

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 1/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

RELATÓRIO TÉCNICO

BARRAGEM 1

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 2/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

[illegible]

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 3/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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 DO ALTEAMENTO DO MACIÇO COM REJEITO	23
7.2.1	Conceito do Maciço Alteado com Rejeitos	23
7.2.2	Projeto do Maciço Alteado com Rejeitos	26
7.2.3	Metodologia de Ocupação do Reservatório	29
7.2.4	Ocupação do Reservatório Barragem 1	33
7.2.5	Água Liberada do rejeito para a Barragem 1	48
8.0	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	52
8.1	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE CAMPO E LABORATÓRIO	52
8.1.1	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS REJEITOS	52
9.0	ESTUDOS GEOTÉCNICOS	55
9.1	TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO	55
9.2	DIMENSIONAMENTOS GEOTÉCNICOS	55
9.2.1	Análises de Percolação	55
9.2.2	Análises de Estabilidade	57
9.2.3	Análise Sísmica	60
9.2.3.1	SISMO NATURAL	60
9.2.3.1.1	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE SÍSMICO	60
9.2.3.2	SISMO DESENCADEADO POR DETONAÇÕES	68
9.2.4	Análise de Liquefação	71
9.2.5	Drenagem Interna	74
9.2.5.1	Dique de Partida	74
9.2.5.2	Dreno de Fundo do Maciço Construído com Rejeito	78
10.0	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	88
10.1	CHUVAS DE PROJETO	89
10.2	VAZÕES DE PROJETO	93
10.2.1	Sistema Extravasor da Barragem 1	94
10.2.2	Sistema de Drenagem Superficial da Barragem 1	97

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 4/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

10.2.3	Sistema Extravasor de Emergência do Dique Auxiliar 1	100
10.3	CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS	101
10.3.1	Sistema Extravasor de Emergência do Dique Auxiliar 1	101
10.3.1.1	Avaliação do Trânsito de Cheia	102
10.3.1.2	Dimensionamento Hidráulico do Sistema Extravasor do Dique Auxiliar 1	105
10.4	DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE BOMBEAMENTO NO RESERVATÓRIO DO DIQUE AUXILIAR 1	107
10.4.1	Sistema de Drenagem superficial da barragem 1	111
10.4.1.1	Dimensionamento Hidráulico dos Dispositivos de Drenagem Superficial	112
10.5	BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM 1	114
10.5.1	PREMISSAS E CRITÉRIOS	114
10.5.2	METODOLOGIA	116
10.5.3	RESULTADOS	119
11.0	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	124
12.0	PLANO DE MONITORAMENTO	125
12.1	PLANO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	125
12.2	MONITORAMENTO VISUAL	126
12.3	MONITORAMENTO POR INSTRUMENTOS	126
13.0	CLASSIFICAÇÃO CONFORME PORTARIA DNPM Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017	134
14.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	136
15.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 5/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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 e 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 6/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

2.0 INTRODUÇÃO

Este relatório tem por objetivo apresentar o Projeto Conceitual elaborado para a Barragem 1 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 7/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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;
- Os alteamentos ocorrerão de 5 em 5m, exceto o alteamento final que será de 6m, e serão constituídos em rejeito grosso compactado;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 8/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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;
- Para o dique de partida e o barramento final foi realizado o dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna considerando os níveis freáticos operacionais previstos para a estrutura. Para o dique de partida foi considerado o nível d'água operacional na EL. 887,00 m e para o barramento final foi considerado o nível d'água operacional na EL. 932,00 m, respectivamente;
- A base topográfica do projeto é apresentada no documento "BLC8-2010-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 Reservação de Água";
- Para as análises de estabilidade para a Barragem 1, 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 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 9/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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 do dique de partida (filtro vertical, tapete central) foram realizadas considerando a metodologia de Darcy para Fluxos laminares;
- O dimensionamento hidráulico para a determinação da área mínima do dreno de fundo foi calculado utilizando o Método de Wilkins;
- As análises de estabilidade para a validação das geometrias propostas para a Barragem 1 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 10/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

4.0 INTERFERÊNCIAS

- Limite da área diretamente afetada (ADA) pelo empreendimento conforme apresentado no documento “BLC8-2010-M-0004_R00” que apresenta o Plano Diretor desenvolvido pela VENTURINI Consultoria;
- Cavidades existentes na região do projeto conforme apresentado no documento “BLC8-2010-M-0004_R00”;
- Estudos geométricos dos Platôs e Acessos da Área Industrial do Projeto Bloco 8 representados no documento “BLC8-2010-I-0001_R02 - Platôs e Acessos”;
- Traçado da rodovia federal BR-351 (limites aproximados);
- 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 BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 11/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 12/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- 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;
- BLC8-2010-M-0004_R00 – Estudo Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Plano Diretor. Elaborado pela SAM em Janeiro de 2018;
- BLC8-2010-P-0004_R00 – Projeto Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Britagem Primária e Secundária, Peneiramento, Pilha Pulmão. Elaborado pela SAM em Maio de 2015;
- BLC8-2010-P-0005_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Pré-Moagem, Moagem Primária, Classificação. Elaborado pela SAM em Maio de 2015;
- BLC8-2010-P-0006_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Pré-Concentração Magnética de Grossos/Finos e Deslamagem de Finos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- BLC8-2010-P-0007_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Pré-Concentração Magnética Scavenger. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- BLC8-2010-P-0008_R00 - Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Remoagem de Finos/Desaguamento de Finos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- BLC8-2010-P-0009_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Remoagem de Grossos/Deslamagem de Grossos Remoídos. Elaborado pela SAM em Março de 2014;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 13/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- BLC8-2010-P-0010_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Flotação de Grossos Remoídos. Elaborado pela SAM em Maio de 2014;
- BLC8-2010-P-0011_R00 - Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Flotação de Finos Remoídos. Elaborado pela SAM em Maio de 2014;
- BLC8-2010-P-0012_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo com Balanço de Massas– Espessador de Concentrado / Rejeito – Sistema de Água para Flotação. Elaborado pela SAM em Julho de 2015;
- BLC8-2010-P-0013_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo com Balanço de Massas– Espessador de Lamas / Água para Delamagem / Água para Processo. Elaborado pela SAM em Março de 2014;
- BLC8-2010-P-0014_R00 – Engenharia Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– Sist. de Água p/ Utilidades – Sist. de Captação e Adução de Água Nova – Captação de Água Recuperada. Elaborado pela SAM em Julho de 2015;
- BLC8-2010-P-0015_R00 – Projeto Conceitual – Planta de Beneficiamento – Geral – Engenharia – Fluxograma de Processo c/ Balanço de Massas– 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;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 14/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- MINA_VRP002-1010-O-RE-06-06 – Projeto Conceitual – Barragem de Água Industrial – Relatório Técnico. Elaborado pela WALM em Fevereiro de 2014;
- 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_BLC8005-1010-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 1 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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 15/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

(massas em Toneladas de material), distribuídas entre os Anos 0 e 18 de operação do empreendimento.

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 ($10^3 \times t$)	Rejeito Total ($10^3 \times t$)
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 1,44 M Toneladas de rejeito, sendo observado a partir do processo industrial da SAM que este rejeito apresentará três frações granulométricas devido as processos.

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 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 16/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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 cálculos, 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 sólidos 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 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 17/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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/cm³);

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/cm³);

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 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 18/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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 (10³ x m³)	Rejeito Grosso (10³ x m³)	Rejeito Fino (10³ x m³)	Lama (10³ x m³)
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 1. 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 ano a ano para a construção dos maciços iniciais das estruturas, levando ao sequenciamento construtivo apresentado no item 7.2.4 do presente relatório.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 19/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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 rejeito grosso, o dique de sela e o auxiliar.

7.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

O sistema de disposição de rejeitos do projeto Bloco 8 será constituído por um Dique de Partida, o maciço alteado pelo método de linha de centro com o rejeito grosso e dique de sela na ombreira direita, este com o objetivo de fechar o reservatório do sistema.

O dique de partida será constituído por estéril compactado proveniente da cava, com altura de aproximadamente 110,0 m na EL. 890,00 m. O talude de jusante do dique de partida apresenta altura entre bancos de 10,0 m de altura, bermas com 6,0 m de largura e inclinação de 1,0V:2,0H e crista com 10,0 m de largura. O talude de montante do dique de partida terá inclinação de 1,0V:2,0H. A Figura 7.1.1 e Figura 7.1.2 apresenta o arranjo geral e seção do Dique de Partida, respectivamente.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 20/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

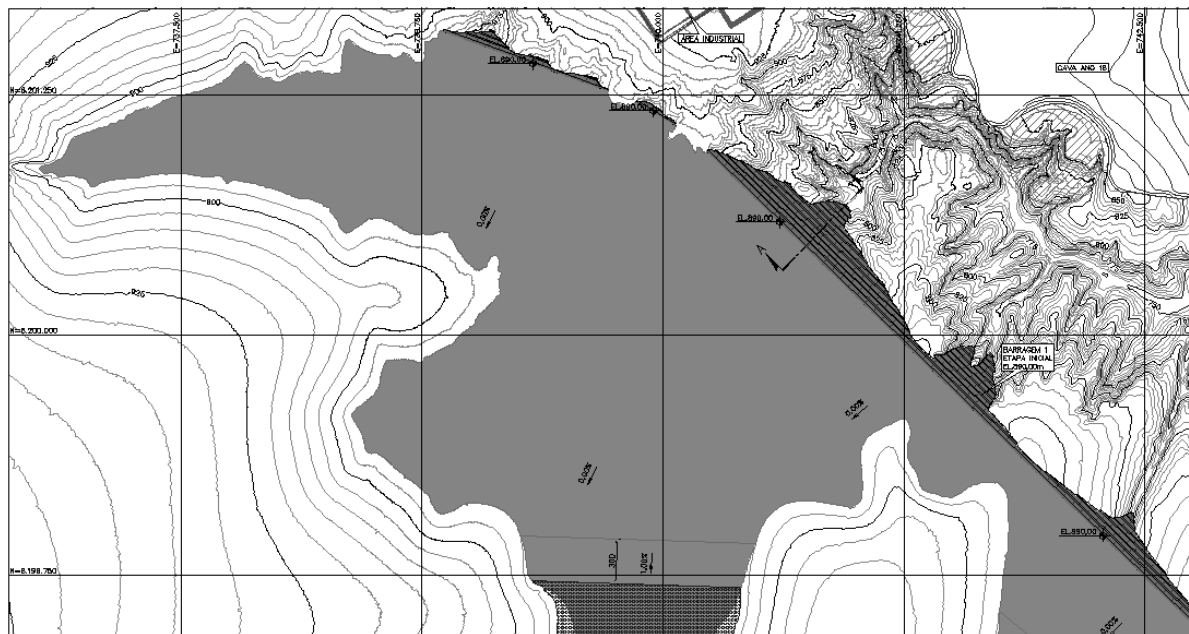


Figura 7.1.1 - Arranjo geral do Dique de Partida.

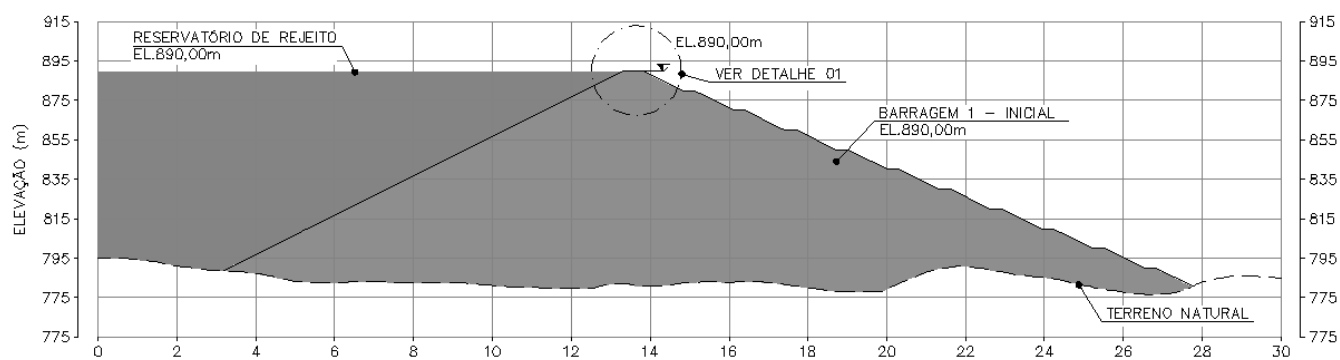


Figura 7.1.2 - Seção do Dique de Partida.

O sistema extravasor foi concebido em duas etapas, inicial e final, desaguardo no reservatório da Barragem Industrial. A Figura 7.1.3 apresenta planta e a Figura 7.1.4 apresenta a seção típica.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 21/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

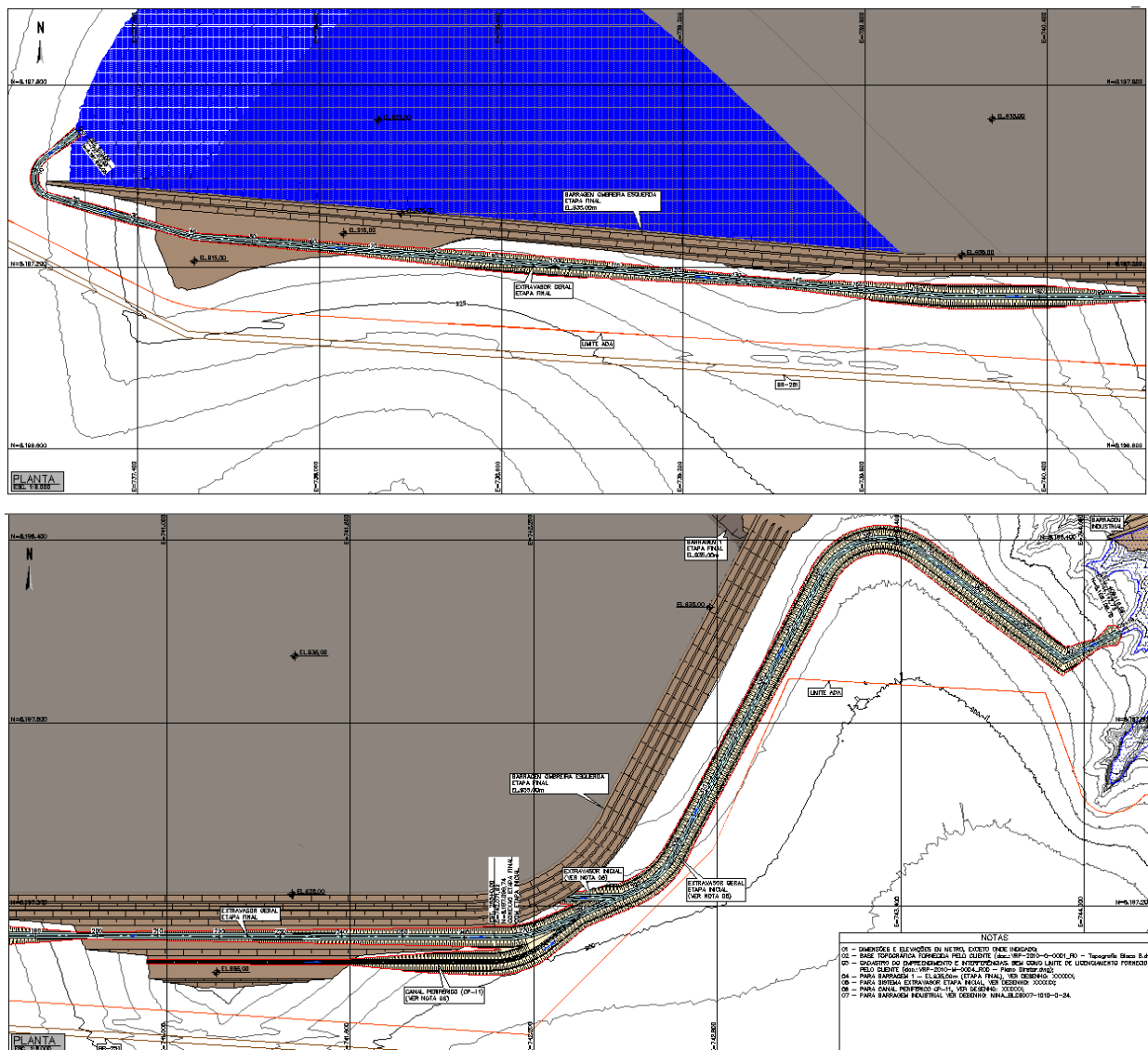


Figura 7.1.3 - Planta.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 22/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

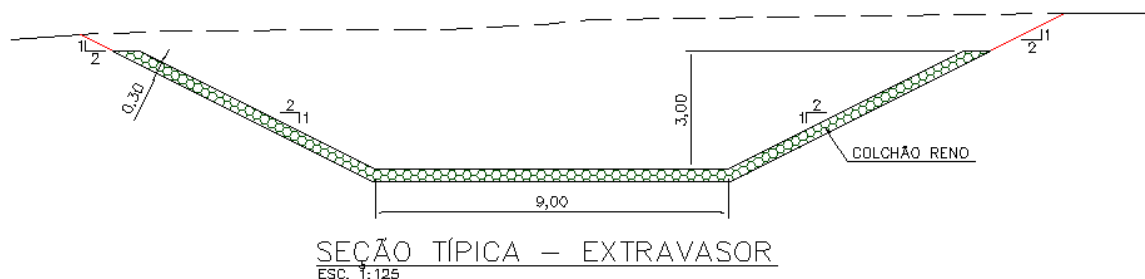


Figura 7.1.4 - Seção típica

A fim de captar a água do sistema de drenagem interna e recircular a mesma para a planta/processo, foi projetado um dique auxiliar galgável em erocamento com o núcleo argiloso a jusante da Barragem 1. O dimensionamento levou em consideração a crista do Dique na El. 760,00 m com o volume disponível para amortecimento das cheias de 232.877 m³ com sistema de bombeamento com capacidade de 3.500,00 m³/h.

A Figura 7.1.3 apresenta o arranjo geral e a Figura 7.1.4 apresenta a seção típica.

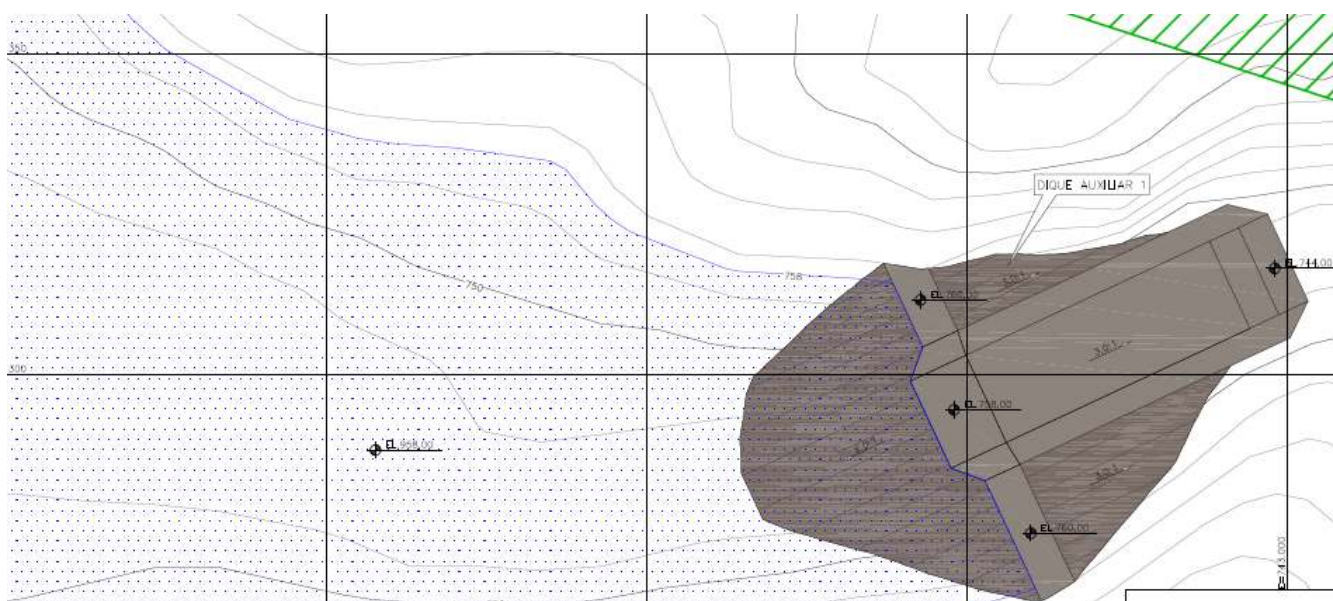


Figura 7.1.5 – Arranjo geral – Dique Auxiliar 1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 23/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

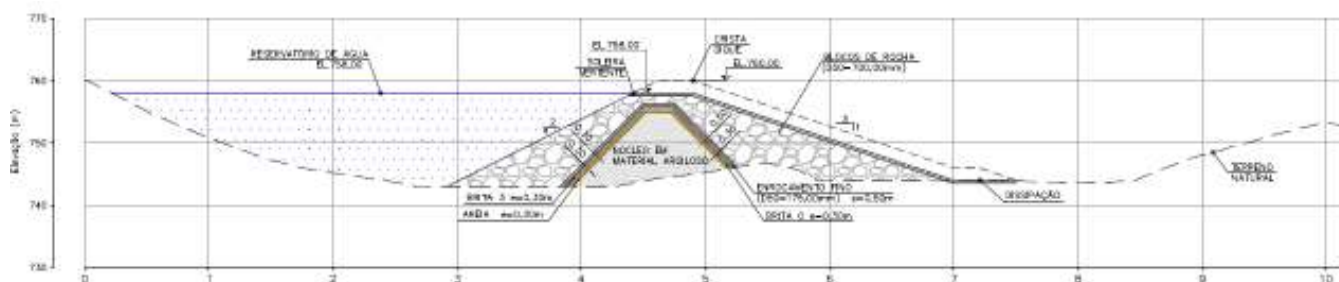


Figura 7.1.6 - Seção típica – Dique Auxiliar 1.

O desenho de projeto n° MINA_BLC8007-1010-O-64 e MINA_BLC8007-1010-O-65 apresenta o arranjo geral, etapa inicial e final, do sistema de disposição de rejeitos do Projeto Bloco 8, respectivamente. O desenho n° MINA_BLC8007-1010-O-66 apresenta o arranjo geral, planta e seção do Dique Auxiliar 1.

7.2 CONSIDERAÇÕES DO ALTEAMENTO DO MACIÇO COM REJEITO

O sucesso da construção do maciço alteado com rejeitos assenta-se entre outros pontos, na qualidade do rejeito no respeitante à sua permeabilidade e à sua uniformidade ao longo do período de operação da mina.

