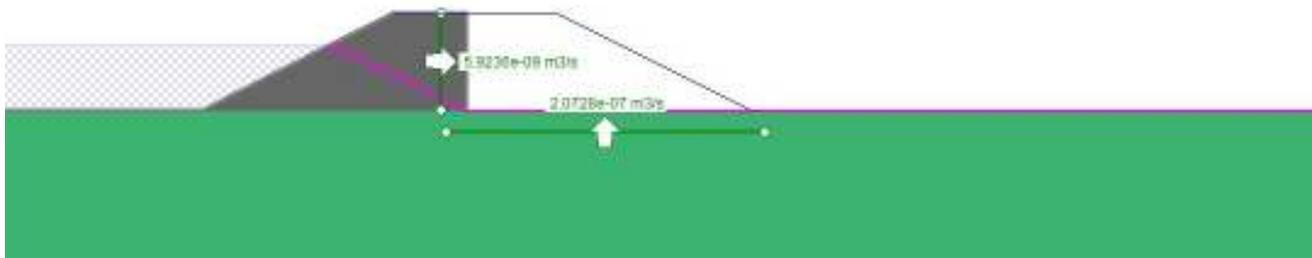


Figura A.8 – Análise de Percolação – Dique de Sela (EL. 915,00) – Seção Ombreira Esquerda

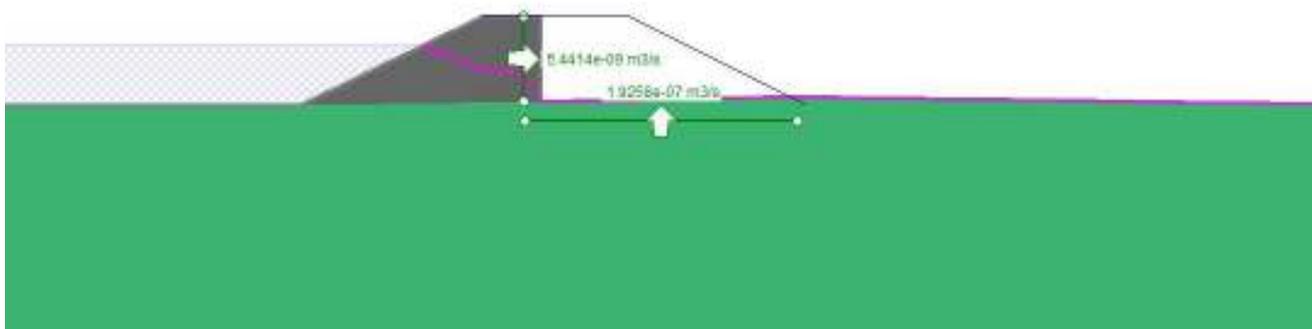


Figura A.9 – Análise de Percolação – Dique de Sela (EL. 915,00) – Seção Ombreira Direita

 <p>SAM Sul Americana de Metais SA</p>	 <p>WALM</p>	<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 120/13 6</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

APÊNDICE B

ANÁLISE DE ESTABILIDADE

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
121/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

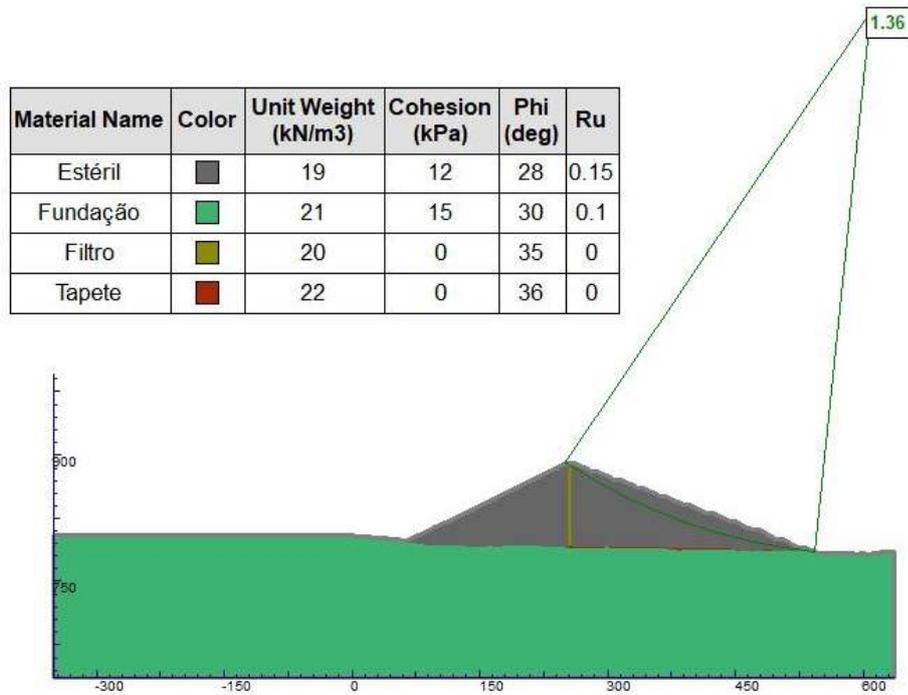


Figura B 1 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Jusante

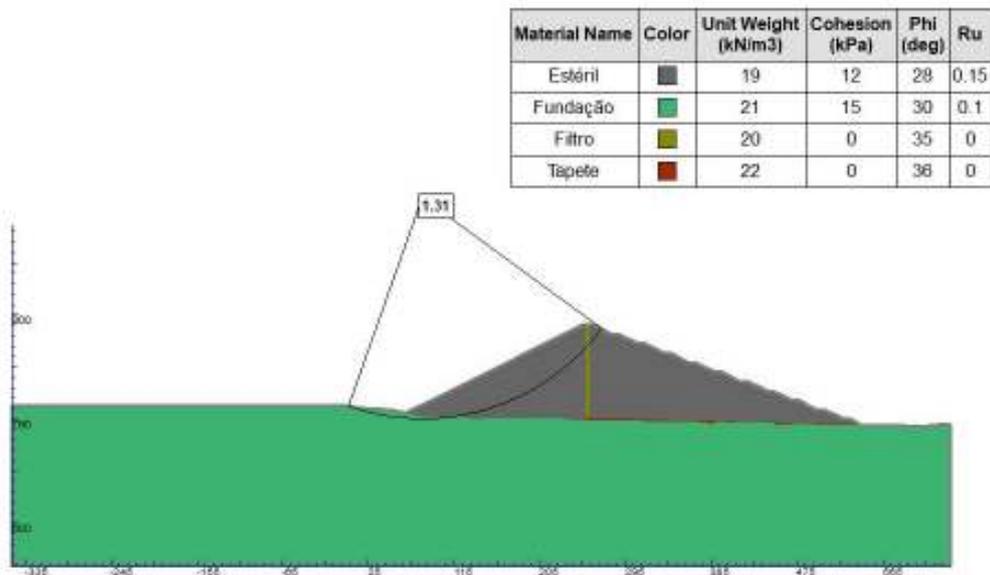


Figura B 2 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Montante

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
122/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

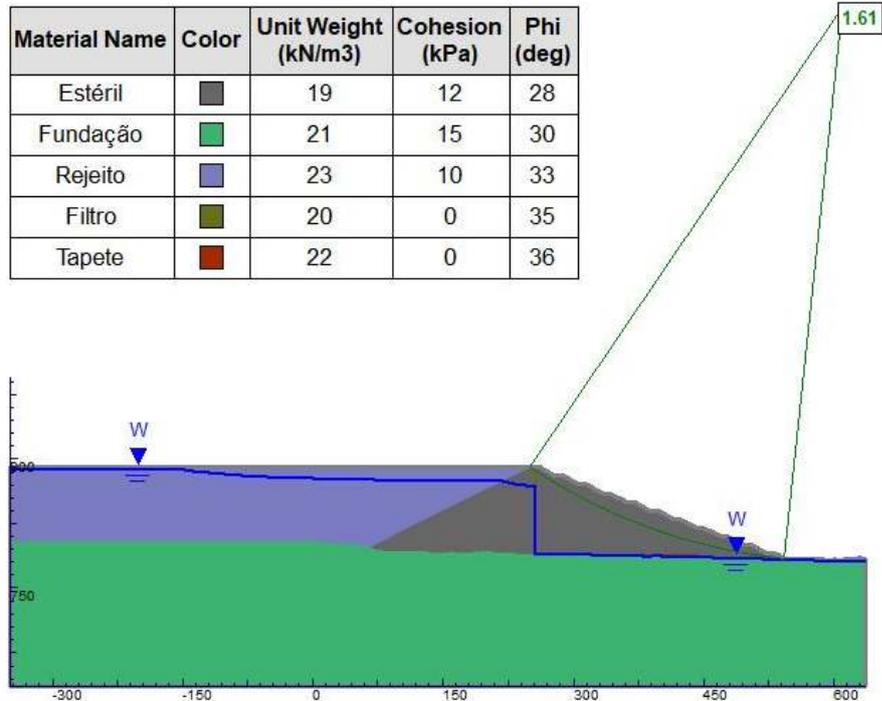


Figura B 3 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

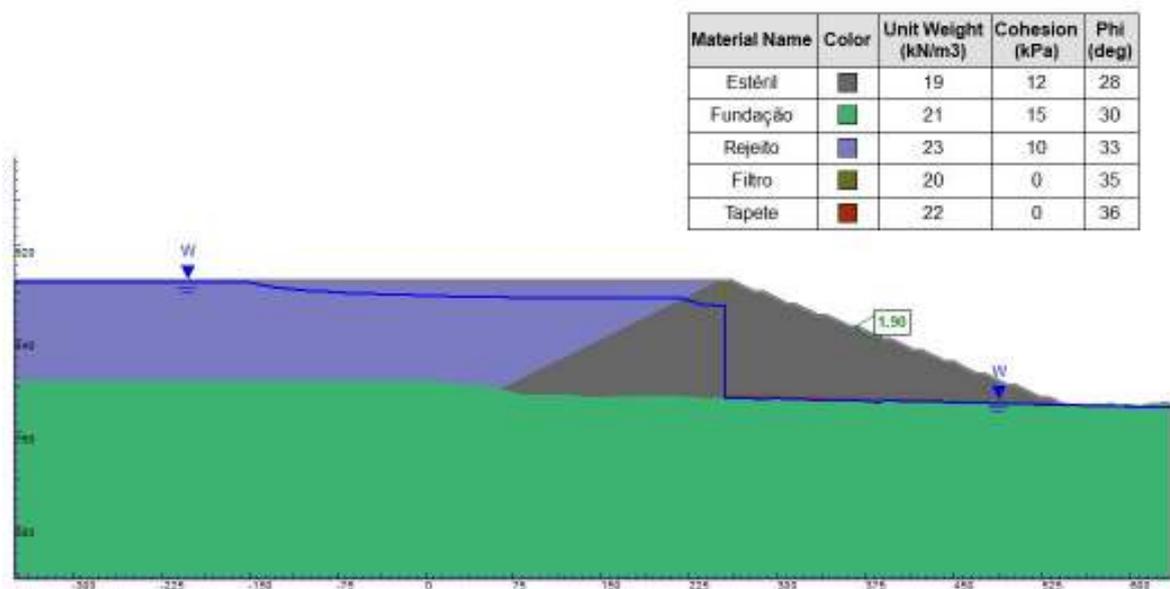


Figura B 4 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Normal – N.A Operacional - Talude Entre Bermas

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
123/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

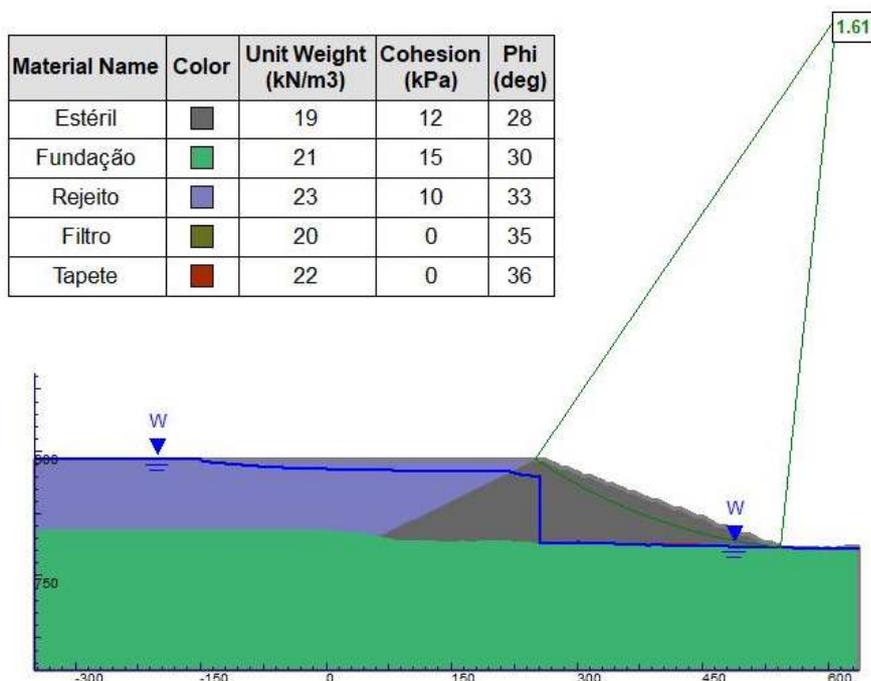


Figura B 5 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Normal – N.A Max Maximorum