O alteamento da barragem será uma atividade diária, que tem que ser ajustada em função do rejeito 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 Conceito do Maciço Alteado com Rejeitos

O maciço alteado com rejeito utiliza um rejeito grosso ou a fração grossa para construção do alteamento da barragem pelo método de linha de centro. O método clássico de alteamento requer as

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 24/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

seguintes características construtivas (Mittal and Morgenstern, 1977; Barrera e Valenzuela, 2003; Barrera et al, 2011; Valenzuela, 2015):

- Construção de um dique de partida, que é uma barragem de solo ou enrocamento convencional;
- Transporte do rejeito em forma de polpa, até a crista do barramento. No caso de o rejeito apresentar as características granulométricas e de permeabilidade adequadas ele será utilizado diretamente na construção do alteamento do maciço, caso contrário, deverá ser ciclonado sendo a fração grossa (underflow) utilizada para construção do alteamento e a fração fina (overflow) lançada no reservatório;
- O rejeito a ser utilizado como material de construção deverá apresentar as seguintes características: coeficiente de permeabilidade $k \geq 1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ e teor de finos passantes na # nº 200 (0,075 mm) $\leq 20\%$. Estas características são fundamentais para que a água utilizada no transporte do rejeito escoe rapidamente permitindo as operações de espalhamento e compactação;
- Após ser descarregado no talude da barragem o rejeito é espalhado em camadas sucessivas e paralelas com o auxílio de tratores e compactado com o auxílio de rolo compactador liso vibratório, ao longo do comprimento do talude promovendo o alteamento da crista da barragem, como pode ser observado na Figura 7.2.1.1;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 25/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01



Figura 7.2.1.1 – Compactação do rejeito grosso para alteamento do talude de jusante.

- Adoção de um sistema robusto de drenagem interna capaz de escoar rapidamente a água descarregada com o rejeito, a água percolada pela fundação e, água de precipitações, de forma a evitar a saturação do talude, consistindo de filtro septo vertical de areia média e tapete drenante tipo sanduiche (núcleo de pedrisco / brita e camadas superiores e inferiores de areia média);
- Talude de jusante com inclinação máxima 3,5-3,0H:1,0V para permitir a compactação na direção do talude;
- Nível d'água afastado da crista da barragem formando uma ampla praia de rejeitos (maior que 400,0 m dependendo da situação), para controle da superfície freática no interior do maciço;
- Controle tecnológico sistemático do rejeito utilizado como material de construção (granulometria e conteúdo de finos), da compactação do talude de jusante e geometria geral da barragem;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 26/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- Equipe especializada em operação e monitoramento.

7.2.2 Projeto do Maciço Alteado com Rejeitos

Para a Barragem 1 do Projeto Bloco 8 consiste na proposição da construção de barragens de rejeito nas regiões dos córregos Lamarão e Mundo Novo considerando o atendimento do volume total de rejeitos a serem gerados nos 18 anos de operação e barragens construídas em etapas.

Desta forma, optou-se pela máxima ocupação da região do córrego Lamarão, sobrepondo as cotas máximas em terreno natural, com disposição dos rejeitos de forma hidráulica ao longo dos anos de operação. Assim, a Barragem 1 irá contemplar a ocupação do vale adjacente ao Lamarão, denominado como córrego Batalha com o objetivo de maximizar o volume de acumulação. Como os volumes de rejeito requeridos para o Projeto Bloco 8 são elevados, para a máxima acumulação de material nesta região, optou-se pela sobreposição das cotas máximas em terreno natural, com implantação de uma barragem para a conformação da ombreira esquerda da estrutura na região sul/sudoeste da estrutura.

Para tal, a partir das análises da topografia dos vales dos córregos Lamarão e Batalha, verificou-se que a cota máxima da crista da barragem seria referente a EL. 935,00 m. Como a região do córrego do Batalha na sua margem direita apresenta cota máxima topográfica na EL. 910,00 m, será necessária a construção de um barramento nesta região.

Esta barragem deverá ter duas funções específicas para a estrutura. Operar como sela topográfica para a região sul/sudoeste, evitando que o material estocado atinja a BR 251 e a drenagem do córrego do Vale onde encontra-se a Barragem Industrial, a ser considerada nos estudos. A segunda função do barramento será de criar o aterro de fechamento para a ombreira esquerda da barragem na cota de projeto. Por se tratar de um barramento de grande importância para o empreendimento, este barramento deverá ser constituído por aterro em solo compactado, sendo construído em estéril, material oriundo das escavações obrigatórias na área do reservatório e/ou de materiais de empréstimo na área do reservatório.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 27/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

O eixo do maciço principal da Barragem 1 encontra-se na direção Noroeste/sudeste de modo a conduzir os fluxos percolados pelo barramento para a drenagem da calha do córrego lamarão. A Barragem deverá ser construída em etapas considerando maciço inicial em estéril e/ou em solo com materiais obtidos das escavações obrigatórias e/ou materiais de empréstimo na área do reservatório, em cota conveniente para o armazenamento dos rejeitos gerados ao longo dos anos. Os alteamentos serão construídos com o rejeito grosso (*underflow*) obtido no processo de beneficiamento do minério, devido aos elevados volumes requeridos no empreendimento, sendo a barragem alteada em etapas (recrescimento diário), considerando a metodologia de linha de centro, com o lançamento do material de forma hidráulica no talude de jusante do maciço inicial da Barragem 1, com o teor de sólidos informado pela SAM.

A partir de uma análise prévia da topografia disponibilizada pela SAM para os estudos, foi definido que a barragem inicial em solo compactado deverá ser implantada na EL. 890,00 m, considerando a seguinte geometria:

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

Dessa maneira, a barragem inicial apresentará altura total de 119,00 metros, volume de aterro compactado de 18,95 Mm³ e capacidade total de acumulação de 262,60 Mm³.

Para o presente estudo, foi considerado que a cota da crista da barragem equivale a EL. 935,00 m, levando a uma barragem com altura máxima de 159,00 m. Para o alteamento da barragem ao longo dos anos de operação, será necessário um volume de rejeito grosso para a construção de 46,45Mm³, com o barramento apresentando capacidade total de armazenamento de 900,00 Mm³, com o talude de jusante de declividade constante equivalente a 3,50H : 1,00V (15,95°) compatível com o teor de sólidos do lançamento do rejeito grosso (*underflow*) na região do maciço.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 28/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

A Figura 7.2.2.1 e Figura 7.2.2.2 apresentam o arranjo geral e a seção típica da Barragem 1, respectivamente. A Tabela 7.2.2.1 apresenta a ficha técnica da estrutura. Para mais detalhes consultar os documentos “MINA_BLC8007-1010-O-64” e “MINA_BLC8007-1010-O-65”

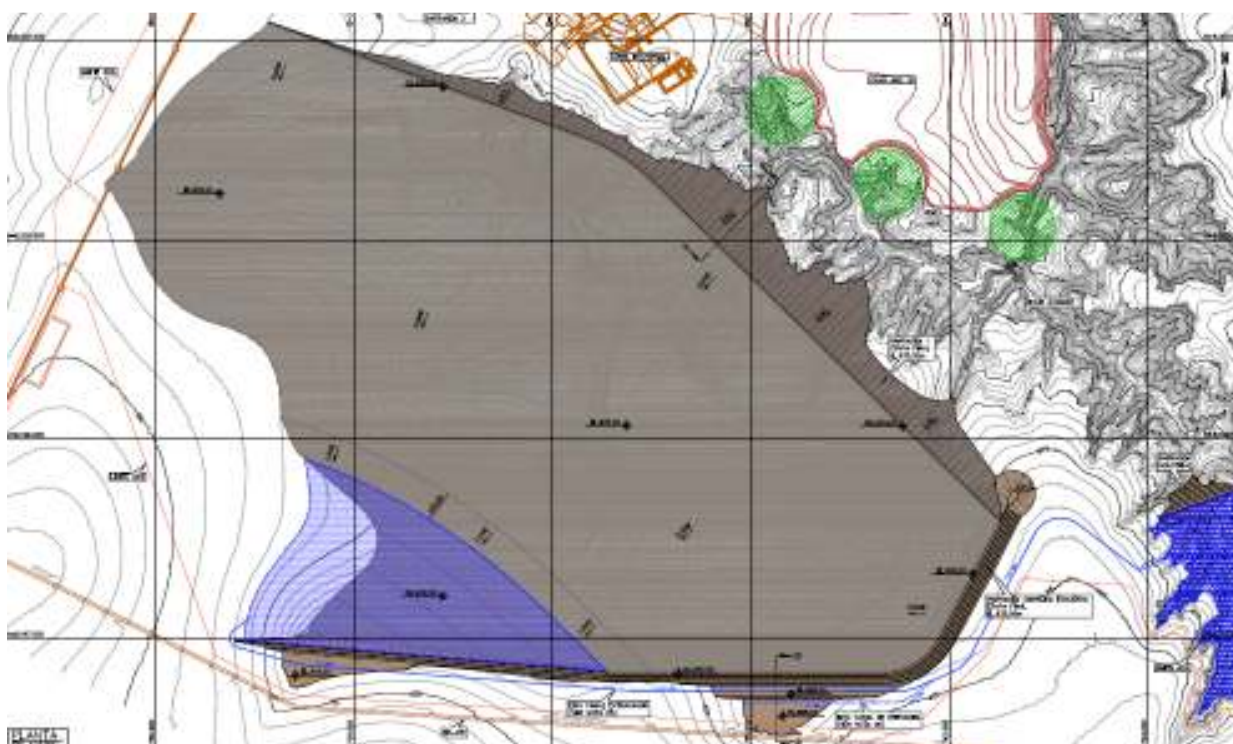


Figura 7.2.2.1 – Arranjo geral da Barragem 1

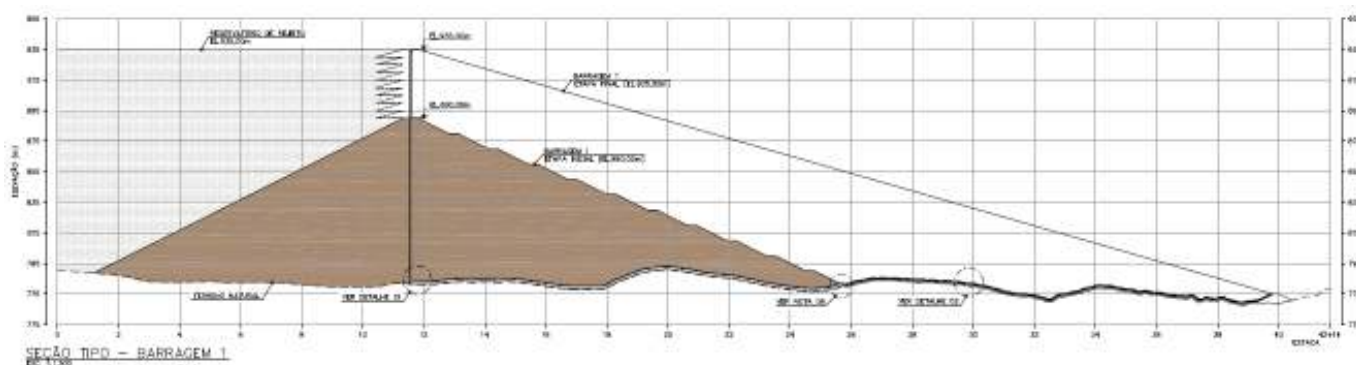


Figura 7.2.2.2 – Seção típica da Barragem 1

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 29/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Tabela 7.2.2.1 – Ficha técnica da Barragem 1

Barragem 1	
Estrutura	Dados
Elevação Crista Inicial (m)	890,00
Elevação Crista Final (m)	935,00
Elevação Base (m)	776,00
Altura Máxima Inicial (m)	119,00
Altura Máxima Final (m)	159,00
Largura de Crista (m)	10,00
Comprimento de Crista Inicial (m)	4763,11
Comprimento de Crista Final (m)	6827,66
Talude locais (H:V)	2,0 H : 1,0 V
Desnível máximo entre bermas (m)	10,00
Largura de bermas (m)	6,00
Taludes Globais Jusante (H:V)	3,5 H : 1,0 V
Borda livre reservatório (m)	3,00
Cota do nível d'água operacional (m)	932,00
Área de Maciço Inicial (m ²)	730.006,88
Área de Maciço Final (m ²)	1.898.242,93
Volume total Maciço Inicial (m ³)	18.950.000,00
Volume total Maciço Final (m ³)	65.400.000,00
Área máxima de espelho d'água (m ²)	2.196.120,27
Volume total do Reservatório Inicial (m ³)	262.600.000,00
Volume total do Reservatório Final (m ³)	900.000.000,00

7.2.3 Metodologia de Ocupação do Reservatório

Para os estudos de disposição de rejeito em barragens, foi considerado que a ocupação do reservatório da Barragem 1 para as etapas inicial e para os alteamentos sucessivos em rejeito grosso (*underflow* gerado na Planta de Beneficiamento do Projeto Bloco 8), seja realizado a partir da disposição dos rejeitos grossos e finos ao longo de toda a crista 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 “BLC8-2010-P-0012” e “BLC8-2010-P-0013”) e deverão formar uma praia mínima emersa de 400,00 metros declividade de 1%. O material emerso deverá apresentar declividade de 3,50% ou 4,50%, de modo que o reservatório de água da Barragem 1 esteja localizado no fundo da estrutura (porção sudoeste), permitindo as atividades de bombeamento e recirculação pela SAM. A lama será lançada em ponto estratégico do reservatório, misturada com o rejeito fino de modo a otimizar a ocupação do reservatório.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 30/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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 as regiões não ocupadas do reservatório. Para deslocamento dos pontos de lançamento, a SAM solicitou que os pontos sejam deslocados para o interior do reservatório, mantendo as mesmas posições dos espigotes da tubulação de rejeitos existente na crista, porém, considerando a introdução de tubulações (mangotes) a partir dos espigotes em direção ao reservatório, de modo a permitir o deslocamento do ponto para pontos específicos da praia de rejeitos recém formada.

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 1, 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 talude nas etapas de ocupação do reservatório para uma mesma cota, com consequente adensamento da praia de rejeitos na etapa dos avanços. 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 sucessivamente com o rejeito grosso a partir da EL. 890,00 m.

O lançamento hidráulico a partir do ponto de lançamento deslocado (já no 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 de 1,00%, lançamento da lama em ponto estratégico do reservatório e praia imersa com inclinação de 3,50% ou 4,50%.

O processo de lançamento a partir do ponto deslocado é realizado até a máxima ocupação do reservatório para esta posição. Ao se atingir este estágio, o ponto de lançamento deverá sofrer novo deslocamento no interior do reservatório e deverá ser reiniciado as operações de lançamento nas condições geométricas apresentadas para a formação da praia. O processo deverá ser realizado até que sejam atingidas as configurações previstas em projeto, que consideram reservatório de água mínimo para a condição do maciço inicial e final da operação da Barragem 1 igual a 20,00Mm³.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 31/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Para a barragem inicial e final, optou-se pela manutenção de uma praia mínima final de 300 m a partir da máxima ocupação da Barragem 1 nas EL. 890,00 m (Maciço Inicial) e EL. 935,00 m (Barragem Final) de modo a permitir uma borda livre de rejeitos de 3,00 m em relação a crista da praia linearizada.

Ressalta-se que o valor de cada deslocamento dos pontos de lançamento a partir de utilização de tubulação ligadas aos espigotes, dependerão da consistência da praia de rejeitos formada, onde a SAM deverá verificar as condições de adensamento do rejeito grosso e fino na praia de 400,00 metros recém-formada, de modo a verificar a garantir a segurança geotécnica para a trafegabilidade de equipamentos e pessoas para a realização deste procedimento. Os comprimentos máximos dos deslocamentos deverão ser aferidos na etapa de operação, com base na experiência adquirida pela SAM. 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 1, para as demais etapas do projeto, deverá ser elaborado pela SAM o plano de alteamento das tubulações, de modo a compatibilizar as atividades de disposição dos rejeitos na barragem com o crescimento do maciço da barragem alteada de forma sucessiva em rejeito grosso. Esta atividade deverá prever o tipo de estrutura a ser considerada com alicerce para os alteamentos e metodologias a ser utilizada para a elevação da tubulação principal de adução pela crista, de modo a permitir a disposição continua dos rejeitos (desconsiderando a paralização das atividades de lançamento) e atendimento aos crescimentos anuais da barragem, considerando os cálculos apresentados no item 7.2.4.

Para mais detalhes consultar o documento “MINA_BLC8007-1010-O-64” e “MINA_BLC8007-1010-O-65” que apresentam os arranjos gerais dos reservatórios da Barragem 1 nas etapas Inicial e Final, respectivamente.

A partir dos planos de disposição do rejeito no reservatório da Barragem 1 para o maciço inicial e final foi elaborado as curvas Cota x Volume do reservatório. Em função da metodologia construtiva, foi elaborado ainda a curva Cota x Volume para o Maciço da estrutura considerando o maciço inicial em solo compactado com crista na EL. 890,00 m e alteamentos sucessivos em rejeito grosso considerando a metodologia de linha de centro até a EL. 935,00m, conforme apresentado nos itens 7.2.1 e 7.2.2. As curvas Cota X Volume do Maciço e do Reservatório da Barragem 1 são apresentadas na Figura 7.2.3.1 e Figura 7.2.3.2, respectivamente.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 32/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

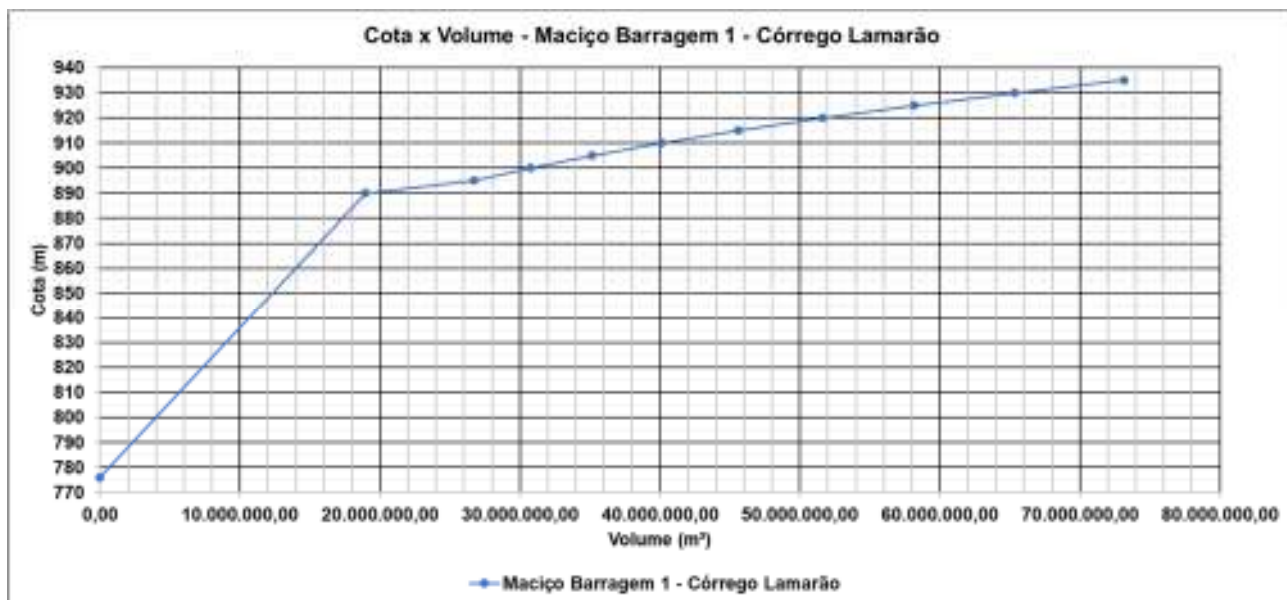


Figura 7.2.3.1 – Curva Cota x Volume – Maciço Barragem 1 – Córrego lamarão

Para a curva cota x volume do maciço da Barragem 1 é importante ressaltar que a mesma foi gerada a partir da simulação de subidas a cada 5,00 metros do maciço em rejeito grosso de modo a auxiliar nos cálculos de ocupação do reservatório e crescimento da barragem, devendo em uma próxima etapa serem detalhados para intervalos inferiores para uma maior exatidão em termos de volume de maciço.

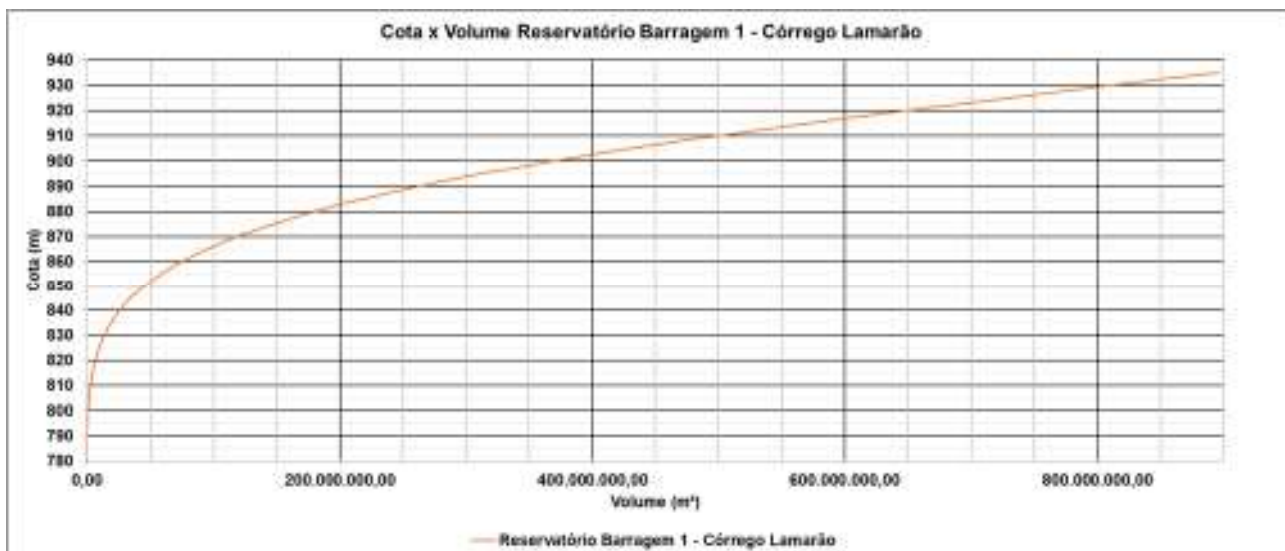


Figura 7.2.3.2 – Curva Cota x Volume – Reservatório Barragem 1 – Córrego lamarão

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 33/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

Para a curva cota x volume do reservatório, os estudos foram realizados considerando a conformação final do reservatório da Barragem 1 em rejeito, não sendo realizado a implantação dos planos de disposição contínuos para a estrutura. Recomenda-se para as próximas etapas do projeto a elaboração do plano de disposição para cenários intermediários, de modo a permitir a maior precisão da curva Cota x Volume para o reservatório da Barragem 1.

7.2.4 Ocupação do Reservatório Barragem 1

Em função das características técnicas da Barragem 1, foi realizado 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. 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 seria a inicial, levou em consideração a geração do estéril para o *pré-stripping* x volume do dique de partida, 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 poderiam levar a custos de bombeamento elevados;
- Construção dos reservatórios “*Ponds*” para armazenamento das descargas da Planta Industrial na porção sul do reservatório da Barragem 2, com a construção de barramentos na região 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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 34/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

complexo industrial do Projeto Bloco 8, sendo a estrutura denominada no presente estudo como “Dique Industrial”;

- Investimentos iniciais (CAPEX) a serem desprendidos 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) e disponibilidade de material para a construção das barragens iniciais, diques de sela, 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 rejeitos grossos e finos 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 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, foi apresentado o cenário para o estudo mais adequado 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, decisão condicionada

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 35/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

pela meta de dispor toda a lama, resíduo gerado desde o início de operação da usina, nesta barragem,

- 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 depositados 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 porcentagem 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%
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%

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 36/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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.

Para a Barragem 1, foco do presente relatório, foi realizado 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 Barragem1, a partir das percentagens apresentadas na Tabela 7.2.4.1.

Os volumes a serem depositados na Barragem 1 a partir do ANO 3 de Operação são apresentados na Tabela 7.2.4.3.

**PROJETO BLOCO 8**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-31

Folha
37/159

WBH28-17-SAM-RTE-0031

Revisão 01

Tabela 7.2.4.3 – Volumes anuais de rejeito grosso, fino e lama depositados na Barragem 1

Ano	Rejeito Grosso			Rejeito Fino			Lama		
	Volume Anual (tabela 5.4)	% Rejeito grosso Barragem 1/ano	Volume Anual depositado na Barragem 1	Volume Anual (tabela 5.4)	% Rejeito Fino Barragem 1/ano	Volume Anual depositado na Barragem 1	Volume Anual (tabela 5.4)	% Lama na Barragem 1/ano	Volume Anual depositado na Barragem 1
	m³		m³	m³		m³	m³		m³
1	5.433.534,25	0%	0,00	31.165.200,00	0%	0,00	5.099.760,00	0%	0,00
2	8.046.356,16	0%	0,00	46.151.600,00	0%	0,00	7.552.080,00	0%	0,00
3	7.529.602,74	85%	6.400.162,33	43.187.650,00	90%	38.868.885,00	7.067.070,00	30%	2.120.121,00
4	7.076.424,66	85%	6.014.960,96	40.588.350,00	90%	36.529.515,00	6.641.730,00	30%	1.992.519,00
5	7.489.520,55	85%	6.366.092,47	42.957.750,00	90%	38.661.975,00	7.029.450,00	30%	2.108.835,00
6	7.529.123,29	85%	6.399.754,79	43.184.900,00	90%	38.866.410,00	7.066.620,00	30%	2.119.986,00
7	7.706.136,99	85%	6.550.216,44	44.200.200,00	90%	39.780.180,00	7.232.760,00	30%	2.169.828,00
8	7.802.027,40	85%	6.631.723,29	44.750.200,00	90%	40.275.180,00	7.322.760,00	30%	2.196.828,00
9	7.018.219,18	85%	5.965.486,30	40.254.500,00	90%	36.229.050,00	6.587.100,00	30%	1.976.130,00
10	8.618.342,47	85%	7.325.591,10	49.432.350,00	90%	44.489.115,00	8.088.930,00	30%	2.426.679,00
11	7.627.123,29	85%	6.483.054,79	43.747.000,00	90%	39.372.300,00	7.158.600,00	30%	2.147.580,00
12	8.465.876,71	85%	7.195.995,21	48.557.850,00	90%	43.702.065,00	7.945.830,00	30%	2.383.749,00
13	8.406.904,11	100%	8.406.904,11	48.219.600,00	95%	45.808.620,00	7.890.480,00	30%	2.367.144,00
14	8.413.520,55	100%	8.413.520,55	48.257.550,00	100%	48.257.550,00	7.896.690,00	100%	7.896.690,00
15	8.264.986,30	100%	8.264.986,30	47.405.600,00	100%	47.405.600,00	7.757.280,00	100%	7.757.280,00
16	7.308.095,89	100%	7.308.095,89	41.917.150,00	100%	41.917.150,00	6.859.170,00	100%	6.859.170,00
17	7.807.301,37	100%	7.807.301,37	44.780.450,00	100%	44.780.450,00	7.327.710,00	100%	7.327.710,00
18	8.023.917,81	100%	8.023.917,81	46.022.900,00	100%	46.022.900,00	7.531.020,00	100%	7.531.020,00
Total	138.567.013,70		113.557.763,70	794.780.800,00		670.966.945,00	130.055.040,00		61.381.269,00

Os ANOS 1 e 2 destacados em amarelos são referentes à disposição dos rejeitos integralmente na Barragem 2.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 38/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Desta forma o Plano de Disposição dos Rejeitos para a Barragem 1 é apresentado na Tabela 7.2.4.4.

Tabela 7.2.4.4 – Plano de Disposição de Rejeitos para a Barragem 1

Volumes a serem depositados na Barragem 1					
Ano	Rejeito Grosso	Rejeito Fino	Lama	Total	Rejeito total Acumulado
m³					
1					
2					
3	6.400.162,33	38.868.885,00	2.120.121,00	47.389.168,33	47.389.168,33
4	6.014.960,96	36.529.515,00	1.992.519,00	44.536.994,96	91.926.163,29
5	6.366.092,47	38.661.975,00	2.108.835,00	47.136.902,47	139.063.065,75
6	6.399.754,79	38.866.410,00	2.119.986,00	47.386.150,79	186.449.216,55
7	6.550.216,44	39.780.180,00	2.169.828,00	48.500.224,44	234.949.440,99
8	6.631.723,29	40.275.180,00	2.196.828,00	49.103.731,29	284.053.172,27
9	5.965.486,30	36.229.050,00	1.976.130,00	44.170.666,30	328.223.838,58
10	7.325.591,10	44.489.115,00	2.426.679,00	54.241.385,10	382.465.223,67
11	6.483.054,79	39.372.300,00	2.147.580,00	48.002.934,79	430.468.158,47
12	7.195.995,21	43.702.065,00	2.383.749,00	53.281.809,21	483.749.967,67
13	8.406.904,11	45.808.620,00	2.367.144,00	56.582.668,11	540.332.635,78
14	8.413.520,55	48.257.550,00	7.896.690,00	64.567.760,55	604.900.396,33
15	8.264.986,30	47.405.600,00	7.757.280,00	63.427.866,30	668.328.262,63
16	7.308.095,89	41.917.150,00	6.859.170,00	56.084.415,89	724.412.678,52
17	7.807.301,37	44.780.450,00	7.327.710,00	59.915.461,37	784.328.139,89
18	8.023.917,81	46.022.900,00	7.531.020,00	61.577.837,81	845.905.977,70
Total	113.557.763,70	670.966.945,00	61.381.269,00	845.905.977,70	

A partir das informações apresentadas na Tabela 7.2.4.4, verifica-se que serão depositados no reservatório da Barragem 0,845 Mm³ de rejeitos (0,11 Mm³ de rejeito grosso, 0,67 Mm³ de rejeito fino e 0,06 Mm³ de lama), durante os 16 anos de operação da barragem (Anos 3 a 18).

Para o estudo de ocupação do reservatório, foi realizado a avaliação do Plano de Produção da Barragem 1 apresentado na Tabela 7.2.4.4, para a verificação do comportamento de ocupação do reservatório para a maciço inicial (até a EL. 890,00 m) de modo a verificar o tempo de vida útil da barragem nesta elevação e determinar o período do início dos alteamentos da barragem com o rejeito grosso.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 39/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Assim, o plano de produção apresentado na Tabela 7.2.4.4, foi plotado na curva cota x volume do reservatório da Barragem 1, apresentado na Figura 7.2.3.2 do presente documento, levando a configuração apresentada na Figura 7.2.4.1.

A partir das informações apresentadas na a Figura 7.2.4.1, verifica-se que o maciço inicial da Barragem 1 atende as necessidade de operação do Projeto Bloco 8 até o final do Ano 7 de operação. Assim, conclui-se que o maciço inicial na EL. 890,00 m irá operar entre os Anos 3 e 7 da operação do empreendimento, sendo os alteamentos sucessivos com o rejeito grosso, iniciados a partir do ANO 8.

Como parte do volume de rejeito grosso deverá ser utilizado para a construção do maciço, a curva Cota x Volume X Plano de Produção apresentada na Figura 7.2.4.1, deverá ser corrigida de modo a considerar a massa de rejeitos grossos que irá ser depositada diretamente sobre o talude de jusante da Barragem 1, considerando a metodologia de “Linha de Centro” para o alteamento.

Assim, a partir do ANO 8 os volumes de rejeito depositado no reservatório da Barragem 1 foram corrigidos, considerando a seguinte metodologia:

- Verifica-se a cota teórica do reservatório em função do Plano de Produção em que se inicia o processo de alteamento com o próprio rejeito, considerando os dados da Figura 7.2.4.1 (para o caso do Projeto Bloco 8 os estudos foram realizados a partir do ANO 7, com a cota referente ao final do ANO 8);
- Ao se determinar a cota do reservatório para o final do ANO de operação, a mesma deverá ser projetada na curva Cota x Volume referente ao maciço da Barragem 1 (ver Figura 7.2.3.1);
- Da curva Cota x Volume do maciço, é extraído o quantitativo de material a ser utilizado para a construção da Barragem na elevação referente ao Plano de Produção;
- Para se determinar o volume de rejeitos grossos a ser utilizado para a construção do maciço, deverá ser subtraído o volume de maciço obtido para a cota do volume necessário para a construção da barragem inicial;
- Obtido este volume, dar-se-á o cálculo dos volumes de material a serem considerados para a construção do alteamento em rejeito grosso anualmente. O cálculo deverá ser desenvolvido em Massa de rejeitos grossos, uma vez que as densidades do material lançado no reservatório e do material compactado na barragem são diferentes;



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-31

Folha
40/159

WBH28-17-SAM-RTE-0031

Revisão 01

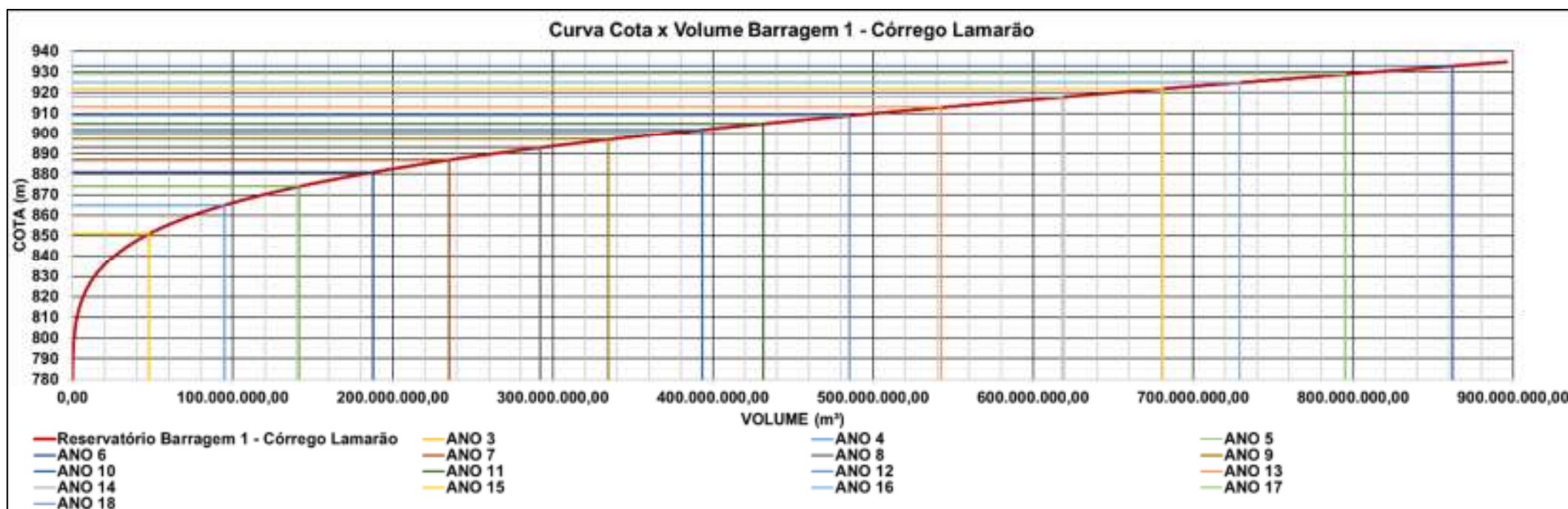


Figura 7.2.4.1 – Curva Cota x Área Volume do reservatório da Barragem 1 x Plano de Produção

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 41/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- A massa específica seca do material depositado no reservatório é igual a 1,46 t/m³ e a do maciço compactado é igual a 1,48 t/m³;
- Para a determinação da massa total de rejeitos necessário para a construção do maciço no ano do estudo, deverá ser aplicado a Equação 6.2, considerando a massa específica seca de 1,48 t/m³, denominada com M₁;
- Para o cálculo da massa de rejeitos lançados no ano de referência, deverá ser considerado o volume gerado para a Barragem 1 no ano de estudo, considerando os dados da Tabela 7.2.4.4, e aplicando a Equação 6.2 para a determinação dos materiais em massa considerando a massa específica seca de 1,46 t/m³, denominada como M₂;
- Para se determinar a massa total de rejeitos que será depositada no reservatório para o ano de estudo, subtrai-se a Massa de rejeitos do ano de produção pela massa a ser utilizada para a construção da barragem ($M_{\text{rejeito, reservatório}} = M_2 - M_1$);
- Para a determinação do volume real de rejeito grosso a ser depositado no reservatório, aplica-se novamente a Equação 6.2 para a massa calculada no item anterior ($M_{\text{rejeito, reservatório}}$), obtendo-se o volume de rejeitos grossos corrigidos para o estudo de ocupação do reservatório;
- Por fim, determina-se o volume total acumulado corrigido a partir da soma das produções do volume corrigido de rejeito grosso no processo anterior, somando-se as quantidades de rejeito fino e lama previstos ano a ano conforme a Tabela 7.2.4.4.

O procedimento de cálculo é apresentado no arquivo em excel denominado “BARRAGEM 1 - CÓRREGO LAMARÃO_REV 0” no Apêndice D do presente documento.

A Tabela 7.2.4.5 apresenta a correção do Plano de Produção para a Barragem 1 apresentada na Tabela 7.2.4.4, considerando os volumes a serem utilizados para a construção do alteamento contínuo da estrutura considerando a utilização de rejeito grosso pela metodologia de linha de centro.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 42/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 7.2.4.5 – Plano de Disposição de Rejeitos corrigido para a Barragem 1

Volumes reais a serem depositados na Barragem 1						
Ano	Calculo correção do Rejeito grosso		Rejeito Fino	Lama	Rejeito Total	Rejeito total Acumulado
	Rejeito Grosso	Rejeito Grosso Corrigido				
		m³				
1						
2						
3	6.400.162,33	6.400.162,33	38.868.885,00	2.120.121,00	47.389.168,33	47.389.168,33
4	6.014.960,96	6.014.960,96	36.529.515,00	1.992.519,00	44.536.994,96	91.926.163,29
5	6.366.092,47	6.366.092,47	38.661.975,00	2.108.835,00	47.136.902,47	139.063.065,75
6	6.399.754,79	6.399.754,79	38.866.410,00	2.119.986,00	47.386.150,79	186.449.216,55
7	6.550.216,44	6.550.216,44	39.780.180,00	2.169.828,00	48.500.224,44	234.949.440,99
8	6.631.723,29	2.836.402,97	40.275.180,00	2.196.828,00	45.308.410,97	280.257.851,95
9	5.965.486,30	592.883,56	36.229.050,00	1.976.130,00	38.798.063,56	319.055.915,51
10	7.325.591,10	3.270.796,58	44.489.115,00	2.426.679,00	50.186.590,58	369.242.506,09
11	6.483.054,79	3.441.958,90	39.372.300,00	2.147.580,00	44.961.838,90	414.204.344,99
12	7.195.995,21	2.837.091,10	43.702.065,00	2.383.749,00	48.922.905,10	463.127.250,09
13	8.406.904,11	4.149.369,86	45.808.620,00	2.367.144,00	52.325.133,86	515.452.383,95
14	8.413.520,55	2.635.438,36	48.257.550,00	7.896.690,00	58.789.678,36	574.242.062,31
15	8.264.986,30	3.601.972,60	47.405.600,00	7.757.280,00	58.764.852,60	633.006.914,91
16	7.308.095,89	2.862.855,44	41.917.150,00	6.859.170,00	51.639.175,44	684.646.090,35
17	7.807.301,37	1.912.815,79	44.780.450,00	7.327.710,00	54.020.975,79	738.667.066,14
18	8.023.917,81		46.022.900,00	7.531.020,00	53.553.920,00	792.220.986,14
Total	113.557.763,70	59.872.772,14	670.966.945,00	61.381.269,00	792.220.986,14	

Verifica-se que as alterações do volume de rejeitos grossos a serem depositados no reservatório sofrem alteração a partir do ANO 8 quando são iniciadas as operações de alteamento com o próprio rejeito, e parte do material será utilizada para a construção do alteamento contínuo da Barragem 1.

A partir das informações apresentadas na Tabela 7.2.4.5, verifica-se que serão depositados no reservatório da Barragem 1, em torno de 0,792 Mm³ considerando a correção dos lançamentos de material para a construção do alteamento.

Corrigido o Plano de Produção para a Barragem 1, os dados de produção foram novamente plotados na Curva Cota x Volume do reservatório da Barragem 1 apresentado na Figura 7.2.3.2, levando a Cota x Volume X Produção apresentada na Figura 7.2.4.2.

A partir dos cálculos realizados, verifica-se que a praia de rejeitos no final da operação da Barragem 1 deverá estar na EL. 928,75 m, com borda livre em relação a crista da barragem na EL. 935,00 m de 6,25 m.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-31

Folha
43/159

WBH28-17-SAM-RTE-0031

Revisão 01

Curva Cota x Volume X Produção - Reservatório Barragem 1

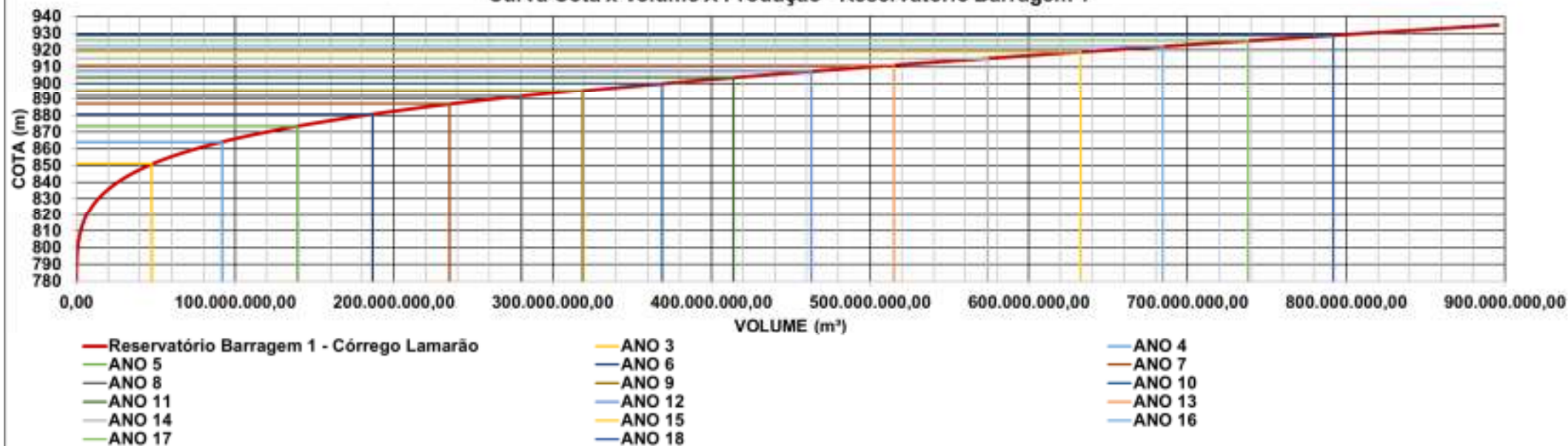


Figura 7.2.4.2 – Curva Cota x Volume X Produção corrigida para a Barragem 1.



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-31

Folha
44/159

WBH28-17-SAM-RTE-0031

Revisão 01

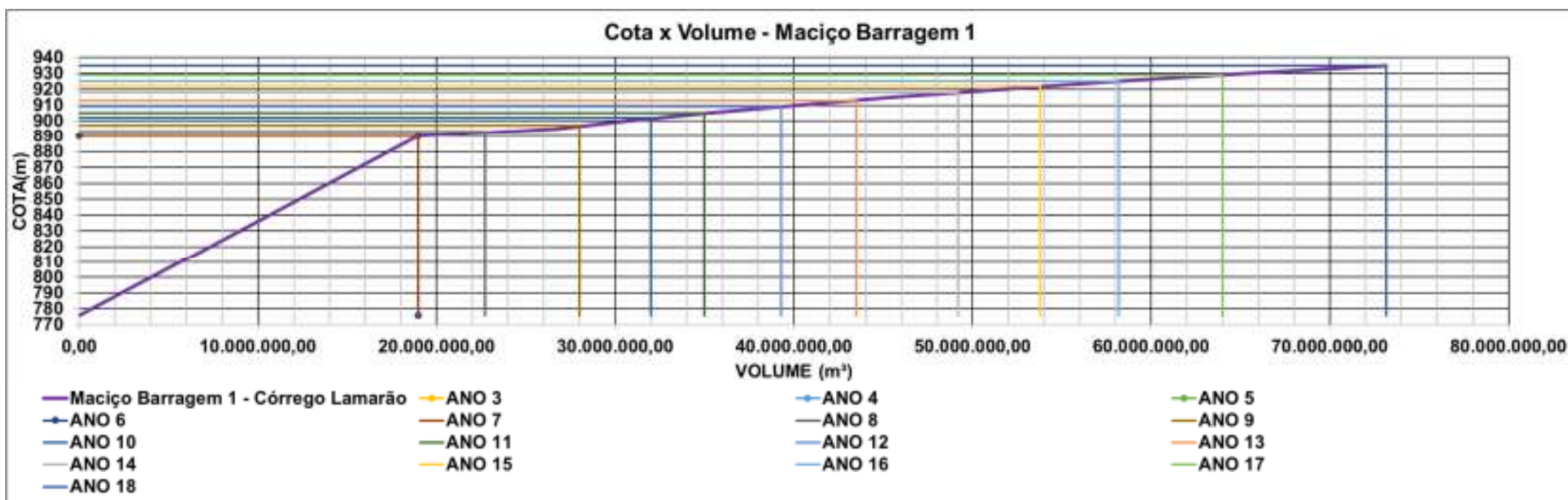


Figura 7.2.4.3 – Curva Cota x Volume X Ano – Maciço Barragem 1

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 45/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

A Figura 7.2.4.3 apresenta a posição do crescimento do maciço da Barragem 1 ano a ano de operação, considerando a curva cota Volume do maciço.