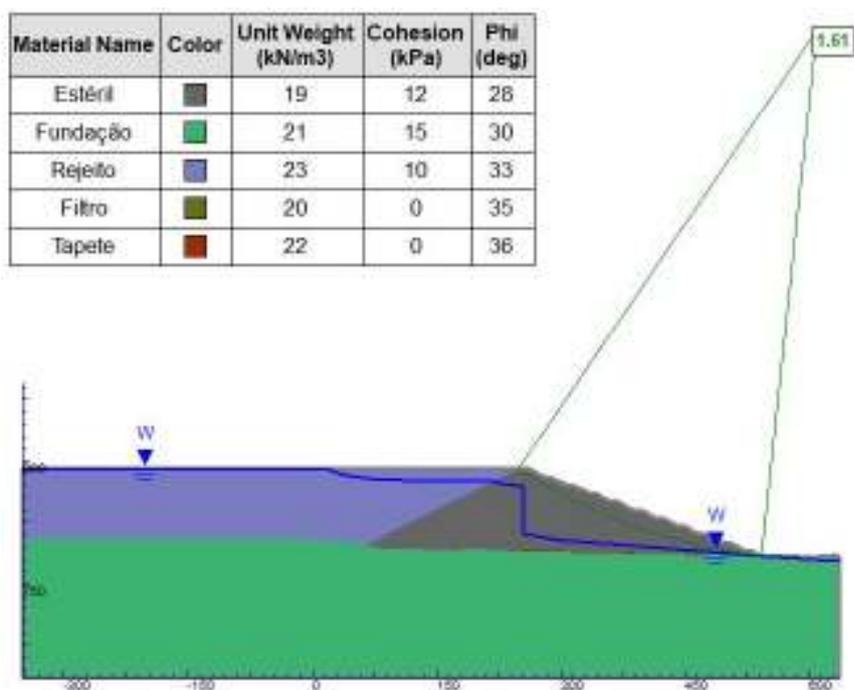


Figura B 6 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
124/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

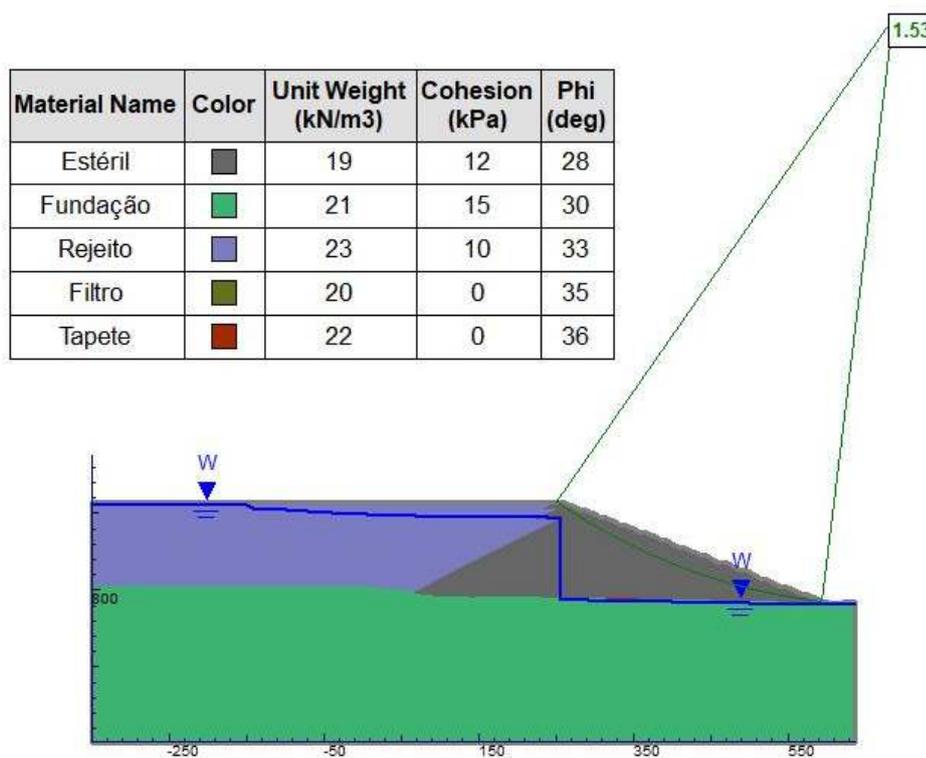


Figura B 7 – Análise de Estabilidade – Barragem Final - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

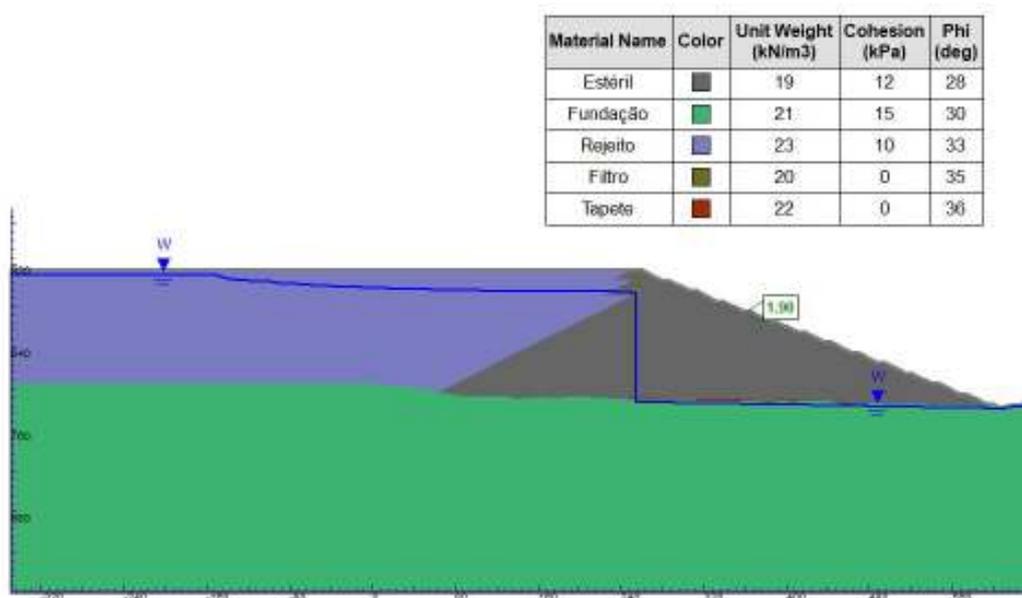


Figura B 8 – Análise de Estabilidade – Barragem Final - Condição Normal – N.A Operacional - Talude Entre Bermas



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
125/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Estéril	■	19	12	28
Fundação	■	21	15	30
Rejeito	■	23	10	33
Filtro	■	20	0	35
Tapete	■	22	0	36

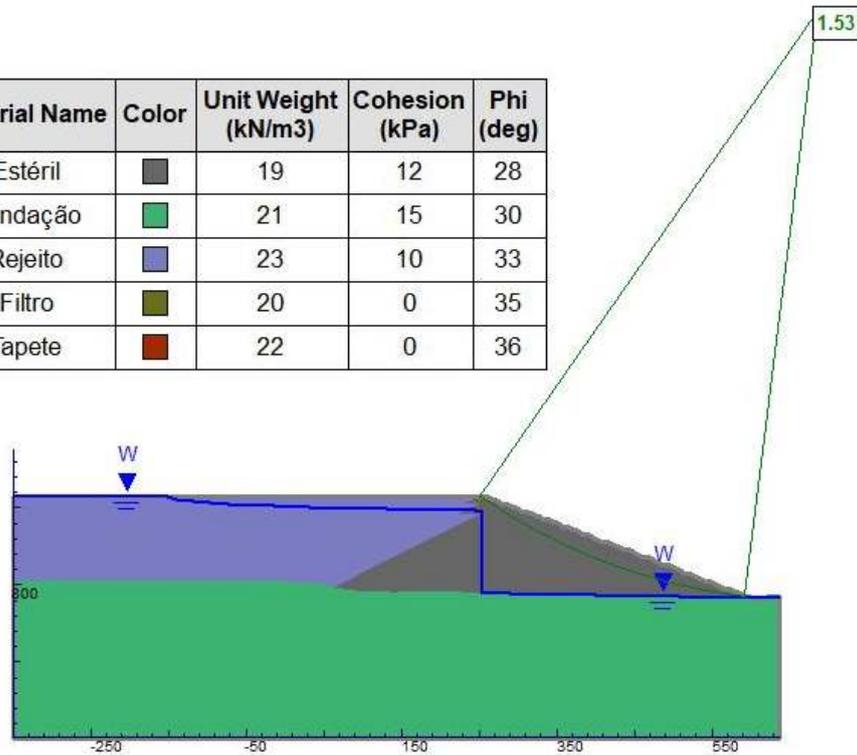


Figura B 9 – Análise de Estabilidade – Barragem Final - Condição Normal – N.A Max Maximorum