A partir dos cálculos apresentados no Apêndice D e da interpretação da Figura 7.2.4.2 e Figura 7.2.4.3 foi possível avaliar os comportamentos de crescimento anual da barragem alteada continuamente em rejeito grosso, reservatório e elaborar as curvas Cota x Tempo para a Barragem 1 e seu respectivo reservatório.

A Figura 7.2.4.4 e Figura 7.2.4.5 apresentam as curvas tempo para o maciço da Barragem 1 e para os crescimentos conjuntos do maciço e reservatório, respectivamente.

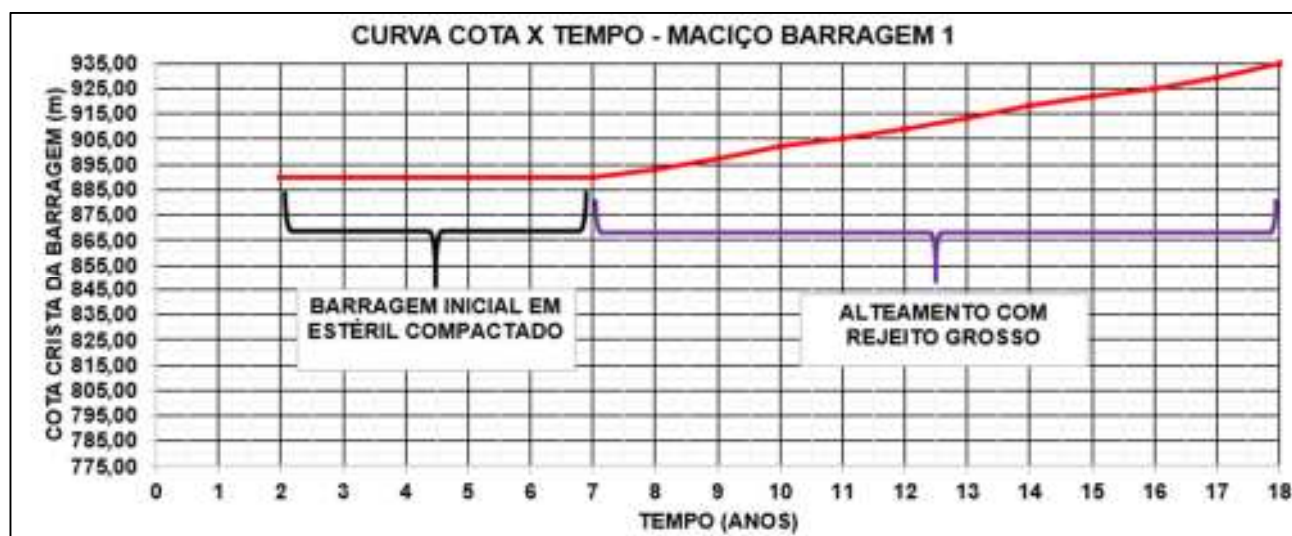


Figura 7.2.4.4 – Curva Cota x Tempo para o Maciço da Barragem 1

A Figura 7.2.4.6 apresentam os gráficos de crescimento anual do maciço da Barragem 1, sendo verificado que entre os Anos 3 e 7 da operação da estrutura não apresenta crescimentos, por se tratar do período máximo de operação do maciço inicial. A partir do Ano 8, os crescimentos são referentes aos alteamentos contínuos da Barragem 1 com o próprio rejeito, sendo possível verificar que os crescimentos são da ordem de 3,00 a 6,00 m/anos.

Já a Figura 7.2.4.7 apresenta o comportamento de crescimento do reservatório do rejeito anualmente. Analisando o gráfico, verifica-se que os crescimentos anuais da barragem a partir do início das

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 46/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

operações de alteamento com o próprio rejeito são inferiores a 5,00 m/ano, considerado adequado pela prática corrente, condicionado pela capacidade de suporte da praia de montante para o talude de montante dos maciços do alteamento. Esta altura “limite” deveria ser testada durante o primeiro alteamento, verificando a possibilidade de ser aumentada ou até ser necessária redução.

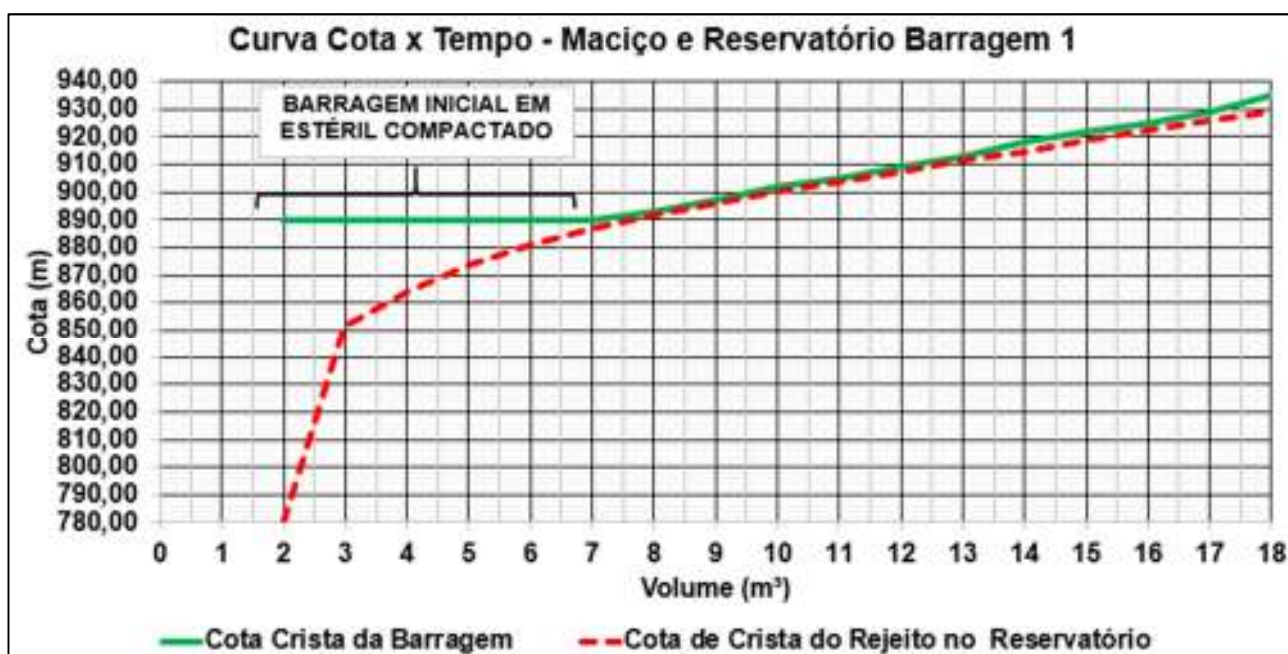


Figura 7.2.4.5 – Curva Cota x Tempo do Maciço e Reservatório da Barragem 1

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 47/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01



Figura 7.2.4.6 – Crescimento anual do maciço da Barragem 1



Figura 7.2.4.7 – Crescimento anual do reservatório da Barragem 1

A partir dos estudos realizado pode-se concluir que:

- O maciço inicial da Barragem 1 deverá estar concluído no início do ANO 3 de operação do empreendimento;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 48/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- 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 1, são atendidos integralmente;
- O maciço inicial da Barragem 1 na EL. 890 m atenderá aos volumes de produção dos rejeitos do Anos 3 ao 7;
- A partir do Ano 7 inicia-se a operação de alteamento com o rejeito grosso;
- Os alteamentos anuais do maciço em rejeito grosso são inferiores a 5,00 m por ano (condição segura em termos de liquefação), a exceção do último alteamento (6,00 m), que poderá ser reduzido para 5 m, em decorrência da ampla borda livre (6,25 m) prevista na etapa final entre a praia de rejeitos e a crista na El. 935 m;
- Os alteamentos do reservatório a partir dos alteamentos em linha de centro são inferiores a 5,00 m (condição segura em termos de liquefação);
- Há volume para alteamento em rejeito em todas as etapas do alteamento.

Ressalta-se ainda que o crescimento anual do reservatório da Barragem 1 e do maciço em rejeito grosso, considerando a metodologia de alteamento de Linha de centro, apresentam valores dentro das boas práticas de engenharia, conforme citado em VICK (1970) que para barragens alteadas para montante, recomenda-se que os valores anuais sejam da ordem de 4,00 a 5,00 m/ano.

7.2.5 Água Liberada do rejeito para a Barragem 1

O presente item apresenta o estudo realizado para a determinação do volume de água liberada 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 7.2.4.5 para a Barragem 1, dados do Fluxograma de Processo da SAM, conforme documentos “BLC8-2010-P-0012” e “BLC8-2010-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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 49/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

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.

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

Equação 7.2.5.1

Para de 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.

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

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.

$$\text{Volume de água}_{\text{Liberada}} = \text{Volume de água}_{\text{Polpa}} - \text{Volume de água}_{\text{Retido no rejeito}}$$

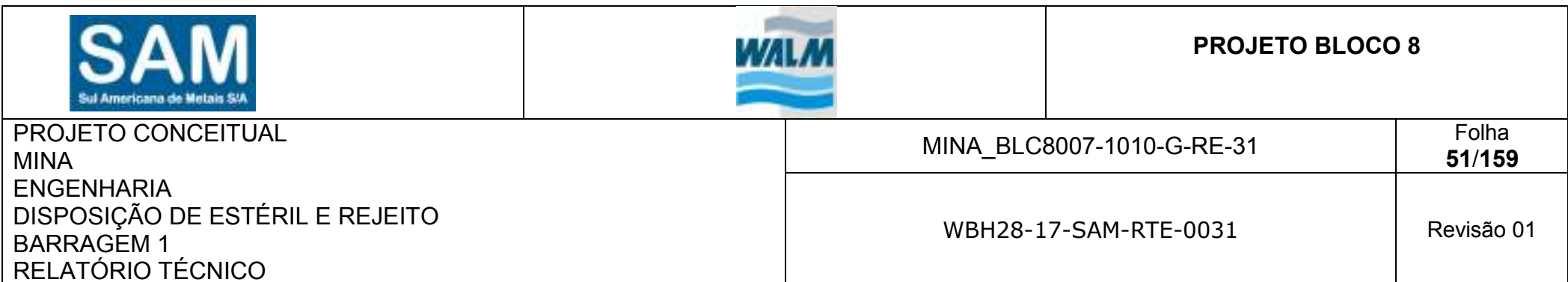
Equação 7.2.5.3

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 50/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

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 7.2.4.5, 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 regida no rejeito, ano a ano para a ocupação da Barragem 1.

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 1 apresentado no item 10.5 do presente documento.



		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 51/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 51/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 51/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 51/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 51/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 51/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

Tabela 7.2.5.2 – Cálculo do Volume de água liberada do rejeito na Barragem 1

[illegible]

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 52/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 53/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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



PROJETO BLOCO 8

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
BARRAGEM 1
RELATÓRIO TÉCNICO

MINA_BLC8007-1010-G-RE-31

Folha
54/159

WBH28-17-SAM-RTE-0031

Revisão 01

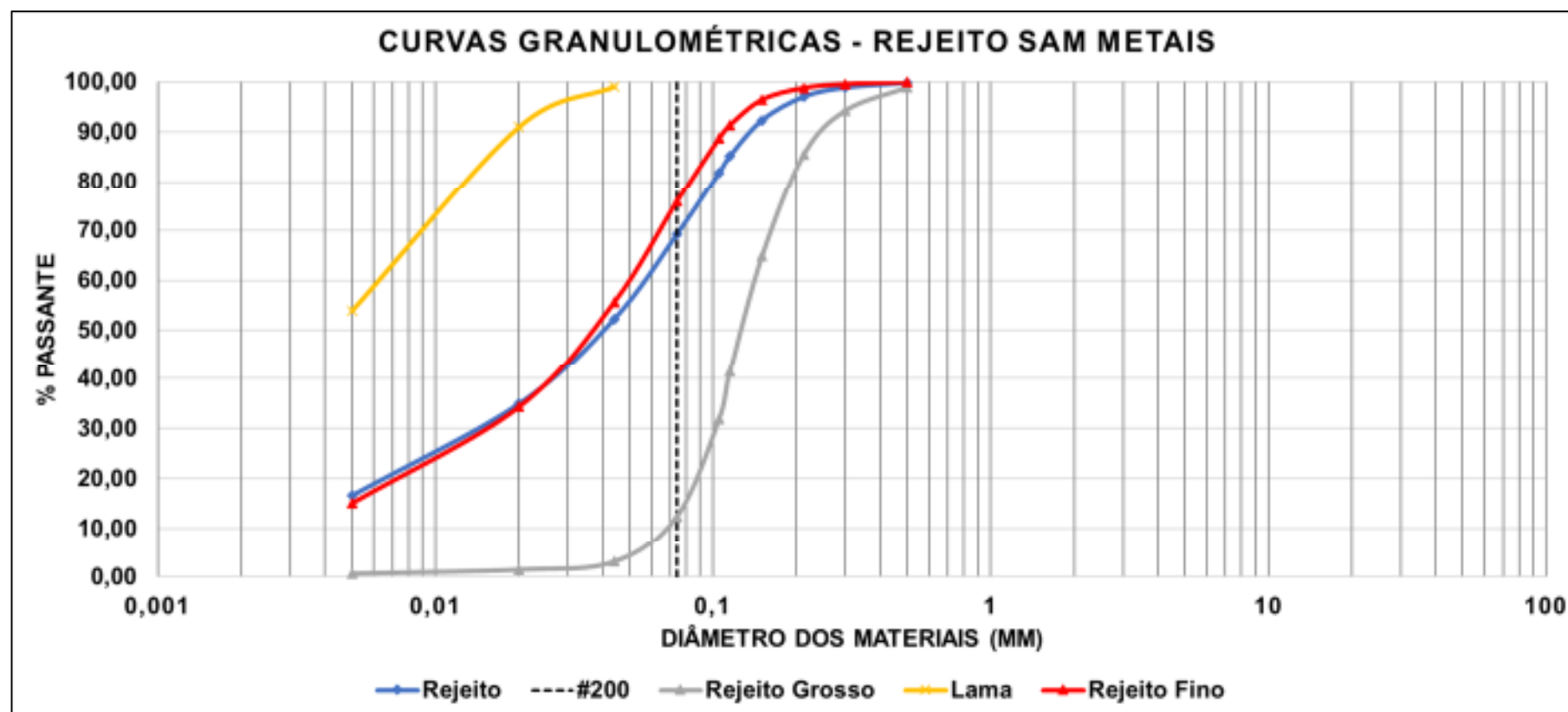


Figura 8.1.1.1 – Curvas Granulométricas resultantes da distribuição granulométrica para os materiais disponibilizados pela SAM

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 55/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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 de partida e maciço dos alteamentos em rejeito grosso.

9.1 TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

É importante salientar que não foram realizados mapeamento geológico-geotécnico 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 dique de partida em 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, bem como a

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 56/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

redução de 1000 vezes da permeabilidade do sistema de drenagem interna do dique de partida e dique de sela e de 100 vezes da permeabilidade do sistema de drenagem interna do alteamento construído com rejeito;

- 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 em quatro seções (A-A, B-B, C-C, D-D), tanto para o maciço principal quanto para o dique de sela.

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
Rejeito Grosso	$1,0 \times 10^{-5}$	0,10
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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 57/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 9.2.1.2 - Vazão percolada pela barragem.

Etapa	Seção	Comprimento da praia de rejeitos (m)	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Vazão Total (m³/s)
Barragem Final	A-A	883,54	4,43E-06	3,92E-03
	B-B	1225,42	8,08E-06	9,90E-03
	C-C	1112,47	4,86E-06	5,40E-03
	D-D	1130,87	4,30E-06	4,86E-03

Tabela 9.2.1.3 - 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	A-A	1221,62	1,44E-06	1,76E-03
	B-B	1522,38	1,81E-06	2,75E-03
	C-C	1426,03	7,37E-07	1,05E-03
	D-D	1893,37	1,08E-06	2,04E-03

A partir dos resultados das análises de percolação, foram realizadas análises de estabilidade dos taludes de jusante e montante do dique de partida e do talude de jusante da barragem final e do dique de sela, 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.

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 58/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

As análises de estabilidade foram realizadas em uma seção, Seção B-B, tanto para o dique de partida quanto para o barramento final e dique de sela. Para o dique auxiliar a jusante da barragem foi realizada apenas na seção considerada a mais crítica.

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 ($ru = u/\sigma_v$) igual a 0,15 para o solo compactado e $ru = 0,10$ 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.

Tanto para a barragem final quanto para o dique auxiliar não será realizada análise entre bermas, pois o talude de jusante final não apresenta bermas.

Para o dique auxiliar não será realizada análise crítica, uma vez que o dique é em enrocamento.

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

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

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 59/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 9.2.2.1 - Parâmetros de Resistência dos Materiais

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Enrocamento	20	0	36
Núcleo Argiloso	18	20	28
Estéril	19	12	28
Fundação	21	15	30
Rejeito	23	10	33
Rejeito Grosso	21	13	35
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	1,30	Figura B 1
			Montante		1,31	Figura B 2
		Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,55	Figura B 3
			Entre Bermas	1,50	1,85	Figura B 4
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,55	Figura B 5
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,49	Figura B 6
Barragem Final	Operacional	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	2,17	Figura B 7
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	2,17	Figura B 8
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,98	Figura B 9
Dique de Sela	Operacional	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,70	Figura B 10
			Entre Bermas	1,50	1,90	Figura B 11

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 60/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Etapa	N.A	Condição	Talude	FS Requerido	FS Obtido	Figura
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	1,70	Figura B 12
		Superfície Freática Crítica	Jusante	1,30	1,70	Figura B 13
Dique Auxiliar	Operacional	Final de Construção	Jusante	1,30	2,47	Figura B 14
			Montante		1,84	Figura B 15
	Máximo Maximorum	Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	2,38	Figura B 16
		Superfície Freática Normal	Jusante	1,50	2,38	Figura B 17

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 1 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 61/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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.

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

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.

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:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 62/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- 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 equivalente a 0,037 g (já corrigida a incerteza da lei de atenuação), com período de retorno e 965 anos.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 63/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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/s²) ($a_{\text{pico,rocha}}=0,037 \text{ g}$).

Para mais detalhes em relação ao estudo de sismo natural para a área do Projeto Bloco 8, consultar o documento MINA_BLC8007-1010-G-RE-34-00 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 ($a_{\text{pico}}=0,04 \text{ g}$).

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 ($a_{\text{pico}}=0,037 \text{ g}$) são extremamente próximos aos valores do Mapa de Ameaça Sísmica ($a_{\text{pico}}=0,04 \text{ g}$), 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 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 64/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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 de pé. Objetos suspensos vibram. Moveis quebram. Danos em construção de má qualidade, algumas trincas em construção normal. Queda de reboco, ladrilhos ou	0,08 a 0,15

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 65/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Grau	Descrição dos Efeitos	Aceleração (g)
	tijolos mal assentados e telhas. Ondas em piscinas. Pequenos escorregamentos em taludes arenosos.	
VIII (Muito Forte)	Danos em construções normais com colapso parcial. Alguns danos em construções reforçadas. Queda de estuque e alguns muros de alvenaria. Queda de chaminés, monumentos, torres e caixas d'água. Galhos de árvores são quebrados. Trincas são evidenciadas na superfície.	0,15 a 0,30
IX (Muito Forte)	Pânico Geral. Construções comuns bastante danificadas, às vezes com colapso total. Danos em construções reforçadas. Tubulações subterrâneas quebradas. Rachadura visível na superfície do solo.	0,30 a 0,60
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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 66/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

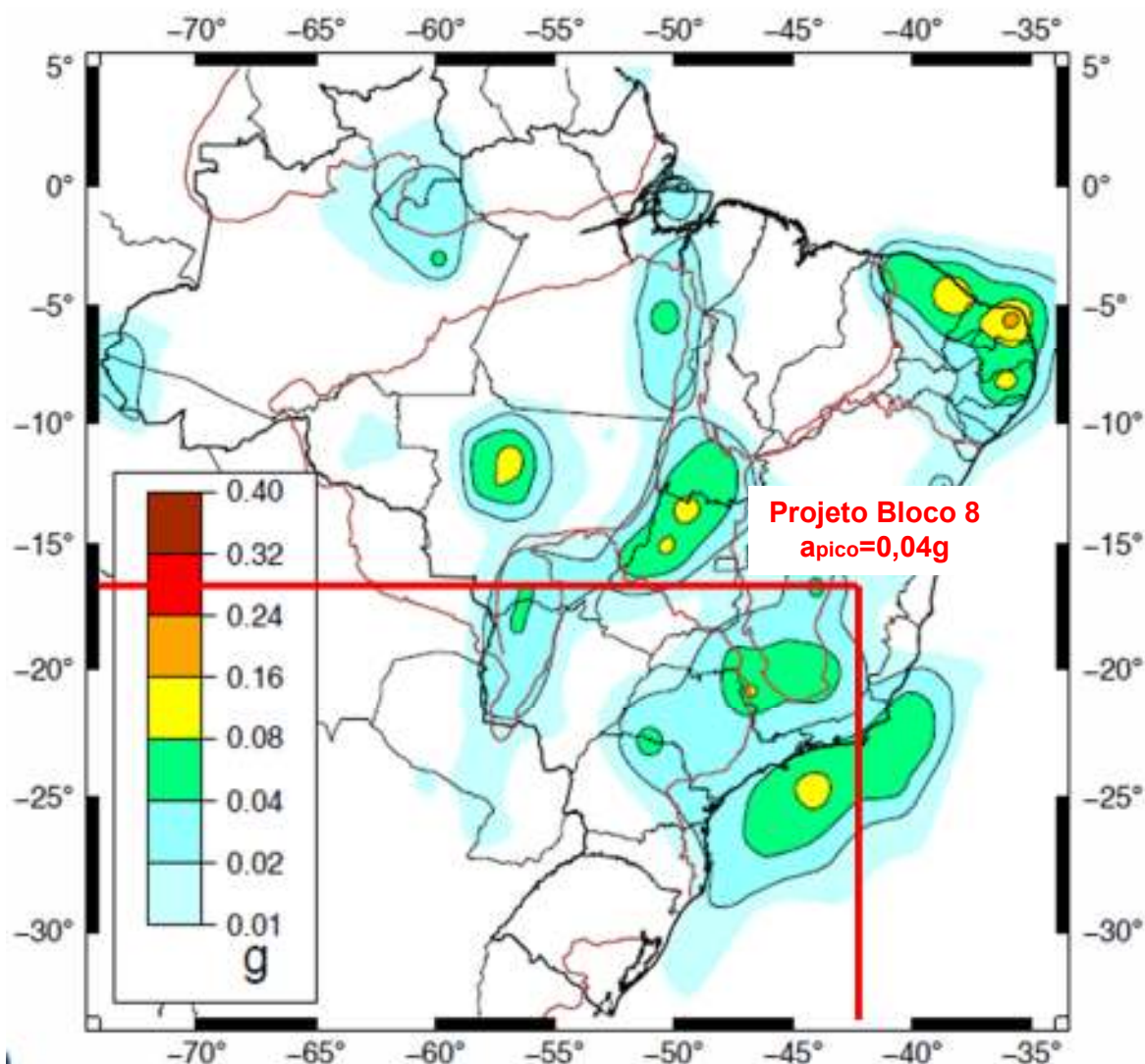


Figura 9.2.3.1.1.1 - Mapa de Ameaça Sísmica Brasileiro (Assumpção et al., 2016)

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

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 67/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

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
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 sensíveis	1,0	1,0
		0,5 se a análise de resposta não é realizada			

Neste estudo, adotou-se o método de Hynes-Griffin & Franklin (1984). Seguindo a recomendação da metodologia deste autor foi realizada a redução de resistência de todos os materiais conforme Tabela 9.2.3.1.1.3.

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 1 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 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 68/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	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' (°)
Enrocamento	20	0	30,17
Núcleo Argiloso	18	16	23,04
Aterro	19	9,6	23,04
Fundação	21	12	24,79
Rejeito	23	8,0	27,45
Rejeito Grosso	21	10,4	29,26
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	1,17	Figura C 1
Barragem Final					1,62	Figura C 2
Dique de Sela					1,29	Figura C 3
Dique Auxiliar					1,79	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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 69/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Estas estruturas englobam os barramentos do Projeto Bloco 8, no qual está inserida a Barragem 1. Para a verificação dos impactos causados pelas detonações ao longo do empreendimento, foi realizado pela SAM o estudo relativo ao sismo desencadeado pelas detonações na área do Projeto Bloco 8, considerando o Plano de Lavra proposto pela 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 entre a detonação e o ponto de estudo alvo de alguma proteção em metros (m);

Q = Carga detonada por espera em quilograma (kg).

A NBR 9653 (ABNT, 2018) considera alguns limites em função da frequência, e que varia bastante, em função principalmente da rocha, e subsidiariamente de características do desmonte e ainda da

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 70/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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).

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 1 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 1 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 1.

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 71/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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.

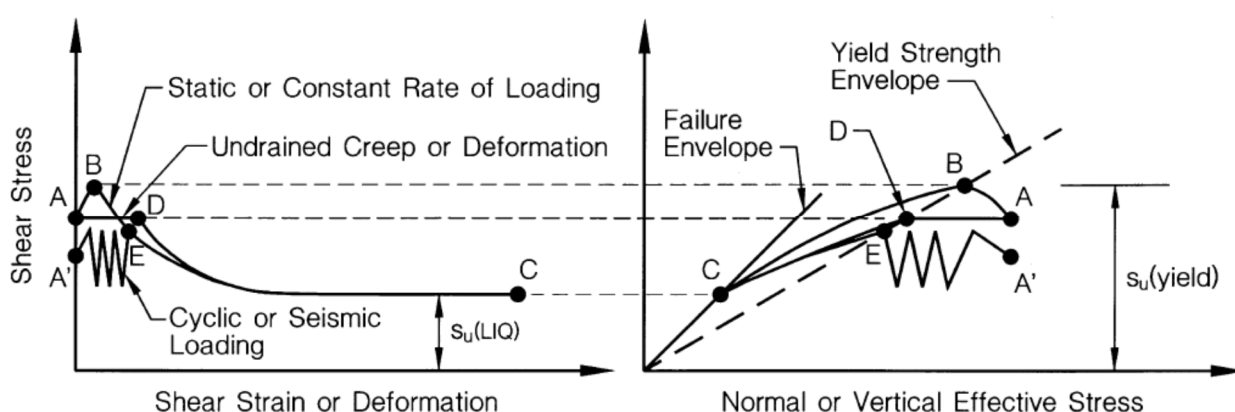


Figura 9.2.4.1 - Comportamento esquemático de um solo arenoso contrátil, saturado e em condições de carregamento não drenado (Fonte: Olson, 2001 e Olson & Stark, 2003).

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:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 72/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- 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 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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 73/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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 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.

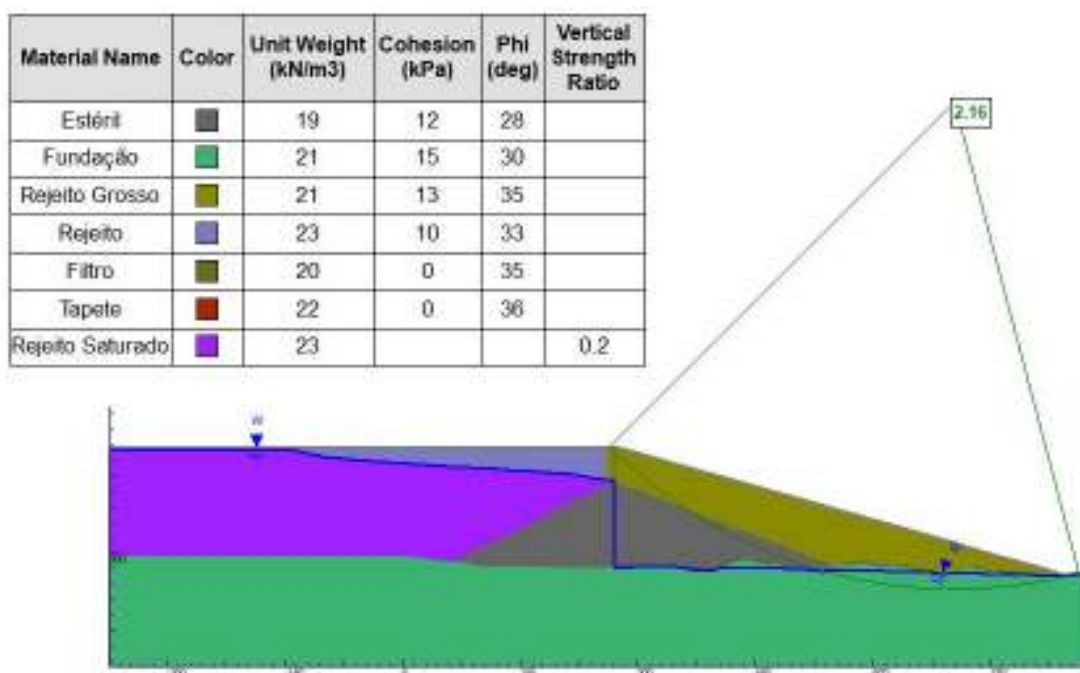


Figura 9.2.4.2 - Análise de Liquefação preliminar - $S_u(\text{pico})/\sigma'_{vo}$ igual a 0,2 – FS= 2,16

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 apresenta-se não saturado e compactado, não sendo susceptível à liquefação.

Recomenda-se, porém, refazer a análise de liquefação após obtenção dos ensaios de labora do rejeito.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 74/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

9.2.5 Drenagem Interna

9.2.5.1 Dique de Partida

O sistema de drenagem interna do dique de partida e dique 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: A-A, B-B, C-C e D-D, tanto para o maciço principal quanto para o dique 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

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:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 75/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- 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 para o 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, $\Delta h = e$:

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

9.2.5.1.1 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:

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

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 76/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 9.2.5.1.1 – Espessura do Filtro Vertical – Dique de Partida.

Etapa	Seção	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Espessura (cm)
Dique de Partida	A-A	2,94E-06	5,89
	B-B	3,94E-06	7,88
	C-C	2,49E-08	0,05
	D-D	1,55E-06	3,10

Tabela 9.2.5.1.2 – Espessura do Filtro Vertical - Dique de Sela.

Etapa	Seção	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Espessura (cm)
Dique de Sela	A-A	1,22 E-07	0,24
	B-B	1,04 E-07	0,21
	C-C	6,90 E-08	0,14
	D-D	2,74 E-08	0,05

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 cada região, a partir das vazões resultantes nas análises correspondentes. 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 A-A, B-B, C-C e D-D, tanto para a barragem principal quanto para o dique de sela.

Portanto, a vazão total considerada nestas seções serão:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 77/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 9.2.5.1.3 – Vazão Total – Dique de Partida.

Etapa	Seção	Vazão (m³/s/m)	L (m)	Vazão (m³/s)
Dique de Partida	A-A	4,21 E-06	883,54	3,72 E-03
	B-B	7,80 E-06	1225,42	9,55 E-03
	C-C	3,18 E-06	1112,47	3,54 E-03
	D-D	2,96 E-06	1130,87	3,35 E-03

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	A-A	1,44 E-06	1221,06	1,76E-03
	B-B	1,81 E-06	1522,38	2,75E-03
	C-C	7,37 E-06	1426,03	1,05E-03
	D-D	1,08 E-06	1893,37	2,04E-03

Desta forma, considerando o gradiente igual a 0,02 m/m, obtém-se as seguintes espessuras:

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

Tabela 9.2.5.1.5 - Dimensionamento tapete horizontal – Dique de Partida

Trechos	Material	Coefficiente de permeabilidade k (m/s)	i (m/m)	e (cm)	e_{adotado} (m)
A-A	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,02	128,63	1,50
B-B	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,02	62,07	1,00
C-C	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,02	40,42	0,50
D-D	Brita	5,0 x 10 ⁻²	0,02	78,62	1,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 78/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Tabela 9.2.5.1.6 - Dimensionamento tapete horizontal - Dique de Sela

Trechos	Material	Coefficiente de permeabilidade k (m/s)	i (m/m)	e (cm)	e _{adotado} (m)
A-A	Brita	$5,0 \times 10^{-2}$	0,02	1,44	0,50
B-B	Brita	$5,0 \times 10^{-2}$	0,02	22,72	0,50
C-C	Brita	$5,0 \times 10^{-2}$	0,02	2,81	0,50
D-D	Brita	$5,0 \times 10^{-2}$	0,02	9,65	0,50

Assim, para a região do fundo do talvegue, foi adotado tapete do tipo ‘sanduiche’ com núcleo drenante em brita 0 envolto por transição geotécnica em areia.

O desenho de projeto nº MINA_BLC8007-1010-O-74 E MINA_BLC8007-1010-O-75 apresenta os detalhes do sistema de drenagem interna para a Instalação de Disposição de Rejeitos do Dique de Partida 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.

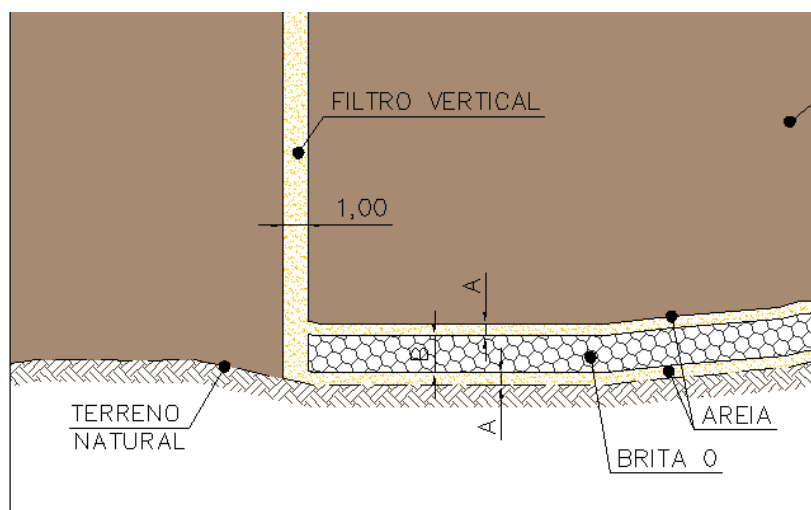


Figura 9.2.5.1.1 - Detalhe típico da seção do tapete do fundo do talvegue do Dique de Partida.

9.2.5.2 Dreno de Fundo do Maciço Construído com Rejeito

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 79/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Para garantir que não haja a saturação e desestabilização do maciço de jusante da barragem, foi prevista a implantação do sistema de drenagem interna (dreno de fundo) no fundo do talvegue à jusante da barragem, cuja função será de receber uma parcela de água liberada pelo rejeito grosso, a água percolada pela estrutura e, por fim, a água de precipitação pluviométrica incidente sobre o maciço.

O sistema de drenagem interna foi definido através de estudos relativos à determinação da chuva de projeto (precipitação média mensal), do cálculo das vazões percoladas pelo maciço e da vazão liberada pelo rejeito grosso.

O dimensionamento hidráulico para a determinação da área mínima do dreno de fundo foi calculado considerando a utilização do Método de Wilkins, conforme descrito por Leps (1963) – Flow Throug Rockfill – in: Embankment Dam Engineering – Casagrande Volume, uma vez que o preenchimento do talvegue se dará por blocos de rocha angulosos de granulometria aberta, de ordem decimétrica que, em geral, levam a condições de escoamento turbulentas.

O dreno de fundo é responsável por coletar toda a vazão percolada pelo sistema de drenagem interna do dique de partida, bem como a água liberada pelo rejeito grosso e pela precipitação direta no talude de jusante.

Cálculo da Água Liberada pelo Rejeito

O cálculo da água liberada pelo rejeito baseou-se no volume anual de lançamento de rejeito no paramento de jusante da barragem (Tabela 9.2.5.2.1).

Tabela 9.2.5.2.1 - Volume de lançamento anual de rejeito

Ano	Volume Aterro (m³)
1	-
2	-
3	270.000,00
4	480.000,00
5	470.000,00
6	500.000,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 80/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Ano	Volume Aterro (m³)
7	573.000,00
8	657.000,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	3.744.032,21
9	5.300.000,00
10	4.000.000,00
11	3.000.000,00
12	4.300.000,00
13	4.200.000,00
14	5.700.000,00
15	4.600.000,00
16	4.385.169,63
17	5.814.830,37
18	5.814.830,37

Como pode ser observado, o volume de lançamento varia anualmente, sendo seu pico de lançamento no ano 18, com volume igual a 5.814.830,37 m³.

O dimensionamento da água liberada pelo rejeito será baseado no ano em que a estrutura apresenta pico de lançamento.

$$V = 5.814.830,37 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{5.814.830,37}{365} = 15.931,042 \text{ m}^3/\text{dia}$$

O peso específico aparente seco do rejeito compactado na barragem é igual a $\gamma_d = 1,48 \text{ t/m}^3$, sendo assim a massa de rejeito por dia será:

$$P = 15.931,042 \times 1,48 = 23.577,94 \text{ t/dia}$$

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 81/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

O teor de sólidos da polpa do rejeito de separação magnética que será utilizado como material de construção é igual a 60,00%, e será utilizado para o cálculo do aporte de água no rejeito.

$$V_W = \frac{W_S}{T_S} - W_S \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

V_W – Volume de água;

W_S – Peso de sólidos;

T_S – Teor de sólidos.

Assim, o volume de água na descarga do rejeito será:

$$V_W = \frac{23.577,94}{0,60} - 23.577,94$$

$$V_W = 15.718,62 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A água retida no rejeito está diretamente ligada à umidade ótima necessária à compactação deste rejeito no rejeito. No presente projeto, esta umidade admitida é de $W_0 = 12\%$. Assim, a água retida no rejeito é obtida a partir da equação:

$$V_{W(\text{retida})} = W_0 * W_S \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$V_{W(\text{retida})}$ – Água retida no rejeito;

W_0 – Umidade ótima de compactação;

W_S – Peso de sólidos.

O volume de água retida no rejeito será:

$$V_{W(\text{retida})} = 0,12 \times 23.577,94$$

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 82/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

$$V_{W(retida)} = 2.829,35 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Por fim, a água que será liberada pelo rejeito para a drenagem interna será:

$$\Delta V_W = 15.718,62 - 2.829,35$$

$$\Delta V_W = 12.889,27 \text{ m}^3/\text{dia} = 537,05 \text{ m}^3/\text{h} = 0,149 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caracterização Climática

Os estudos para a determinação da vazão de dimensionamento para o dreno de fundo se baseiam nos dados médios mensais de precipitação na região do projeto, de forma a se determinar a vazão para o dreno.

Para os dados de precipitação média mensal, foram utilizados os dados da Estação Guirapa (Umburanas) (Código ANA: 01442010), que se encontra nas proximidades da região na área de implantação do sistema de disposição de rejeitos, fornecendo dados consistentes para o dimensionamento.

Os dados de precipitação médio mensais obtidos através do tratamento estatístico da série histórica disponibilizada pela ANA são apresentados na Tabela 9.2.5.2.2.

Tabela 9.2.5.2.2 - Dados da precipitação média mensal.

Estação GUIRAPA (UMBURANAS) - 01442010	
Mês	Média mensal de chuva (mm)
Jan	162,56
Fev	99,19
Mar	136,62
Abr	45,38
Mai	13,62
Jun	5,29
Jul	5,64
Ago	5,51
Set	16,34

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 83/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Estação GUIRAPA (UMBURANAS) - 01442010	
Mês	Média mensal de chuva (mm)
Out	90,56
Nov	209,6
Dez	226,62

Considerou-se que há 100% de infiltração.

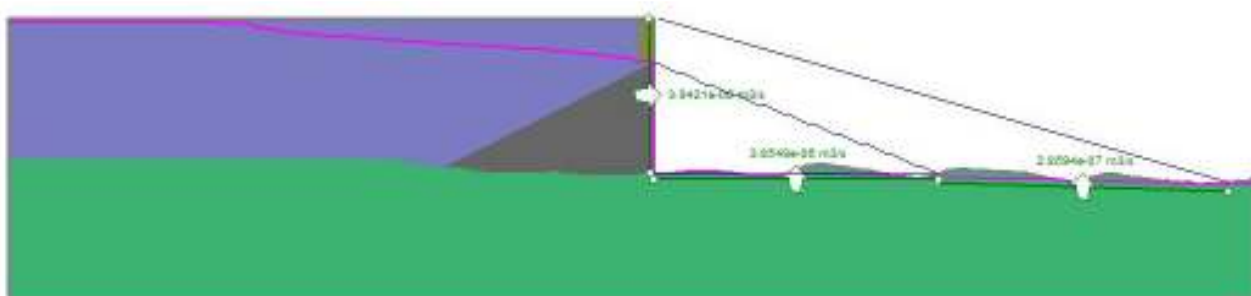
Vazão Percolada pelo Maciço

Conforme já descrito no item 9.2.1, as análises de percolação foram realizadas de forma a conduzir, além das análises de estabilidade, o dimensionamento do sistema de drenagem interna (dreno de fundo).

Para o sistema de drenagem interna (dreno de fundo), a vazão de contribuição pela percolação foi definida como sendo a seção de maior altura da barragem, correspondente ao final de construção na EL. 935,00. A análise de percolação pode ser visualizada na Figura 9.2.5.2.1 e a vazão percolada na Tabela 9.2.5.2.3.



Figura 9.2.5.2.1 - Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção A-A



		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 84/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Figura 9.2.5.2.2 - Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção B-B

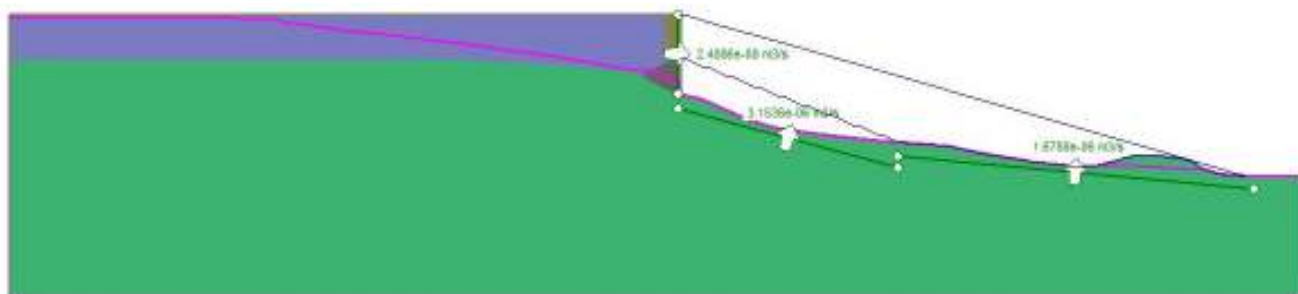


Figura 9.2.5.2.3 - Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção C-C

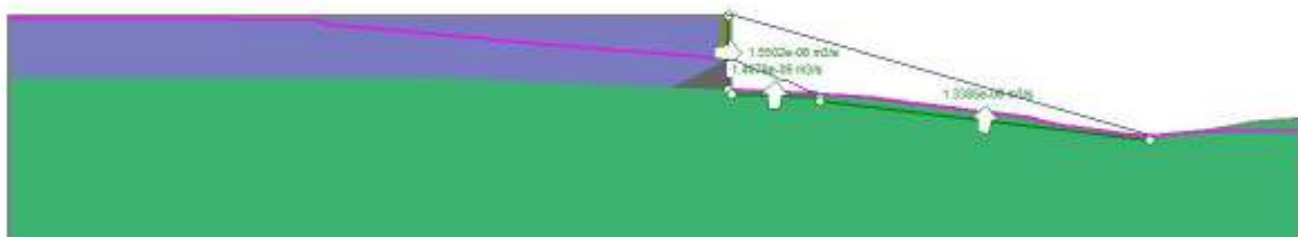


Figura 9.2.5.2.4 - Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção D-D

Tabela 9.2.5.2.3 - Vazão percolada pela barragem na EL. 935,00.