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
126/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

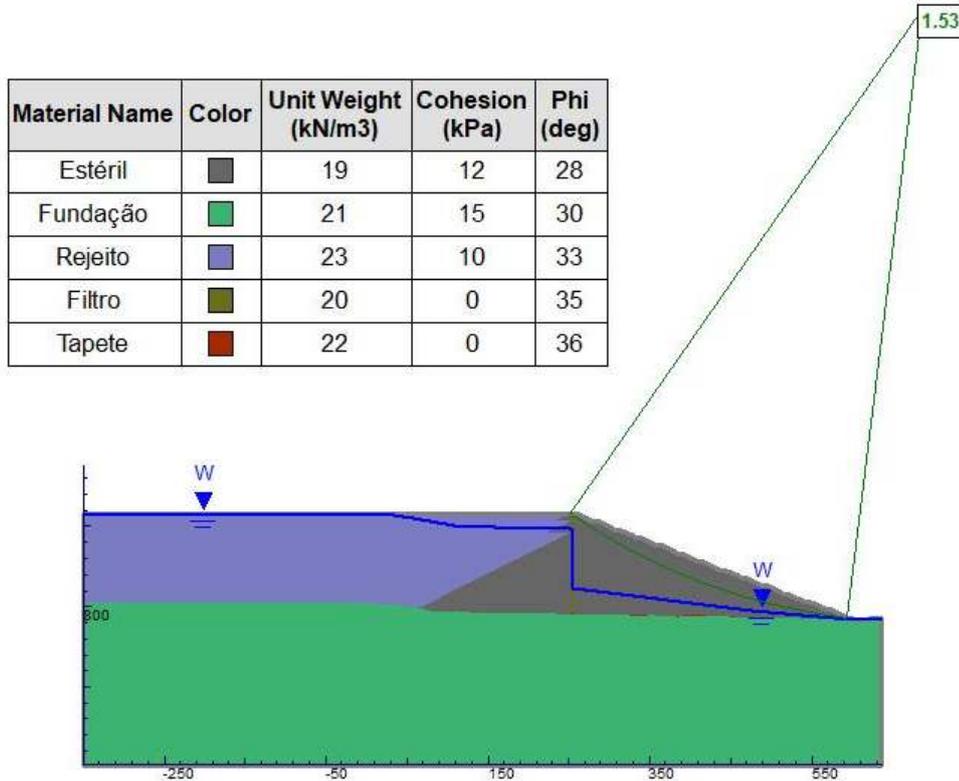


Figura B 10 – Análise de Estabilidade – Barragem Final - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Ru
Estéril	■	19	12	28	0.15
Fundação	■	21	15	30	0.1
Filtro	■	20	0	35	0
Tapete	■	22	0	36	0

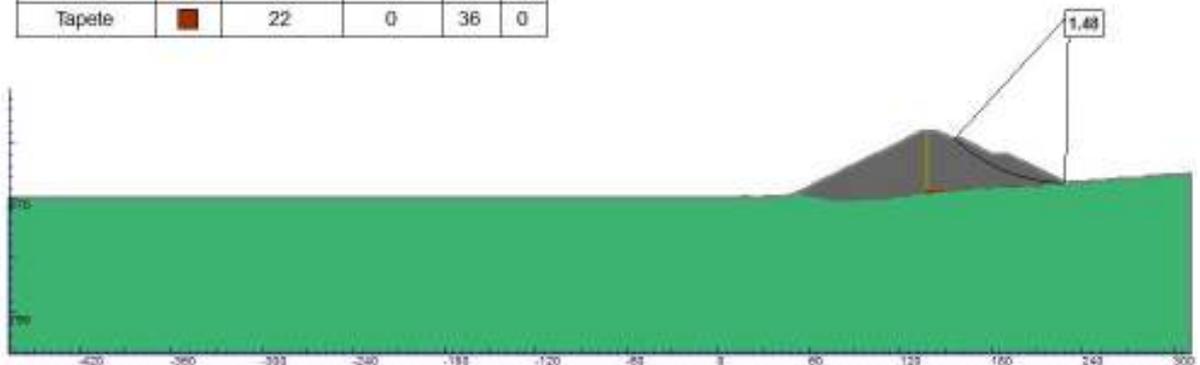


Figura B 11 – Análise de Estabilidade – Dique Industrial - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Jusante

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
127/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

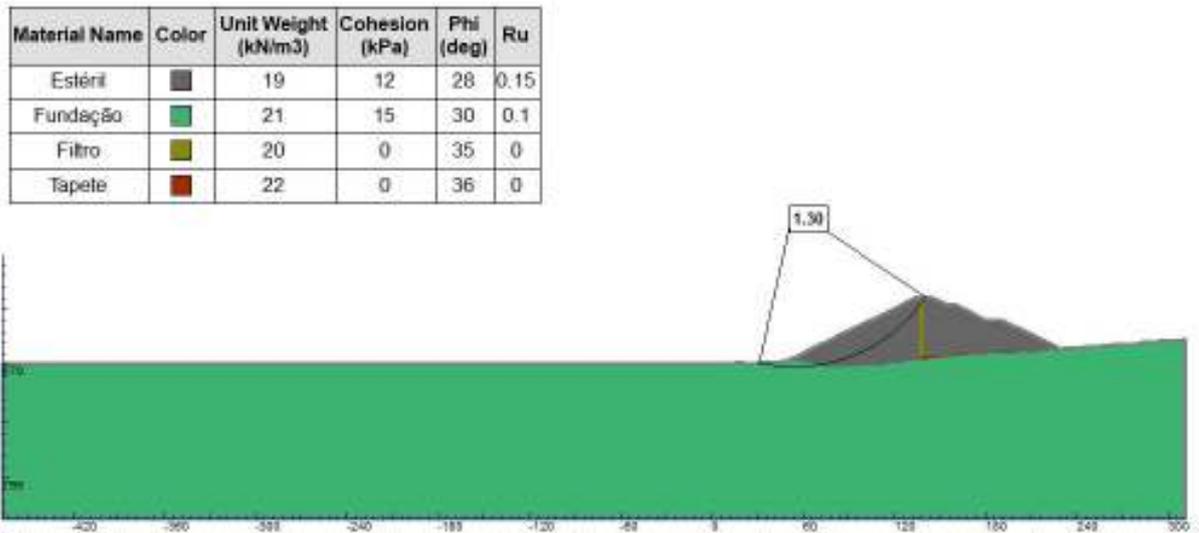


Figura B 12 – Análise de Estabilidade – Dique Industrial - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Montante

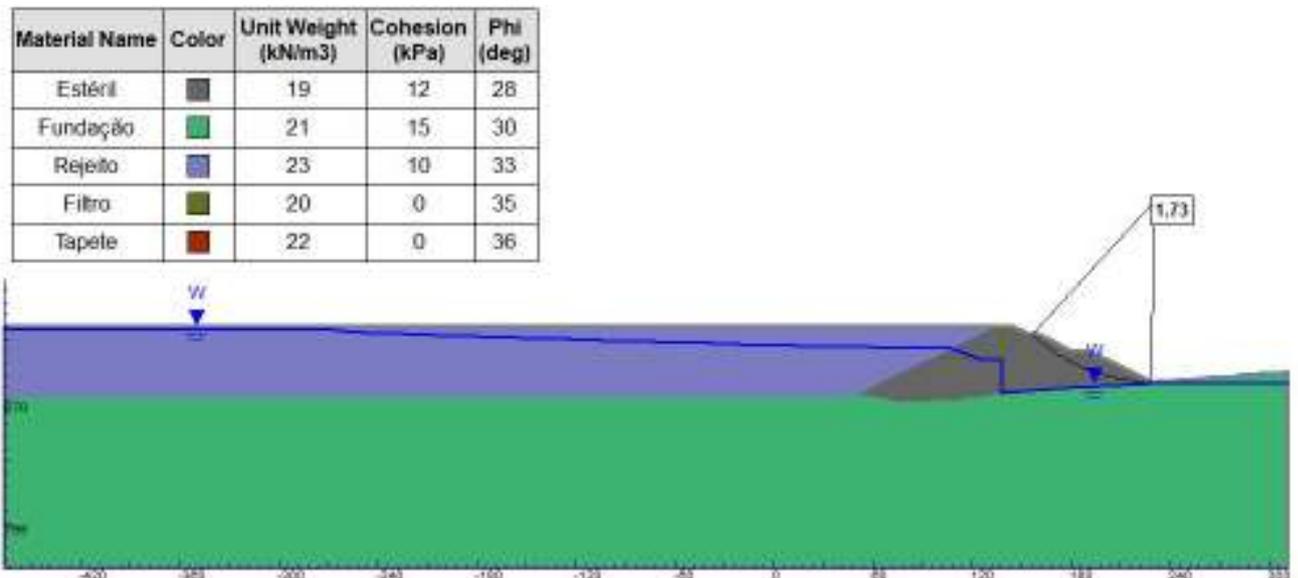


Figura B 13 – Análise de Estabilidade – Dique Industrial - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
128/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Estéril	■	19	12	28
Fundação	■	21	15	30
Rejeito	■	23	10	33
Filtro	■	20	0	35
Tapete	■	22	0	36

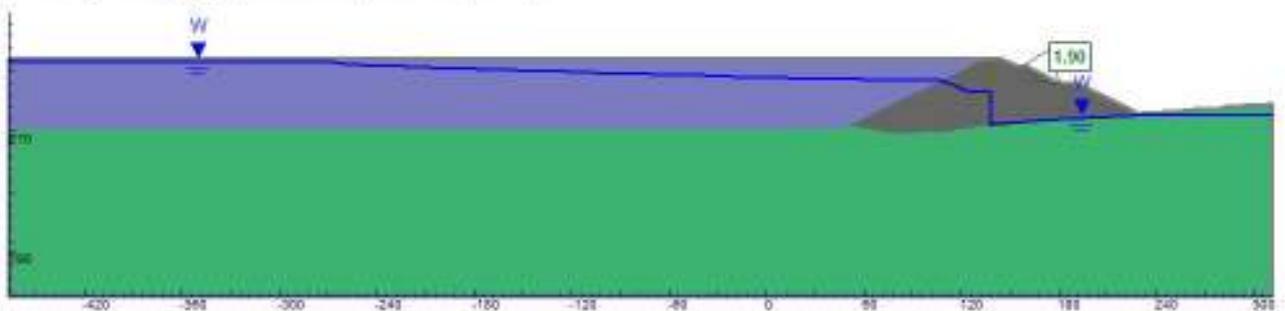


Figura B 14 – Análise de Estabilidade – Dique Industrial - Condição Normal – N.A Operacional – Entre Bermas

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Estéril	■	19	12	28
Fundação	■	21	15	30
Rejeito	■	23	10	33
Filtro	■	20	0	35
Tapete	■	22	0	36

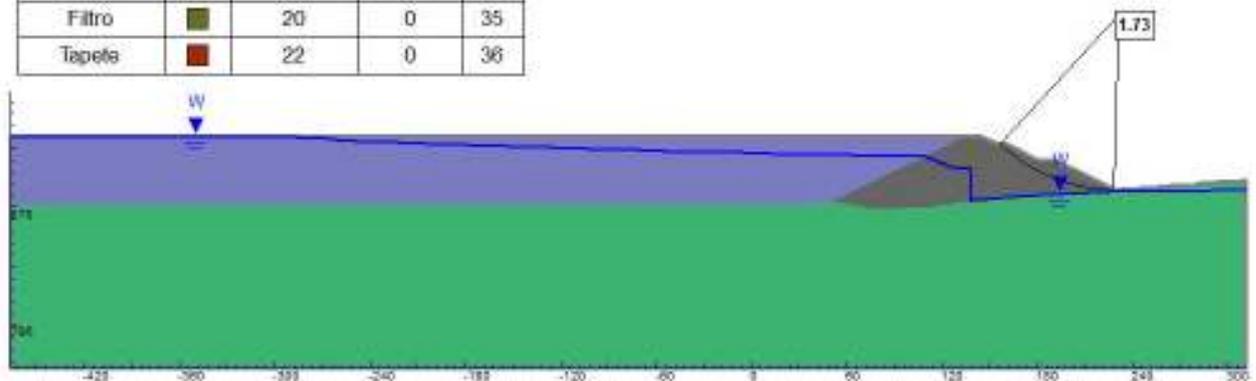


Figura B 15 – Análise de Estabilidade – Dique Industrial - Condição Normal – N.A Max Maximorum

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
129/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