Etapa	Seção	Comprimento da praia de rejeitos (m)	Vazão Unitária na seção (m³/s/m)	Vazão Total (m³/s)
Barragem Final	A-A	883,54	2,1833E-07	1,93E-04
	B-B	1225,42	2,8594E-07	3,50E-04
	C-C	1112,47	1,6788E-06	1,87E-03
	D-D	1130,87	1,3385E-06	1,51E-03

Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento hidráulico para a determinação da área mínima do dreno de fundo foi calculado considerando a utilização do Método de Wilkins, conforme descrito por Leps (1963) – Flow Throug

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 85/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Rockfill – in: Embankment Dam Engineering – Casagrande Volume, uma vez que o preenchimento do talvegue se dará por blocos de rocha angulosos de granulometria aberta, de ordem decimétrica que, em geral, levam a condições de escoamento turbulentas.

O material a ser utilizado na seção do dreno de fundo do Sistema de Disposição de Rejeitos deverá apresentar D50 (diâmetro efetivo) igual a 4" (100 mm).

A equação do Método de Wilkins é dada por:

$$V_V = Wm^{0,5} \chi i^{0,54} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,

V_V – Velocidade efetiva do escoamento (m/s);

W – Constante empírica que vale 33;

$m^{0,5}$ – Raio hidráulico médio (m), definido com a razão entre o volume dos vazios e a área superficial das partículas, com valor aproximado de D50/8;

$Wm^{0,5}$ – Valor tabelado (Tabela 9.2.5.2.4);

$i^{0,54}$ – Gradiente hidráulico (adimensional).

Tabela 9.2.5.2.4 - Permeabilidade em regime turbulento estimada pela equação de Wilkins

D₅₀	m	m^{0,5}	Wm^{0,5}
¾"	0,09	0,30	10
2	0,24	0,49	16
6	0,75	0,87	28
8	0,95	0,98	32
24	3,11	1,76	58
48	6,43	2,54	84

(Fonte: Leps, 1973)

Interpolando os valores da Tabela 9.2.5.2.4 para o D50 adotado para o dreno de fundo, temos que o valor Wm^{0,5} é da ordem de 22.

O gradiente hidráulico do dreno de fundo, determinado na seção de análise do fundo de talvegue é da ordem de 0,056, 0,028, 0,096, 0,124 m/m, para as seções A-A, B-B, C-C e D-D, respectivamente.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 86/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Assim, a velocidade efetiva do escoamento será de:

Tabela 9.2.5.2.5 – Velocidade Efetiva.

Etapas	Seção	Gradiente (m/m)	Velocidade (pol/s)	Velocidade (m/s)
Barragem Final	A-A	0,056	4,64	0,118
	B-B	0,028	3,19	0,081
	C-C	0,096	6,21	0,158
	D-D	0,124	7,13	0,181

Determinada a velocidade efetiva de escoamento nos vazios do enrocamento, toma-se a vazão de projeto e calcula-se, por meio da equação da continuidade a área de enrocamento necessária ao escoamento da referida vazão.

$$A_{dreno} = \frac{FS \times Q_{projeto}}{V_v} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde,

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

FS – Fator de segurança = 10;

$Q_{projeto}$ – Vazão de projeto (m³/s);

V_v – Velocidade efetiva de escoamento (m/s), definida a partir da Equação 4.

A vazão de projeto corresponde a soma das vazões de percolação, a vazão da precipitação no mês de maior ocorrência, da água liberada pelo rejeito e da vazão afluente. Assim, a vazão de projeto será:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 87/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 9.2.5.2.6 – Vazão do Projeto.

Etapas	Seção	Vazão Percolada (m³/s)	Vazão da Precipitação (m³/s)	Vazão da Água do Rejeito (m³/s)	Vazão Afluente (m³/s)	Vazão Total (m³/s)
Barragem Final	A-A	1,93E-04	2,78E-02	2,04E-02	3,27E-03	5,16E-02
	B-B	3,50E-04	4,38E-03	2,83E-02	9,55E-03	4,26E-02
	C-C	1,87E-03	3,74E-02	2,57E-02	3,54E-03	6,85E-02
	D-D	1,51E-03	3,22E-02	2,61E-02	3,35E-03	6,32E-02

A área de enrocamento para o dreno de fundo será:

$$A_{dreno} = \frac{FS \times Q_{projeto}}{V_v}$$

Tabela 9.2.5.2.7 – Área do Dreno.

Etapas	Seção	FS	Velocidade (m/s)	Vazão Total (m³/s)	Área (m²)
Barragem Final	A-A	10	1,93E-04	5,16E-02	4,4
	B-B	10	3,50E-04	4,26E-02	5,3
	C-C	10	1,87E-03	6,85E-02	4,4
	D-D	10	1,51E-03	6,32E-02	3,5

Considerando a porosidade do enrocamento igual a $\eta = 0,35$, a área efetiva da seção do enrocamento será:

$$A_{efetiva} = \frac{A_{dreno}}{\eta_{enrocamento}}$$

Tabela 9.2.5.2.8 – Área Efetiva do Dreno.

Etapas	Seção	Área (m²)
Barragem Final	A-A	12,6

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 88/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

	B-B	15,1
	C-C	12,6
	D-D	10,0

A Tabela 9.2.5.2.9 apresenta as dimensões da seção típica adotada para o dreno de fundo.

Tabela 9.2.5.2.9 - Seção típica adotada para o dreno de fundo.

DRENO	b (m)	H (m)	B (m)
A-A	12,00	1,00	15,00
B-B	14,00	1,00	17,00
C-C	12,00	1,00	15,00
D-D	10,00	1,00	13,00

Para detalhes do sistema de drenagem interna ver documento nº MINA_BLC8007-1010-O-74 e MINA_BLC8007-1010-O-75.

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 1 do Projeto Bloco 8, sendo compostas por:

- Sistema Extravasor da Barragem 1;
- Sistema de Drenagem Superficial da Barragem 1;
- Sistema de Extravasor do Dique Auxiliar 1.

Face à inexistência de monitoramento fluviométrico das bacias de interesse, o cálculo das vazões de projeto foi realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão. Em virtude da magnitude da área de contribuição, as vazões de projeto foram determinadas segundo

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 89/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

o Método do Hidrograma Unitário (área de contribuição superior a 1,0 km²) e o Método Racional (área de contribuição inferior a 1,0 km²).

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

- 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.

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 90/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01



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).

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 91/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

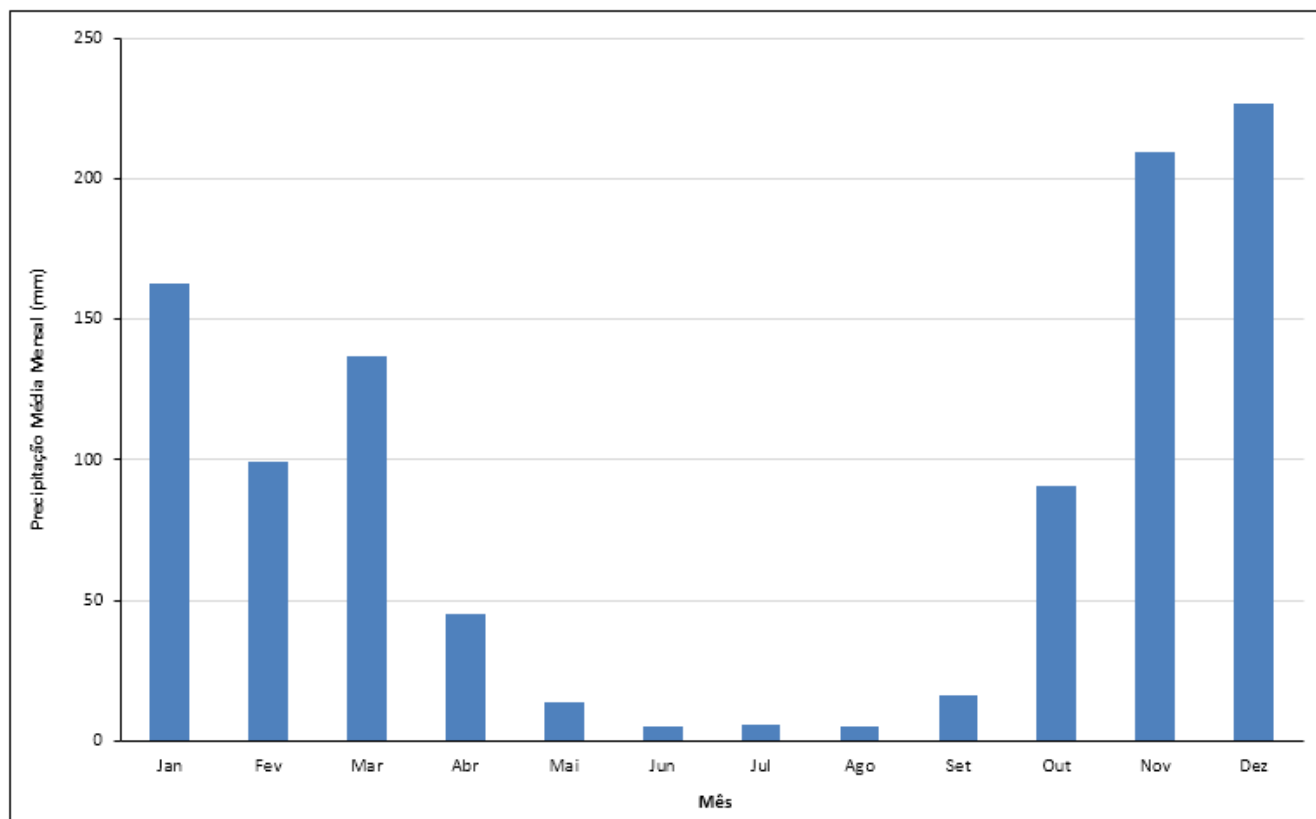


Figura 10.1.2: Altura de chuva total média mensal da Estação Grão Mogol (1642014)

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 92/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

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.

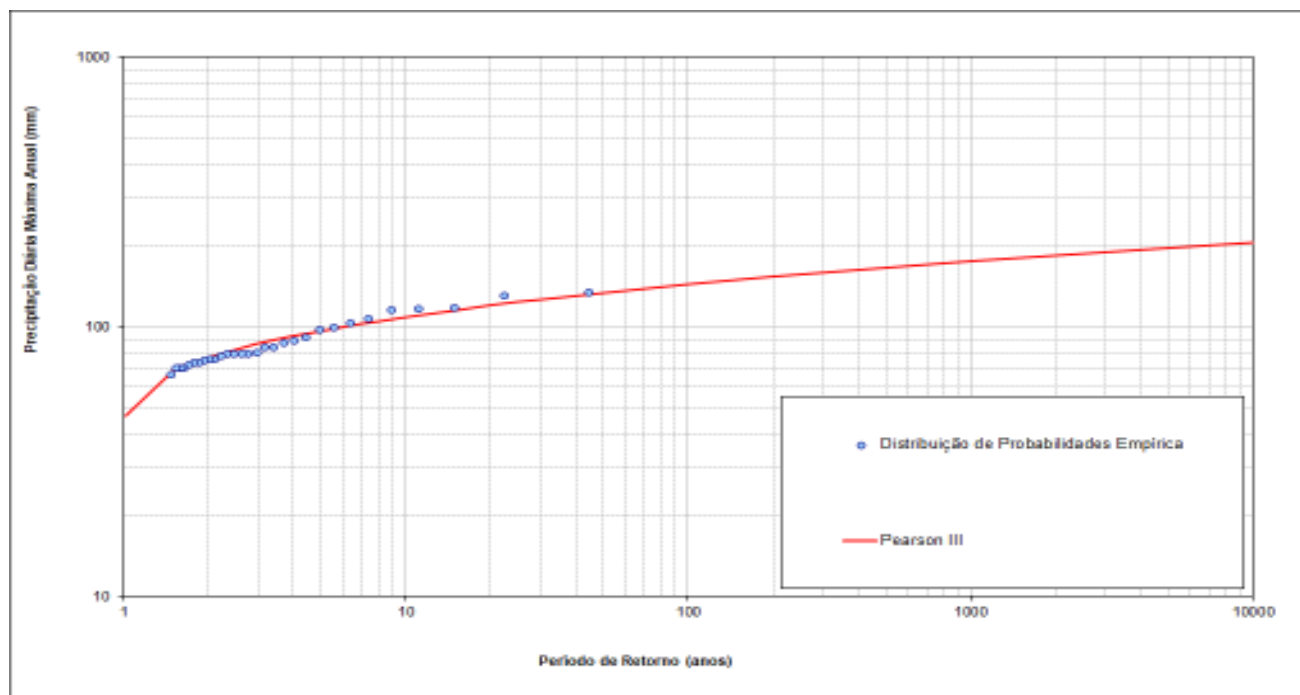


Figura 10.1.3: Ajuste da Distribuição Teórica de Pearson III para Alturas de Chuvas de 1 dia.

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 forma, os valores de chuvas diárias foram corrigidos por um fator de 1,10 para a obtenção da chuva de 24 horas, valor este sugerido pelo U. S. Weather Bureau (CETESB, 1986).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 93/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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

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

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

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 1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 94/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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 contribuições serem inferiores a 1,0 km² (PINHEIRO, 2011).

Já para a vazão de projeto utilizada no dimensionamento dos sistemas extravasores da Barragem 1 e do Dique Auxiliar 1, adotou-se o Método do Hidrograma Unitário, em virtude da magnitude da área de contribuição e visando a determinação dos efeitos de amortecimento do reservatório dessas estruturas.

10.2.1 Sistema Extravisor da Barragem 1

De acordo com a NBR-13028/2017 ("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 a barragem 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.

A partir dos valores de precipitação apresentados na Tabela 10.1.2 e utilizando-se métodos indiretos de transformação chuva-vazão, foram determinadas as vazões de projeto para o dimensionamento hidráulico do sistema extravasor da Barragem de Rejeitos 1 na etapa inicial e 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 95/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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

Área de contribuição	Cobertura do Solo	CN II adotado	Área (%)	CN II ponderado
Barragem Inicial	Campo, Pastagem	60	75,5	45,3
	Rejeito	85	17,5	14,9
	Reservatório	100	7	7,00
	Total	-	100	67,2
Barragem Final	Campo, Pastagem	60	49	29,4
	Rejeito	85	43	36,6
	Reservatório	100	8	8,00
	Total	-	100	74

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

O tempo de concentração foi calculado usando o Método de Kirpich, O tempo de concentração foi calculado usando o Método de Kirpich, obtido pela seguinte expressão:

$$T_c = 3,989 \times \frac{L^{0,77}}{Se^{0,385}}$$

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 1 na etapa inicial e final estão apresentados nas Tabela 10.2.1.2 e Tabela 10.2.1.3, respectivamente.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 96/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 10.2.1.2 – Parâmetros Utilizados – Sistema Extravasor – Etapa Inicial

Estrutura	Área de Drenagem (km ²)	Número de Curva Ponderado (CN III)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (horas)	Lag Time (horas)
Sistema Extravasor	38,85	67,2	24,77	2,26	1,35

Tabela 10.2.1.3 – Parâmetros Utilizados – Sistema Extravasor – Etapa Final

Estrutura	Área de Drenagem (km ²)	Número de Curva Ponderado (CN III)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (horas)	Lag Time (horas)
Sistema Extravasor	38,85	74,0	17,89	2,13	1,28

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 (vazão máxima defluente) do sistema extravasor da barragem 1, foi considerado o potencial de amortecimento do reservatório, a partir da avaliação do trânsito de cheia.

Os resultados das simulações para as vazões afluentes ao sistema extravasor da barragem de rejeitos 1 na etapa inicial e final, podem ser visualizados nas Tabela 10.2.1.4 e Tabela 10.2.1.5, respectivamente.

Tabela 10.2.1.4 – Vazões Afluentes ao Sistema Extravasor da Barragem 1– Etapa Inicial

Duração		Vazão Afluente (m ³ /s) - TR 10.000 anos
Horas	1	105
	2	138
	3	148
	4	146
	6	134
	8	121
	10	109
	12	98,4
	18	75,5
	24	61,4
Dias	2	41,3
	3	33,7
	5	26,0
	7	21,9
	10	18,1

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 97/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Tabela 10.2.1.5 – Vazões Afluentes ao Sistema Extravaso da Barragem 1– Etapa Final

Duração		Vazão Afluente (m³/s) - TR 10.000 anos
Horas	1	145,09
	2	251,09
	3	293,68
	4	307,83
	6	302,45
	8	283,57
	10	262,87
	12	243,27
	18	195,74
	24	162,74
Dias	2	121,07
	3	93,27
	5	69,78
	7	65,71
	10	50,09

Ressalta-se que os efeitos do amortecimento do reservatório da Barragem 1 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 extravaso.

10.2.2 Sistema de Drenagem Superficial da Barragem 1

As vazões de projeto das estruturas constituintes do sistema de drenagem superficial da Barragem 1 foram determinadas em conformidade com o preconizado pela NBR 13.028/2017, que recomenda os seguintes tempos mínimos de recorrência:

- 100 anos para canaletas de bermas e descidas de água;
- 500 anos para os canais periféricos.

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 1 na sua etapa final foram obtidas utilizando o Método Racional, com exceção do canal de drenagem (Canal Periférico 11), no qual foi utilizado o método do Hidrograma Unitário.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 98/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

No Método Racional, 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, ou seja:

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

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).

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

- Nas áreas das canaletas de drenagens das bermas, das descidas de água e dos canais periféricos utilizou-se o Método Cinemático, admitindo a velocidade de escoamento de 1,0 m/s, 5,0 m/s e 5,0 m/s, respectivamente;
- Nas áreas de terreno natural, utilizou-se o Método de Kirpich.

O coeficiente de escoamento foi admitido com base em valores consagrados por bibliografias técnicas especializadas, sendo utilizado o valor de 0,30 para áreas de matas, e 0,50 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, T_c o tempo de concentração I a intensidade média da chuva e C o coeficiente de escoamento.

Para o cálculo da vazão de projeto de dimensionamento das canaletas de drenagem das bermas considerou-se como referência a maior área de contribuição.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 99/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

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

Estrutura	Nome	Área de Drenagem (km ²)	TR (anos)	Tc (min)	I (mm/h)	C (Ponderado)	Vazão (m ³ /s)
Canaleta de Berma	Todas	0,005	100	10.0	142.46	0.60	0.845
Descida de Água	DC-01	0.036	100	10.0	142.46	0.60	2.590
	DC-02	0.109	100	10.0	142.46	0.60	2.143
	DC-03	0.090	100	10.0	142.46	0.60	2.447
	DC-04	0.103	100	5.0	123.61	0.60	1.803
	DC-05	0.087	100	5.0	123.61	0.60	1.712
	DC-06	0.083	100	5.0	123.61	0.60	2.501
	DC-07	0.121	100	10.0	142.46	0.60	2.064
Canal Periférico	CP-01	0.665	500	10.0	165.00	0.36	10.98
	CP-02	0.702	500	10.0	165.00	0.36	11.73
	CP-03	0.604	500	10.0	165.00	0.44	12.30
	CP-04	0.291	500	5.0	142.00	0.52	5.98
	CP-05	0.085	500	5.0	142.00	0.55	1.84
	CP-06	0.039	500	5.0	142.00	0.55	0.84
	CP-07	0.108	500	5.0	142.00	0.56	2.40
	CP-08	0.264	500	5.0	142.00	0.54	5.60
	CP-09	0.148	500	5.0	142.00	0.60	3.50
	CP-10	0.282	500	10.0	165.00	0.60	7.76

Especificamente para o Canal Periférico 11 (CP-11), o cálculo da vazão de projeto foi realizado considerando o método do Hidrograma Unitário, com auxílio do software HEC-HMS – Hydrologic Modeling System, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center, órgão colegiado do U.S. Army Corps of Engineers, versão 3.5.

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).

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 100/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Os parâmetros utilizados no modelo para o cálculo das vazões de projeto do canal periférico 11 estão apresentados na Tabela 10.2.2.2.

Tabela 10.2.2.2 – Parâmetros Utilizados – Canal Periférico 11 (CP-11)

Estrutura	Área de Drenagem (km²)	Número de Curva Ponderado (CN II)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (min)	Lag Time (min)
CP-11	4,90	60	33,87	42,16	25,30

As simulações foram realizadas para os eventos de chuva com as durações variando entre 1 hora e 24 horas, de maneira a se determinar a duração crítica, ou seja, aquela que resultará na maior vazão afluente. Os resultados das simulações para as vazões afluentes ao canal periférico 11 podem ser visualizados na Tabela 10.2.2.3.

Tabela 10.2.2.3 – Vazões de Projeto para o Canal Periférico 11 – Método do Hidrograma Unitário

Duração		Vazão Afluente (m³/s) - TR 500 anos
Horas	1	11.14
	2	21.84
	3	24.65
	4	24.87
	6	23.26
	8	21.17
	10	19.23
	12	17.55
	18	13.92
	24	11.62

10.2.3 Sistema Extravisor de Emergência do Dique Auxiliar 1

As vazões de projeto afluentes ao sistema extravisor do Dique Auxiliar 1 foram determinadas considerando a mesma metodologia apresenta no item 10.2.1, utilizando o modelo matemático HEC-HMS – Hydrologic Modeling System, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center, órgão colegiado do U.S. Army Corps of Engineers, versão 3.5.

Em síntese, os parâmetros utilizados no modelo para o cálculo das vazões de projeto afluentes ao sistema extravisor do Dique Auxiliar 1 estão apresentados na Tabela 10.2.3.1, a seguir.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 101/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 10.2.3.1 – Parâmetros Utilizados – Sistema Extravador do Dique Auxiliar 1

Estrutura	Área de Drenagem (km²)	Número de Curva (CN II)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (min)	Lag Time (min)
Sistema Extravador do Dique Auxiliar 1	3,74	67,2	24,80	18,90	11,34

As simulações foram realizadas para os eventos de chuva com as durações variando entre 1 hora e 24 horas, de maneira a se determinar a duração crítica, ou seja, aquela que resultará na maior vazão afluente. Os resultados das simulações para as vazões afluentes ao sistema extravasor do Dique Auxiliar 1 podem ser visualizados na Tabela 10.2.3.2.

Tabela 10.2.3.2 – Vazões Afluentes ao Sistema Extravador do Dique Auxiliar 1

Duração		Vazão Afluente (m³/s) - TR 10.000 anos
Horas	1	35,42
	2	45,60
	3	43,77
	4	40,10
	6	33,42
	8	28,60
	10	25,08
	12	22,41
	18	17,19
	24	14,10

10.3 CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

10.3.1 Sistema Extravador de Emergência do Dique Auxiliar 1

O sistema extravasor de emergência do Dique Auxiliar 1 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, sendo composto pelos seguintes elementos:

- Trecho 1: soleira vertente concebida em geometria trapezoidal, com base menor de 15,0 metros, altura de 2,00 m, taludes laterais de 2,0(H): 1,0(V), revestida em enrocamento arrumado, com diâmetro dos blocos D50 de 50 cm;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 102/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

- Trecho 2: canal do rápido, sendo o próprio corpo do maciço do dique, revestido em enrocamento arrumado com D50 de 50 cm, declividade longitudinal de 3,0(H): 1,0(V) e transversal de 2,0 (H): 1,0(V);
- Trecho 3: bacia de dissipação para redução do potencial erosivo das vazões vertidas, revestida em enrocamento arrumado D50 de 50 cm.

O dimensionamento do sistema extravasor de emergência do Dique Auxiliar 1 foi realizado a partir dos hidrogramas de vazões afluentes, obtidos nos estudos hidrológicos. Adicionalmente, para determinação da vazão defluente e sobrelevação do nível de água máximo foi considerado o potencial de amortecimento do reservatório a partir da avaliação do trânsito de cheia, apresentada a seguir.

10.3.1.1 Avaliação do Trânsito de Cheia

A simulação do trânsito da cheia de projeto pelo reservatório do dique auxiliar 1 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 na El. 758,00 m.

A determinação da curva de descarga do sistema extravasor foi efetuada através da equação de emboque de canal:

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

Onde:

Q é a vazão de projeto, em m³/s;

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

L é a largura útil do vertedouro, adotada inicialmente com 15,0 m (item 10.3.1.2);

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 103/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

g é a aceleração da gravidade, igual a $9,81 \text{ m/s}^2$;

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.

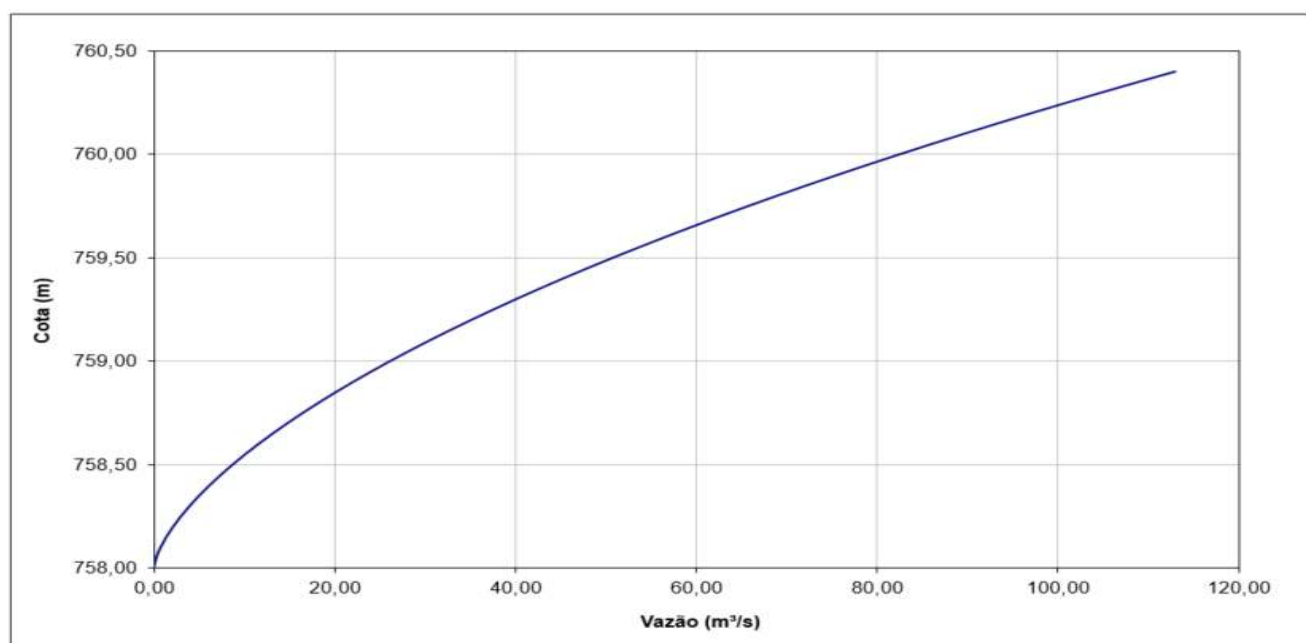


Figura 10.3.1.1.1: Curva de descarga do sistema extravasor do Dique Auxiliar 1

A Figura 10.3.1.1.2 apresenta a curva Cota x Volume do Reservatório acima da soleira na El. 758,00 m. Ressalta-se que, considerando a crista do Dique na El. 760,00 m, o volume disponível para amortecimento das cheias obtido foi de 232.877 m^3 .

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 104/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

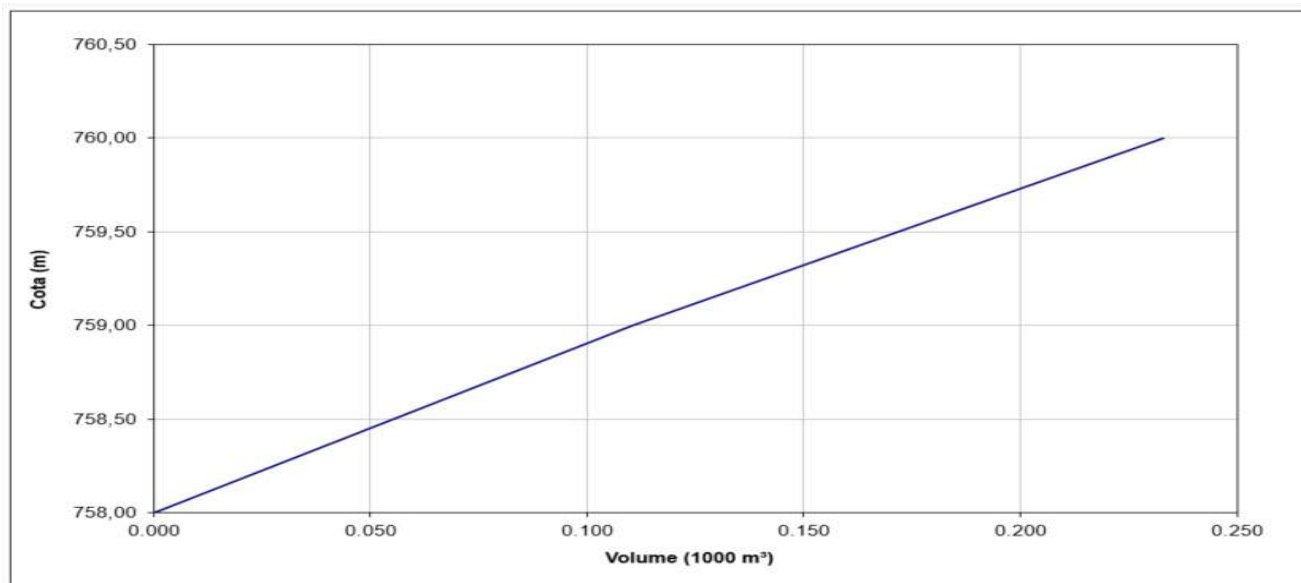


Figura 10.3.1.1.2: Curva Cota x Volume do Reservatório Acima da Soleira do Sistema Extravador do Dique Auxiliar 1

Os resultados do trânsito de cheias pelo reservatório do Dique Auxiliar 1 para a vazão com TR de 10.000 anos podem ser visualizados na Tabela 10.3.1.1.1.

Tabela 10.3.1.1.1 – Trânsito de Cheias para TR 10.000 anos

Duração	TR 10.000 anos		
	Q Afluente (m³/s)	Q Efluente (m³/s)	Elevação (m)
1 hora	35,42	6,63	758,42
2 horas	45,60	15,56	758,72
3 horas	43,77	19,87	758,84
4 horas	40,10	21,66	758,89
6 horas	33,42	22,21	758,91
8 horas	28,60	21,42	758,89
10 horas	25,08	20,30	758,86
12 horas	22,41	19,15	758,83
24 horas	17,19	15,93	758,74

Na Tabela 10.3.1.1.2 é apresentada uma síntese dos resultados encontrados nos cálculos do trânsito de cheia no reservatório do Dique Auxiliar 1.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 105/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Tabela 10.3.1.1.2 – Síntese do Cálculo das Vazões de Projeto para o Sistema Extravisor

Variável	TR 10.000 anos
Duração crítica (h)	6,00
Precipitação referente ao evento crítico (mm)	154,60
Vazão Afluente (m³/s)	33,42
Vazão Máxima Defluente (m³/s)	22,21
Cota da Soleira (m)	758,00
Sobrelevação Máxima do Nível de Água (m)	758,91
Cota do Coroamento (m)	760,00
Borda livre resultante (m)	1,09

10.3.1.2 Dimensionamento Hidráulico do Sistema Extravisor do Dique Auxiliar 1

Soleira Vertente

O dimensionamento da largura da soleira vertente foi realizado considerando a velocidade específica de escoamento do vertedouro, determinada a partir do diâmetro D50 dos blocos em enrocamento, com base na metodologia do “Ábaco de Oliver”. Usualmente, o diâmetro D50 para enrocamento arrumado utilizado é de, no máximo, 50 cm, o que representa uma vazão específica de 1,60 m³/s.m.

Para a vazão de projeto igual a 22,21 m³/s (TR 10.000 anos), adotou-se, inicialmente, a largura da calha vertente de 15,0 metros, o que resultou em uma vazão específica de 1,48 m³/s.m e diâmetro dos blocos D50 de 50 cm. Para o dimensionamento da altura necessária da calha vertente, foi utilizada a equação de emboque descrita anteriormente. Na Tabela 10.3.1.2.1 é apresentada a síntese do dimensionamento hidráulico da soleira vertente.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 106/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 10.3.1.2.1 - Síntese do dimensionamento da soleira vertente do Dique Auxiliar 1

Característica	TR 10.000 anos
Vazão de Projeto (m³/s)	22,21
Seção geométrica	Trapezoidal
Taludes (V:H)	1V:2,0H
Largura da Base Menor (m)	15,00
Revestimento	Enrocamento
Diâmetro dos blocos (D ₅₀)	0,50 m
Profundidade de escoamento (m)	0,91
Cota do nível de água (m)	758,91
Altura da soleira adotada (m)	2,00
Cota da soleira (m)	758,00
Cota da crista (m)	760,00
Borda livre Resultante (m)	1,09

Canal do Rápido

O dimensionamento do canal do rápido foi realizado a partir da metodologia apresentada em "Design of Rock Chutes", 1998, considerando a calha vertente com inclinação de 3,0 (H):1,0 (V). Os resultados do dimensionamento do rápido estão sintetizados na Tabela 10.3.1.2.2.

Tabela 10.3.1.2.2 - Síntese do dimensionamento do Canal do Rápido do Dique Auxiliar 1

Característica	TR 10.000 anos
Vazão de Projeto (m³/s)	22,21
Seção geométrica	Trapezoidal
Taludes (V:H)	1V:2,0H
Largura da Base Menor (m)	15,00
Altura (m)	1,00
D ₅₀ Calculado (m)	0,43
D ₅₀ Recomendado(m)	0,50
D ₀ Calculado (m)	0,31
D ₀ Recomendado(m)	0,35
D ₁₀₀ Calculado (m)	0,79
D ₁₀₀ Recomendado(m)	0,80
Espessura do enrocamento (m)	1,00
Coefficiente de Rugosidade Equivalente	0,061
Velocidade (m/s)	4,31
Declividade longitudinal	3 (H):1,0 (V)
Profundidade de escoamento (m)	0,33
Borda Livre Resultante (m)	0,67

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 107/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Bacia de Dissipação

Para o dimensionamento hidráulico da bacia de dissipação, adotou-se a equação da altura conjugada do ressalto e a formulação empírica para determinação do comprimento do ressalto hidráulico, constante na publicação “Hydraulic Design of Stilling Basin sand Energy Dissipators” proposta pela Bureau of Reclamation (1978). Realizado com um período de retorno de 10.000 anos, considerando a lâmina de água na entrada da bacia obtida a partir do trecho final do canal do rápido. A Tabela 10.3.1.2.3 apresenta-se uma síntese do dimensionamento desse dispositivo.

Tabela 10.3.1.2.3 - Síntese do Dimensionamento Hidráulico da Bacia de Dissipação

Característica	TR 10.000 anos
Vazão de Projeto (m³/s)	22,21
Velocidade estimada na entrada da bacia (m/s)	4,31
Velocidade estimada na saída da bacia (m/s)	1,53
Largura da bacia (m)	15,0
Altura da lâmina de água na entrada da bacia (m)	0,33
Altura da lâmina de água conjugada (m)	0,97
Altura da bacia de dissipação adotada (m)	1,00
Comprimento da bacia de dissipação calculado (m)	4,38
Comprimento da bacia de dissipação adotado (m)	5,00
Borda livre resultante (m)	0,03

10.4 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE BOMBEAMENTO NO RESERVATÓRIO DO DIQUE AUXILIAR 1

Para avaliação da operação do reservatório do Dique Auxiliar 1 considerou-se a ocorrência da PMP associada à operação de um sistema de bombeamento operacional, de modo a evitar qualquer vertimento para a cavidade existente imediatamente a jusante.

Esse critério de vertimento nulo foi utilizado como diretriz básica para definição das regras operacionais do reservatório e sistema de bombeamento.

A capacidade mínima para o sistema de bombeamento, visando manter o nível de água do reservatório do Dique Auxiliar 1 abaixo da cota admitida para a sua soleira na El. 758,00 m, foi determinada a partir de simulações hidrológicas considerando os quantis de altura de precipitação

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 108/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

para períodos de retorno de 200 e 500 anos, apresentados na Tabela 10.1.2, e utilizando as durações de chuvas variando de 1 hora a 30 dias. Para tanto, na modelagem hidrológica, as simulações foram executadas variando as vazões de bombeamento de 2.000m³/h a 5000 m³/h.

Desta maneira, foi possível identificar a duração do evento pluviométrico que ocasiona a maior sobrelevação do nível de água no reservatório do Dique Auxiliar 1. Esta duração é definida como duração crítica do sistema e determina a capacidade mínima a ser implantada no sistema de bombeamento para evitar o vertimento.

O critério para a adoção dos tempos de retorno de 200 e 500 anos foi relacionado ao risco hidrológico, que corresponde a probabilidade de que um evento (precipitação ou vazão) seja igualado ou superado ao menos uma vez, durante um determinado período de “n” anos, conforme apresentado na equação abaixo.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n$$

Onde:

R – risco hidrológico;

TR – é o tempo de retorno do evento (anos)

n – é o período de exposição ao evento ou vida útil da estrutura (anos).

Considerando a vida útil do Dique Auxiliar 1 coincidente com a da Barragem 1, ou seja, de 16 anos, tem-se os seguintes riscos hidrológicos:

Tabela 10.4.1 – Riscos Hidrológicos para TRs de 2 a 1.000 anos

Vida útil da Estrutura	Tempo de Retorno (anos)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1.000
16 anos	100 %	97,2%	81,5%	48,0%	27,6%	14,9%	7,71%	3,15%	1,59%

Para o presente estudo, e, seguindo as boas práticas de engenharia, admitiu-se um risco hidrológico igual ou inferior a 10% para a determinação da vazão de bombeamento necessária para evitar o vertimento das vazões pelo sistema extravasor de emergência do Dique Auxiliar 1. Desta maneira,

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 109/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

considerou-se os TRs de 200 e 500 anos, correspondente aos riscos hidrológicos de 7,71% e 3,15%, respectivamente.

Para a definição da capacidade do sistema de bombeamento, foram consideradas as seguintes premissas:

- Sistema de bombeamento deverá ser acionado assim que o reservatório do Dique Auxiliar 1 atingir a El. 748,00m (garantindo um calado mínimo de 2,0 m e um volume morto para a deposição de sedimentos que, por ventura, sejam carreados pelo maciço da Barragem 1 e áreas adjacentes e) e também só poderia ser desligado quando esse nível for atingido;
- A sobrelevação máxima do nível de água deverá ser na El. 757,50m, de maneira a garantir, no mínimo 0,50 m de borda livre no dique;
- Deplecionamento do reservatório da ensecadeira até o nível de água operativo na El. 748,00m em até 5 dias após a ocorrência do pico da cheia.

As simulações foram realizadas com auxílio do software HEC-HMS – Hydrologic Modeling System, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center, órgão colegiado do U.S. Army Corps of Engineers, versão 3.5.

Para o cálculo dos hidrogramas afluentes ao reservatório, os valores de chuva foram transformados em vazão realizando a convolução da chuva, utilizando o método do Soil Conservation Service (SCS) para a separação da chuva efetiva, com CN obtido para as condições de umidade antecedente II (umidade do solo normal) e o Hidrograma Unitário do SCS para a geração do escoamento superficial. Foi desconsiderada a existência do escoamento de base, pois este é pouco significativo em comparação com a cheia de escoamento superficial.

Na síntese dos hidrogramas de vazões foi utilizado o método SCS, tendo como parâmetro o lagtime (Tlag) dado pela multiplicação do tempo de concentração pelo fator de 0,6. O tempo de concentração foi calculado usando o Método de Kirpich. Na Tabela 10.4.2 estão apresentados os parâmetros utilizados na simulação hidrológica.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 110/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 10.4.2 – Parâmetros Utilizados – Simulação Hidrológica

Estrutura	Área de Drenagem (km ²)	Número de Curva Ponderado (CN II)	Abstração Inicial (mm)	Tempo de Concentração (min)	Lag Time (min)
Sistema de Desvio	3,74	67,2	24,80	18,90	11,34

Os resultados obtidos para as diversas vazões de bombeamento considerando a ocorrência de um evento com TR de 200 e 500 anos, estão apresentados nas Tabela 10.4.3 e Tabela 10.4.4.

Tabela 10.4.3 - Resultados da Simulação Hidrológica para o Sistema de Bombeamento – TR 200 anos

Vazão bombeada (m ³ /h)	Duração crítica	Precipitação de projeto associada (mm)	Vazão afluente (m ³ /s)	Vazão Efluente (m ³ /s)	NA máximo (m)	Borda livre resultante (m)	Tempo de Esvaziamento (dias)
2000	30 dias	727.1	2.20	0.56		Ultrapassa	-
3000	30 dias	727.1	2.20	0.83	760.64	Ultrapassa	-
3500	30 dias	727.1	2.20	0.97	759.27	Ultrapassa	-
4000	30 dias	727.1	2.20	1.11	758.43	Ultrapassa	-
4500	30 dias	727.1	2.20	1.25	756.71	1.29	4.66 dias
5000	30 dias	727.1	2.20	1.39	755.90	2.10	3.62 dias

Tabela 10.4.4 - Resultados da Simulação Hidrológica para o Sistema de Bombeamento – TR 500 anos

Vazão bombeada (m ³ /h)	Duração crítica	Precipitação de projeto associada (mm)	Vazão afluente (m ³ /s)	Vazão Efluente (m ³ /s)	NA máximo (m)	Borda livre resultante (m)	Tempo de Esvaziamento (h)
2000	30 dias	773.0	2.35	0.56	763.40	Ultrapassa	-
3000	30 dias	773.0	2.35	0.83	761.59	Ultrapassa	-
3500	30 dias	773.0	2.35	0.97	760.28	Ultrapassa	-
4000	30 dias	773.0	2.35	1.11	759.49	Ultrapassa	-
4500	30 dias	773.0	2.35	1.25	757.87	0.13	5.68 dias
5000	30 dias	773.0	2.35	1.39	756.16	1.84	4.50 dias

Conforme apresentado nas Tabela 10.4.3 e Tabela 10.4.4, a duração crítica do sistema hidrológico analisado, que causará a maior sobrelevação no reservatório do Dique Auxiliar 1 foi de 30 dias, para todas as vazões de bombeamento e TRs associados.

De acordo com os resultados obtidos, e, considerando os critérios de borda livre e tempo de deplecionamento do reservatório estabelecidos, para o sistema de bombeamento considerando TR 200 anos e 500 anos, a capacidade mínima das bombas deveria ser de 4.500 m³/h e 5.000m³/h,

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 111/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

respectivamente, visando manter o nível de água abaixo da soleira do sistema extravasor de emergência situado na EL. 758,00m.

Ressalta-se que, nessas simulações, o bombeamento foi admitido constante, durante 24 horas/dia.

10.4.1 Sistema de Drenagem superficial da barragem 1

O sistema de drenagem superficial da Barragem 1 tem por objetivo coletar as águas provenientes do escoamento superficial sobre o talude de jusante e crista do maciço da Barragem 1 e conduzi-las, de forma ordenada, até os pontos de descarga no terreno natural, evitando o desenvolvimento de processos erosivos. O sistema proposto é constituído basicamente pelas seguintes estruturas:

- 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 as bacias de dissipação. 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;
- Bacias de dissipação, previstas nas extremidades de jusante dos canais periféricos, com o objetivo de reduzir a energia do fluxo de água, evitando a ocorrência de processos erosivos.
- Sump 01, concebido imediatamente a jusante dos canais periféricos CP-01 e CP-02, com a função de armazenar as contribuições provenientes das precipitações diretas sob o maciço e drenagem interna que não são passíveis de serem retiradas por gravidade, para serem, posteriormente, bombeadas para o Dique Auxiliar 1;

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 112/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

- Sump 02, a ser implantado a jusante dos canais periféricos CP-09 e CP-10, visando armazenar as contribuições provenientes das precipitações diretas sob o maciço e drenagem interna e, em seguida bombeá-las para o reservatório do Dique Auxiliar 1, visando evitar o aporte dessas águas na cavidade existente imediatamente a jusante.

O arranjo geral do sistema de drenagem superficial da Barragem 1 (etapa final) está apresentado no desenho n° MINA_BLC8007-1010-O-73.

10.4.1.1 Dimensionamento Hidráulico dos Dispositivos de Drenagem Superficial

As estruturas do sistema de drenagem foram dimensionadas para o escoamento das vazões de pico, apresentadas nas Tabela 10.2.2.1 e Tabela 10.2.2.3, considerando o regime permanente e uniforme.

Com exceção do Canal Periférico 11 (CP-11), os cálculos para o dimensionamento hidráulico foram efetuados empregando a equação de Manning, expressa por:

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

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).