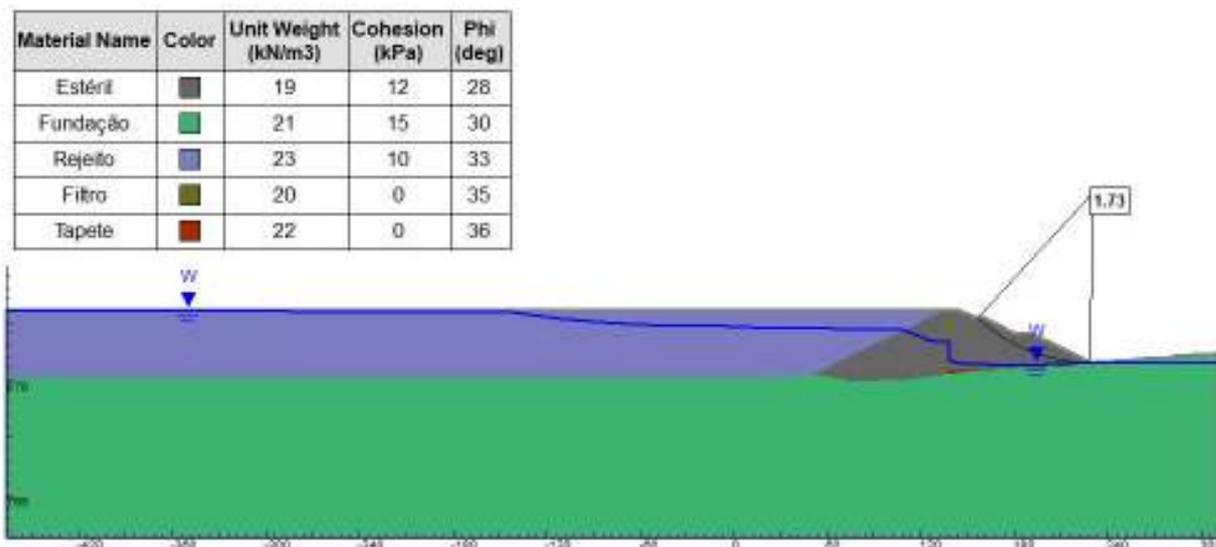


Figura B 16 – Análise de Estabilidade – Dique Industrial - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

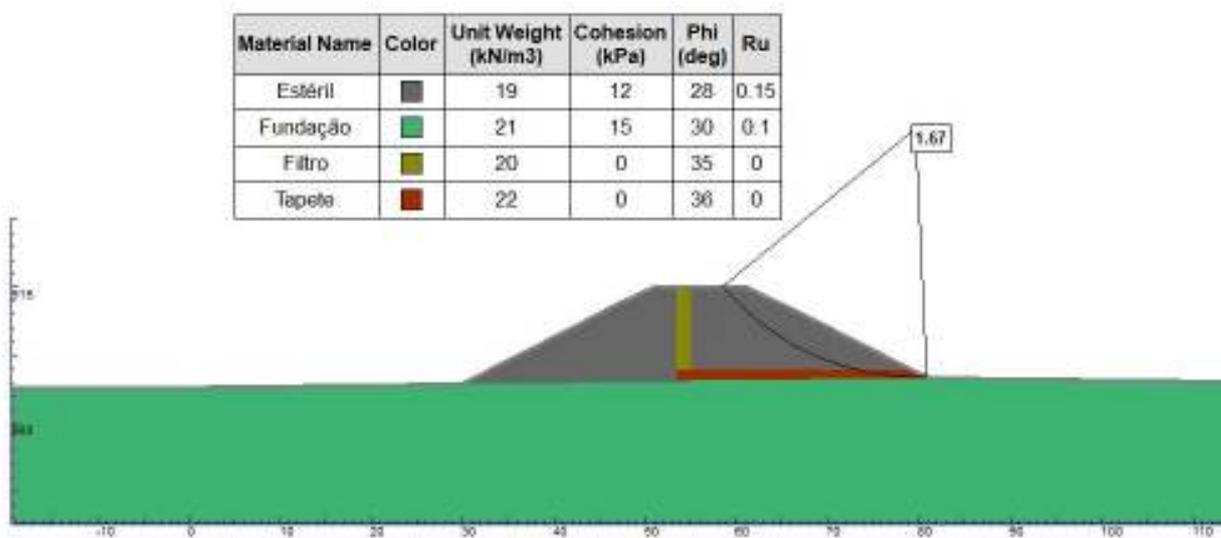


Figura B 17 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela- Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Jusante

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
130/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

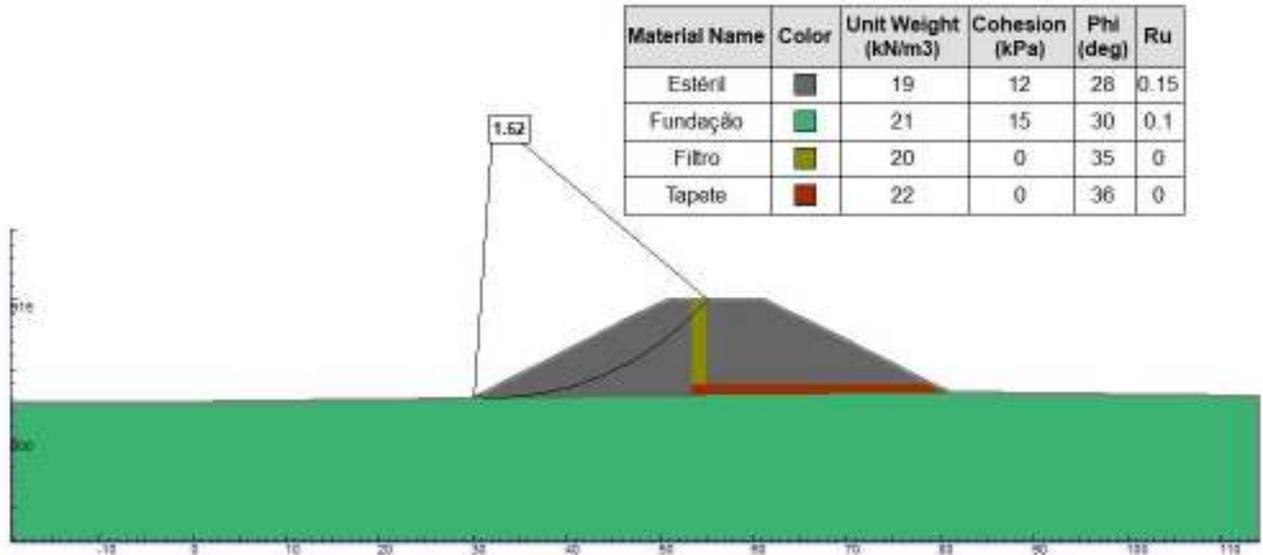


Figura B 18 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Montante

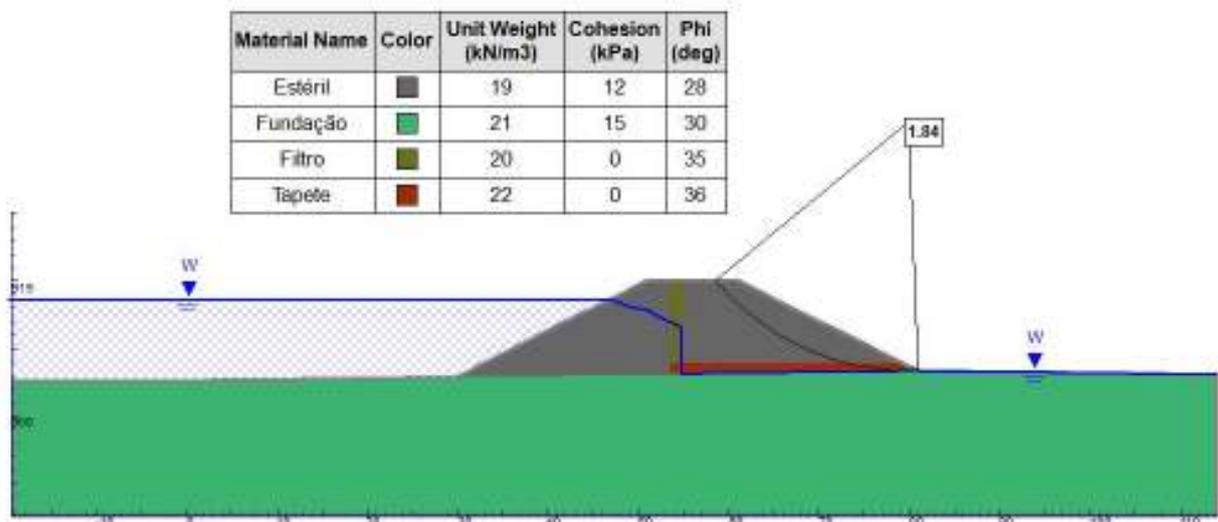


Figura B 19 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
131/13
6

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

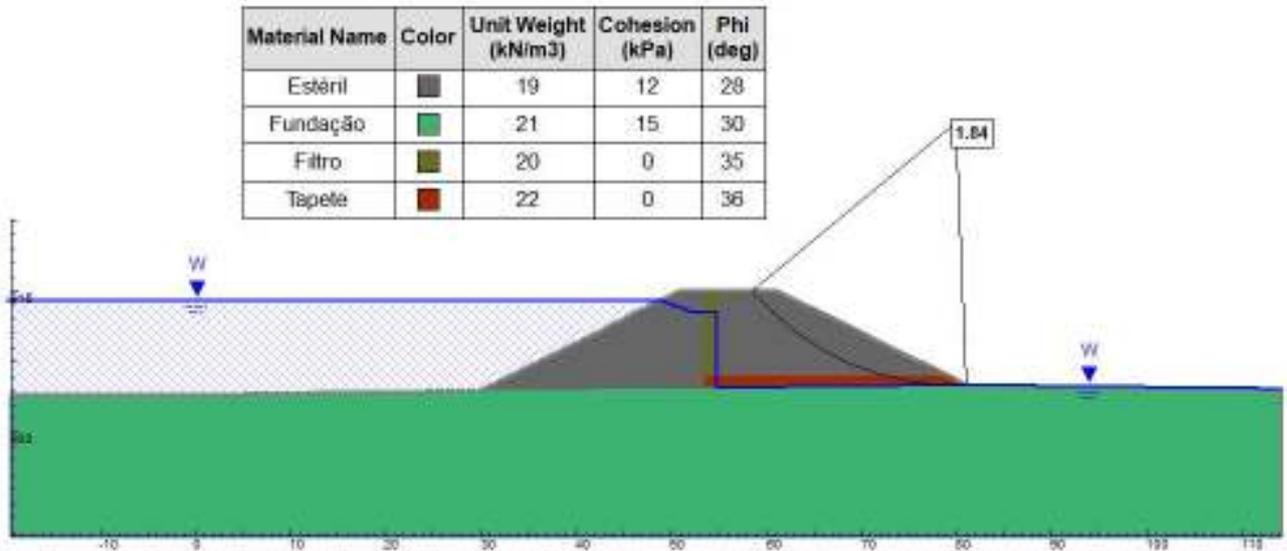


Figura B 20 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Condição Normal – N.A Max Maximorum

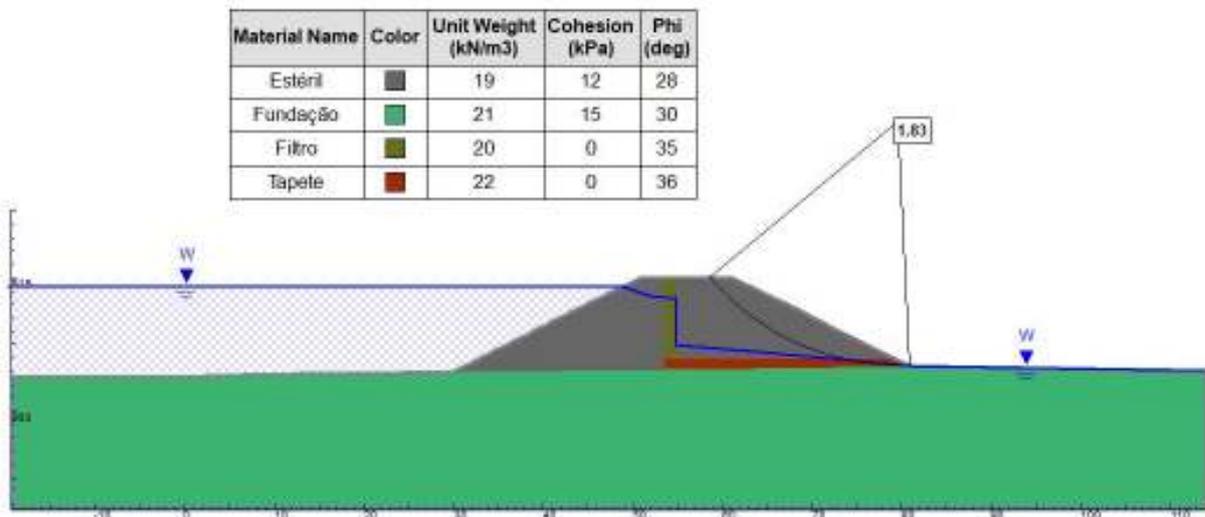


Figura B 21 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 132/13 6</p>
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>

APÊNDICE C

ANÁLISE SÍSMICA



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
133/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

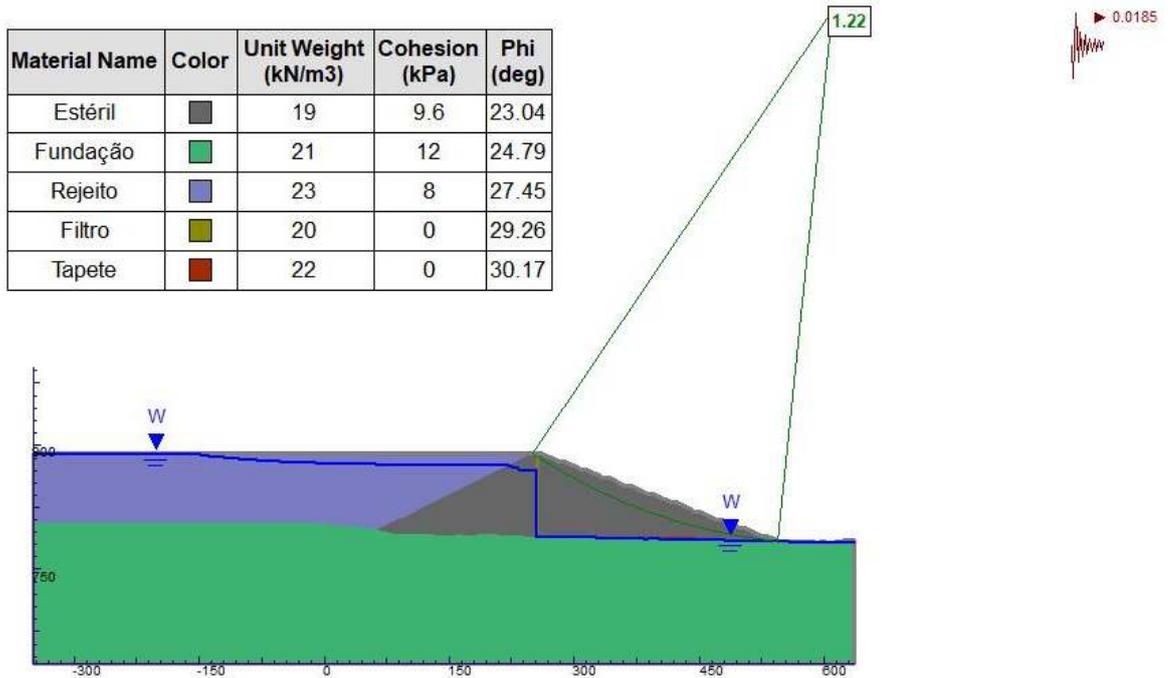


Figura C 1 – Análise Sísmica Natural – Dique de Partida – N.A Max Maximorum

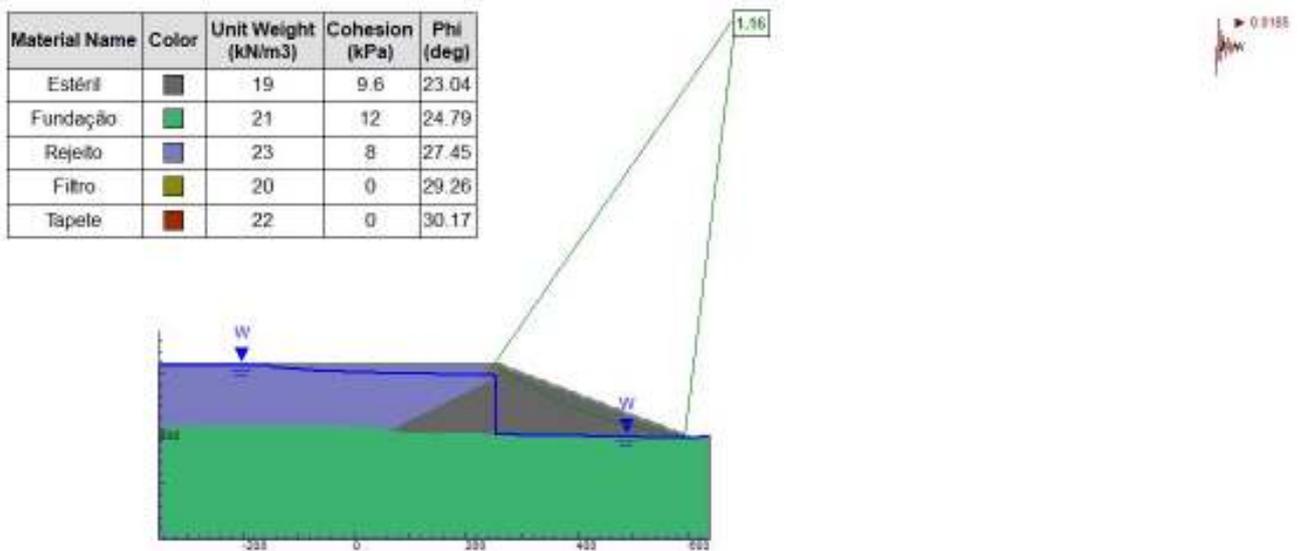


Figura C 2 – Análise Sísmica Natural – Barragem Final - N.A Max Maximorum



PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 2
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-32

Folha
134/136

WBH28-17-SAM-RTE-0032

Revisão
01

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Estéril	■	19	9.6	23.04
Fundação	■	21	12	24.79
Rejeito	■	23	8	27.45
Filtro	■	20	0	29.26
Tapete	■	22	0	30.17

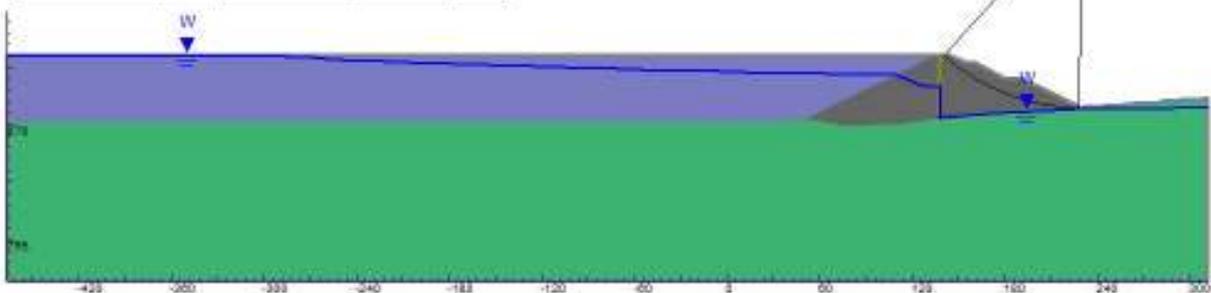


Figura C 3 – Análise Sísmica Natural –Dique Industrial - N.A Max Maximorum

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Estéril	■	19	9.6	23.04
Fundação	■	21	12	24.79
Filtro	■	20	0	29.26
Tapete	■	22	0	30.17

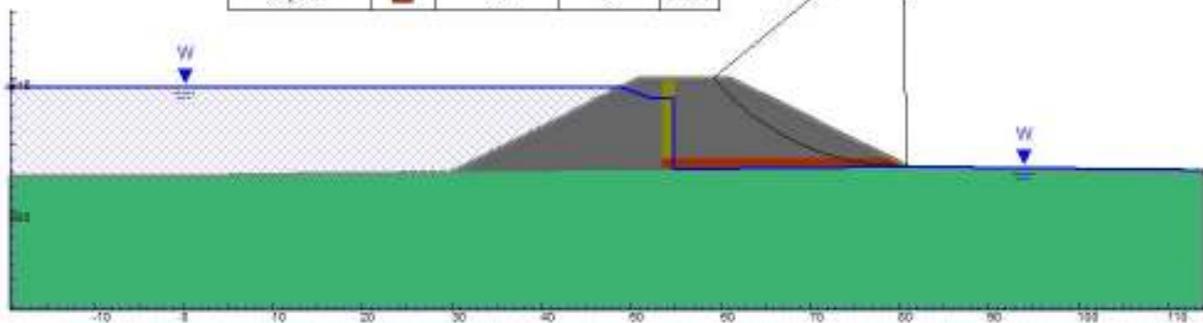


Figura C 4 – Análise Sísmica Natural –Dique de Sela - N.A Max Maximorum

 <p>SAM Sul Americana de Metais S/A</p>		<p>PROJETO BLOCO 8</p>	
<p>PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO</p>	<p>MINA_BLC8007-1010-G-RE-32</p>	<p>Folha 135/136</p>	
	<p>WBH28-17-SAM-RTE-0032</p>	<p>Revisão 01</p>	

APÊNDICE D

PLANO DE DISPOSIÇÃO

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 2 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-32	Folha 136/136	
	WBH28-17-SAM-RTE-0032	Revisão 01	



ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL LTDA.

FILIAL BELO HORIZONTE
 Rua Antônio de Albuquerque, 156, 13º andar, Funcionários.
 30112-010 – Belo Horizonte - MG
 Tel.: (31) 3234-4003 / 3324-4003
www.walmengenharia.com.br