O dimensionamento destas estruturas foi realizado para determinação da altura da lâmina de água e o critério de velocidades admissíveis. Adotou-se como premissa uma borda livre de, no mínimo, 30% da altura da lâmina de água.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 113/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Tabela 10.4.1.1.1 – Síntese do Dimensionamento Hidráulico dos Dispositivos do Sistema de Drenagem

Estrutura	Vazão (m³/s)	Base (m)	Altura Parede (m)	I (m/m)	n	Lâmina de água (m)	V final (m/s)	Borda Livre (m)
Canaletas de Bermas	0,85	1,00	1,00	0,010	0,018	0,41	2,06	0,59
DC-01	2,59	1,50	1,00	0,010	0,018	0,63	2,73	0,37
DC-02	2,14	1,50	1,00	0,010	0,018	0,55	2,59	0,45
DC-03	2,45	1,50	1,00	0,010	0,018	0,61	2,68	0,39
DC-04	1,80	1,00	1,00	0,010	0,018	0,73	2,47	0,27
DC-05	1,71	1,00	1,00	0,010	0,018	0,70	2,44	0,30
DC-06	2,50	1,50	1,00	0,010	0,018	0,62	2,70	0,38
DC-07	2,06	1,50	1,00	0,010	0,018	0,54	2,56	0,46
CP-01	10,98	2,50	1,50	0,010	0,018	1,12	3,91	0,38
CP-02	11,73	3,00	1,50	0,010	0,018	0,99	3,94	0,51
CP-03	12,30	3,00	1,50	0,010	0,018	1,02	3,99	0,48
CP-04	5,98	2,00	1,50	0,010	0,018	0,89	3,36	0,61
CP-05	1,84	1,00	1,00	0,010	0,018	0,74	2,48	0,36
CP-06	0,84	1,00	1,00	0,010	0,018	0,41	2,06	0,59
CP-07	2,40	1,50	1,00	0,010	0,018	0,60	2,67	0,40
CP-08	5,60	1,50	1,50	0,010	0,018	1,14	3,27	0,36
CP-09	3,50	2,00	1,00	0,010	0,018	0,60	2,94	0,40
CP-10	7,76	2,00	1,50	0,010	0,018	1,08	2,89	0,42

O Canal Periférico 11, em função das baixas declividades apresentadas, foi dimensionado considerando a equação de emboque de canal. Essa estrutura foi concebida em gabião colchão, com seção trapezoidal e taludes 1V:2H. Na Tabela 10.4.1.1.2 apresenta-se os resultados obtidos no dimensionamento hidráulico do trecho inicial do canal.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 114/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

Tabela 10.4.1.1.2 – Síntese do Dimensionamento do Canal Periférico 11

Variável	CP-11
Vazão de Projeto (m³/s)	24,87
Seção geométrica	Trapezoidal (Taludes 1V:2H)
Largura da Base Menor (m)	6,00
Profundidade de escoamento (m)	1,48
Altura (m)	1,50
Borda livre Resultante (m)	0,02

O dimensionamento hidráulico das bacias de dissipação, bem como dos sumps 01 e 02 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.

10.5 BALANÇO HÍDRICO DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM 1

Neste item é apresentado o estudo do balanço hídrico do reservatório da Barragem 1, tendo como 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. 935,00m), a partir dos dados disponíveis e critérios e premissas de projeto.

10.5.1 PREMISSAS E CRITÉRIOS

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

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 115/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

- Classificação dos resíduos sólidos segundo a Norma ABNT/NBR 10.004/2004: Resíduo Classe IIB - Não perigoso e inerte;
- Vida útil do projeto de aproximadamente 18 anos;
- Início do período de operação da Barragem 1 no mês de janeiro do terceiro ano 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 845,9 Mm³;
- Barragem inicial na El. 890,00 m, que deverá atender até o quinto ano de operação da barragem (oitavo ano de operação do empreendimento), seguida de um alteamento contínuo até a El. 935,00 m;
- Vazão percolada pelo sistema de drenagem interna do maciço e pela fundação de 81,48 m³/h do início até o final de operação;
- Cota da soleira do vertedouro de emergência posicionada a 3,0 m abaixo da crista da barragem, em todas as etapas, ou seja, na El. 887,00m na etapa inicial e na El. 935,00 m, na etapa final;
- Taxa de assoreamento do reservatório igual a 30 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. 890,00m e 935,00m;
- 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 116/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- Minimização das operações de vertimento da barragem de rejeitos visando o maior reaproveitamento de água para o empreendimento.
- A vazão de água nova a ser captada no reservatório da Barragem 1 deverá ser bombeada para o seu sistema extravasor que conduzirá para o reservatório da Barragem Industrial.

10.5.2 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:

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

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 10.5.2.1.

Tabela 10.5.2.1 – 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 afluente ao reservatório. Os valores utilizados foram referentes à série de precipitações mensais consolidada na área do Projeto Pedra de Ferro transformada em vazão através do coeficiente de escoamento superficial, adotado igual a 0,25, e a área de drenagem da bacia de contribuição (38,85 km²).

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 117/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

$Q_{REJEITO}$: 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 81,48 m³/h.

E_R : 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 10.5.2.2.

Tabela 10.5.2.2 – 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

$Q_{RECIRCULADA}$: 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.

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

Na Figura 10.5.2.1 são apresentadas, de forma esquemática, as variáveis de entrada e saída de água, utilizadas na equação do balanço hídrico.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 118/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

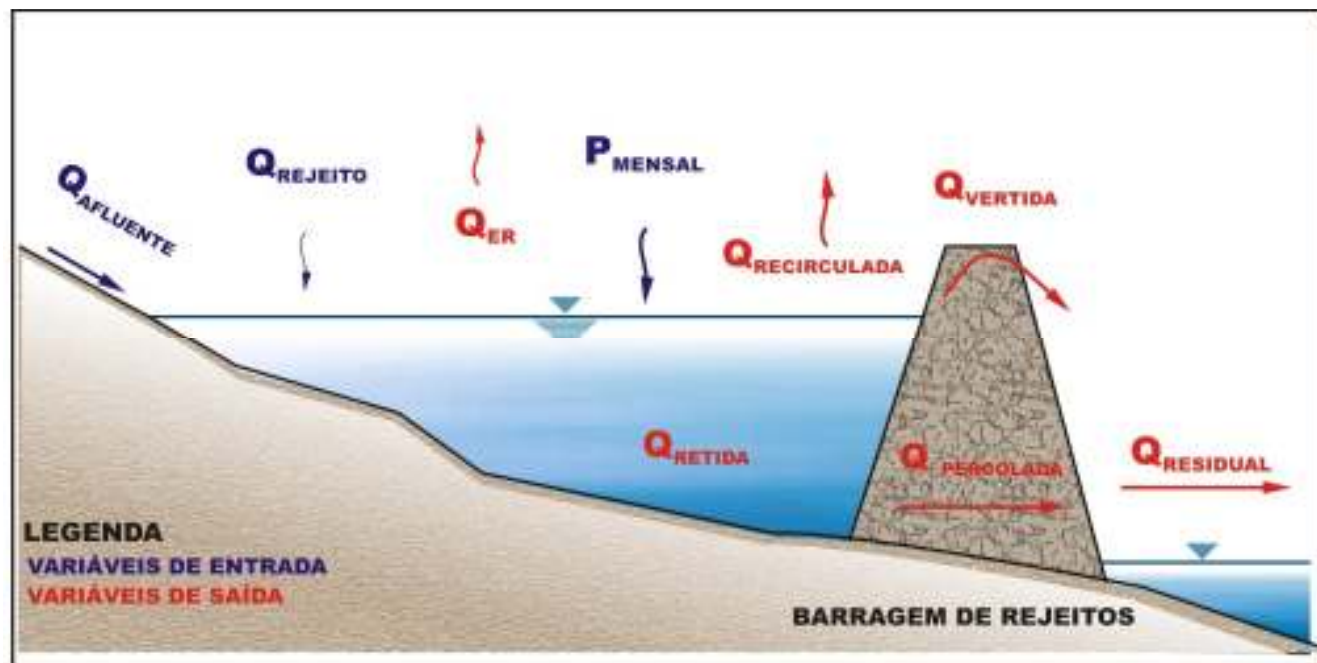


Figura 10.5.2.1 - Representação Esquemática do Balanço Hídrico do Reservatório da Barragem de Disposição de Rejeitos.

Sistemática da Simulação

A simulação do balanço hídrico do reservatório da Barragem 1, 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 1 de 16 anos (do 3º ao 18º ano de operação do empreendimento), foram realizadas a partir de uma média móvel dos dados da série de vazões médias mensais (1973 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 1989 (16 anos de operação da barragem), a segunda considerou o período de 1974 a 1991, e, assim sucessivamente, resultando em 43 simulações.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 119/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

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.

10.5.3 RESULTADOS

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

No balanço hídrico do reservatório da Barragem B1, 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.

Na Tabela 10.5.3.1 estão apresentadas as vazões de água livre consideradas no balanço. Esses valores foram obtidos dos estudos de caracterização dos rejeitos constante no item 7.2.5.

Tabela 10.5.3.1 – Vazões de Água Livre dos Rejeitos (m³/h)

Ano de Operação da Barragem 1	Vazão de Água Liberada nos Rejeitos
	(m³/h)
Ano 1	1177.28
Ano 2	1106.43
Ano 3	1171.02
Ano 4	1177.21
Ano 5	1204.89
Ano 6	1219.88
Ano 7	1097.33
Ano 8	1347.51
Ano 9	1192.53
Ano 10	1323.67
Ano 11	1401.06
Ano 12	1479.68
Ano 13	1453.56
Ano 14	1285.27
Ano 15	1373.07

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 120/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

Ano de Operação da Barragem 1	Vazão de Água Liberada nos Rejeitos
	(m³/h)
Ano 16	1411.16
Total	-

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 500 m³/h.

Vale mencionar que a vazão regularizada de 500 m³/h corresponde a, aproximadamente, 45% da vazão média de longo termo obtida na seção fluvial da Barragem 1 de 1.122 m³/h.

Na Figura 10.5.3.1 são apresentadas as vazões captadas/recirculadas no reservatório da Barragem 1, 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 3 mês de operação da barragem. Considerando que o início da operação da Barragem 1 será em janeiro, a captação na Barragem 1 deverá iniciar no começo de março.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 121/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

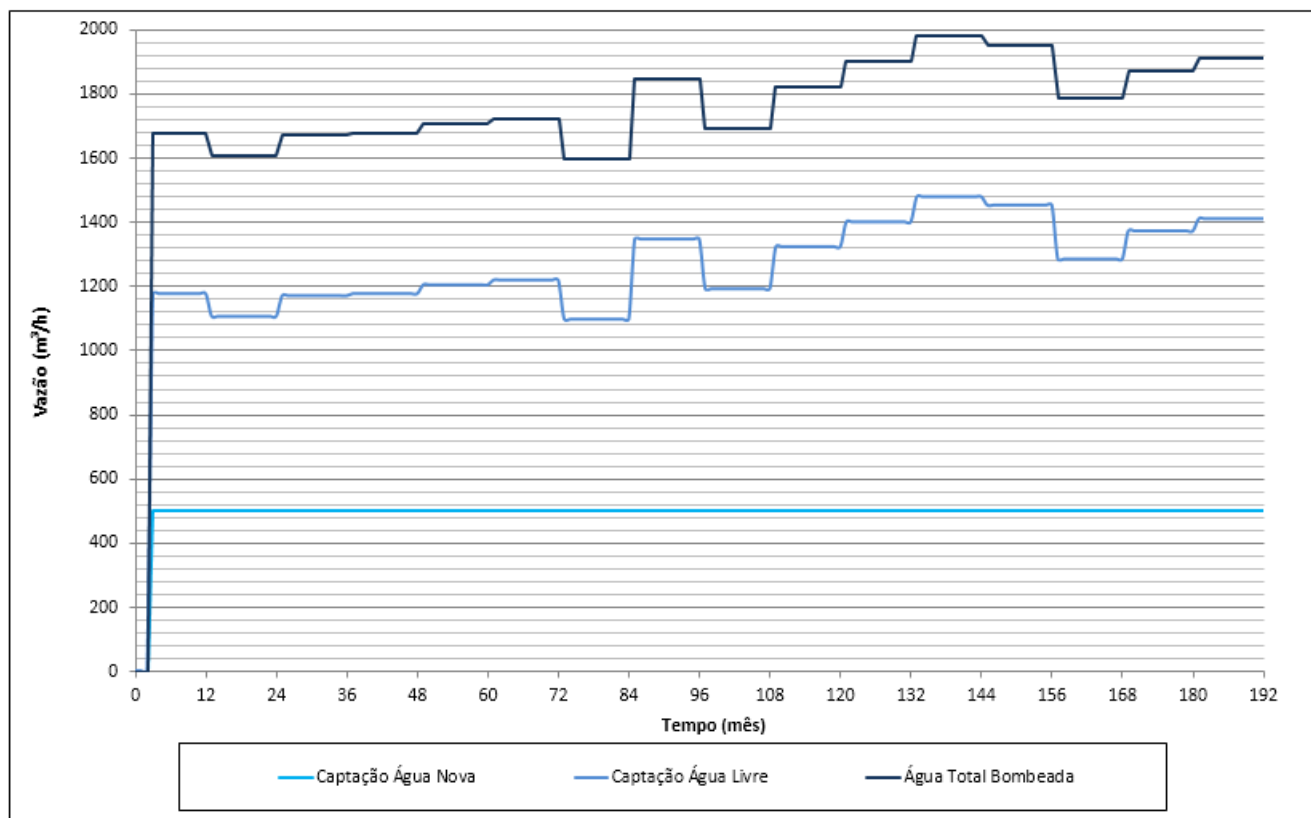


Figura 10.5.3.1 – Vazões Bombeadas no Reservatório da Barragem 1.

A Figura 10.5.3.2 ilustra a variação do nível de água do reservatório ao longo do período simulado, considerando os 16 anos de operação da Barragem 1. O nível de água máximo atinge a soleira do vertedouro a partir do 55º mês de operação na barragem inicial e no último ano de operação (a partir das simulações com do 184º mês) da barragem final, ocorrendo vertimentos.

Entretanto, apesar da ocorrência de vertimentos, ainda na Figura 10.5.3.2 pode-se verificar que para o cenário mais crítico (cenário mínimo), o nível de água do reservatório atinge o nível de água necessário para o bombeamento (NA mínimo Operativo), indicando a impossibilidade de recircular vazão superior a 500 m³/h durante todo o período de operação da Barragem 1, 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 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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 122/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

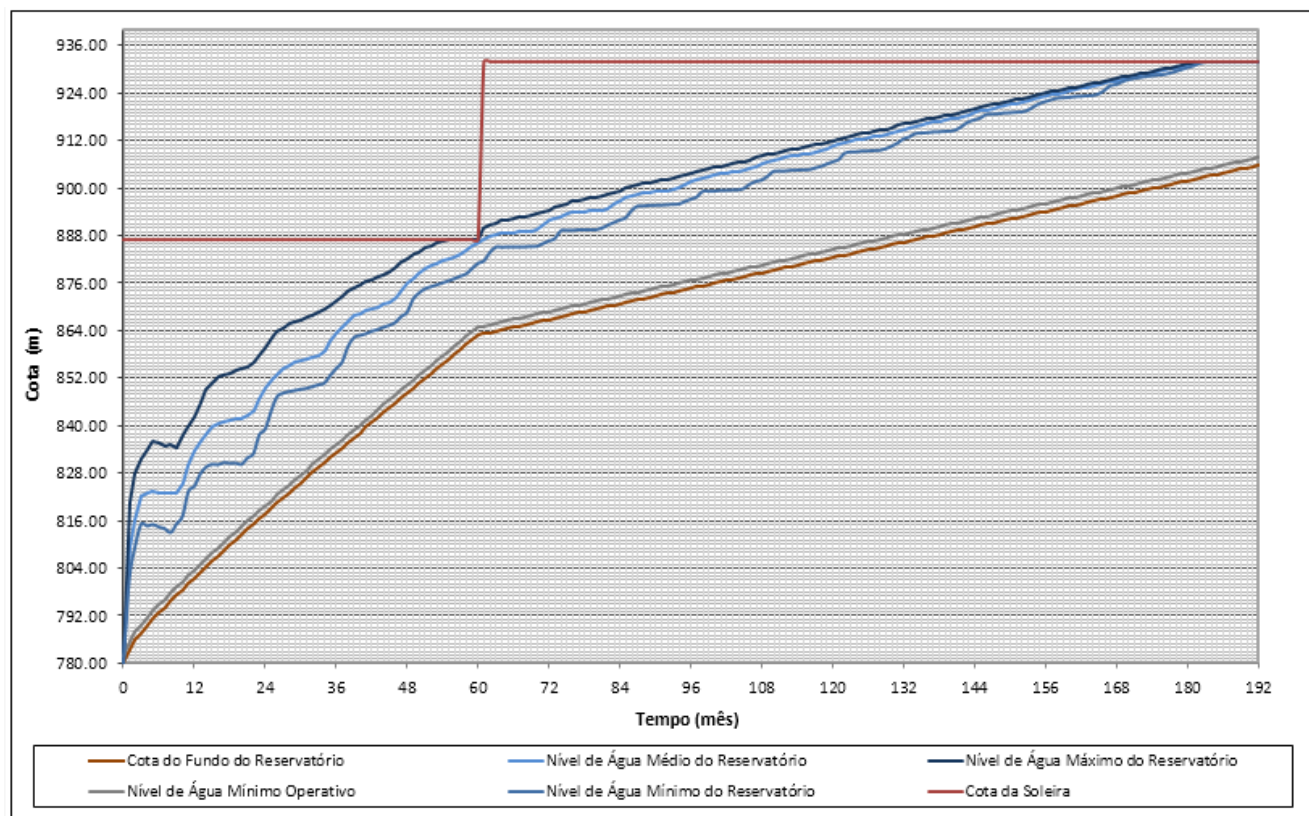


Figura 10.5.3.2 - Variação dos Níveis de Água no Reservatório.

Na Figura 10.5.3.3 é possível verificar a frequência de vertimentos e as suas respectivas vazões durante a vida útil da barragem. Conforme já comentado, foram observados vertimentos nos últimos meses de operação da barragem inicial e da barragem final. Ressalta-se que, no final da operação da barragem inicial, não foram observados vertimentos nos períodos de estiagem.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 123/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

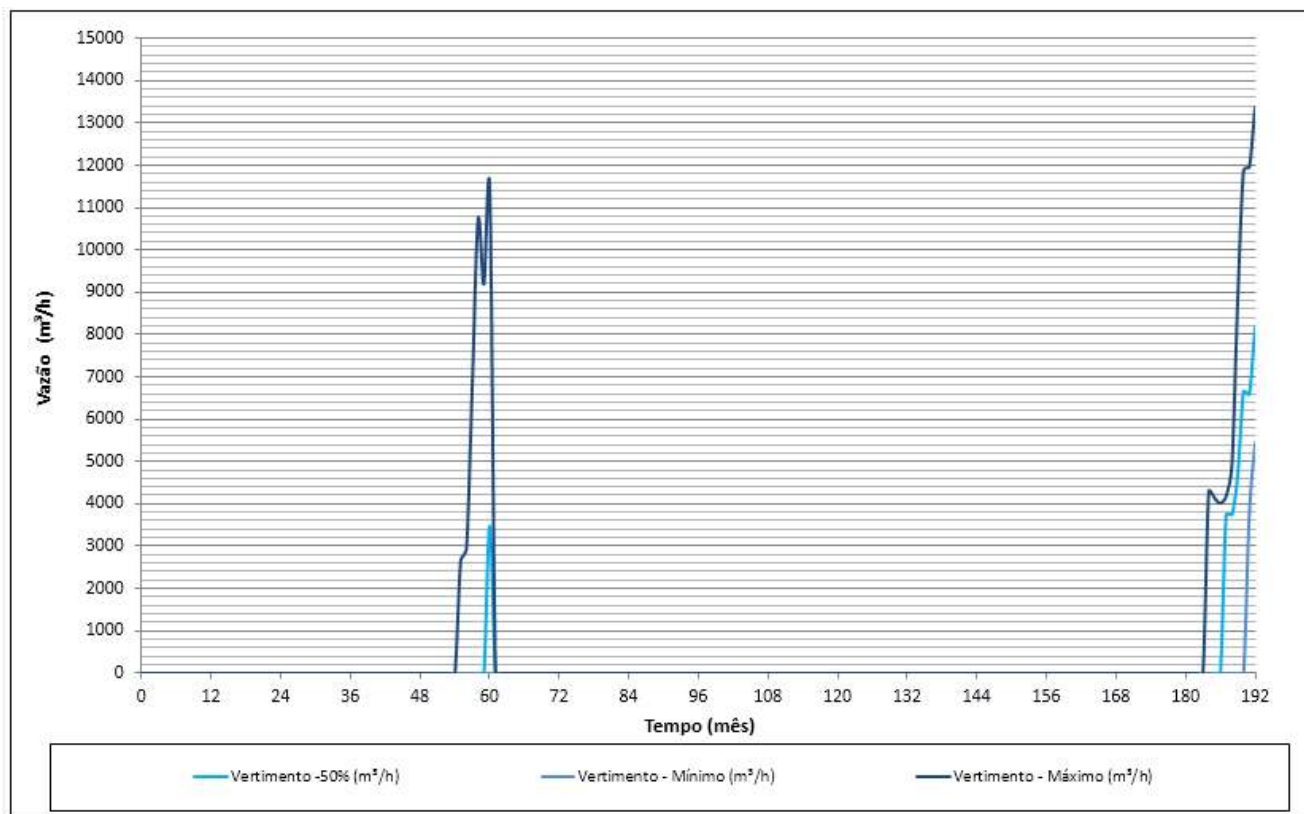


Figura 10.5.3.3 – Vertimentos do Reservatório ao Longo do Período Simulado

Como complemento dos resultados, na Tabela 10.5.3.2, 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 (192 meses).

Tabela 10.5.3.2 – 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	
278,75	1057,03	1276,36	81,48	369,78	1264,09	168,72

De acordo com os resultados apresentados, verifica-se que o balanço hídrico do reservatório da Barragem 1 é positivo, com incremento final médio de 168,72 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.

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 124/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Por fim, vale mencionar que foi realizada uma simulação complementar do balanço hídrico da Barragem 1 desconsiderando a captação de água em seu reservatório, uma vez que a vazão vertida será direcionada para o reservatório da Barragem Industrial, e será utilizada para complementar a demanda de água do Projeto Bloco 8.

Entretanto, conforme pode ser observado na Figura 10.5.3.4, ao longo dos primeiros 4 anos de operação da Barragem 1 e entre o 5º ano e o 13º ano de operação, não ocorrem vertimentos. Desta maneira, deve-se manter a captação da vazão de água nova e a recirculação da água livre dos rejeitos no reservatório da Barragem 1.

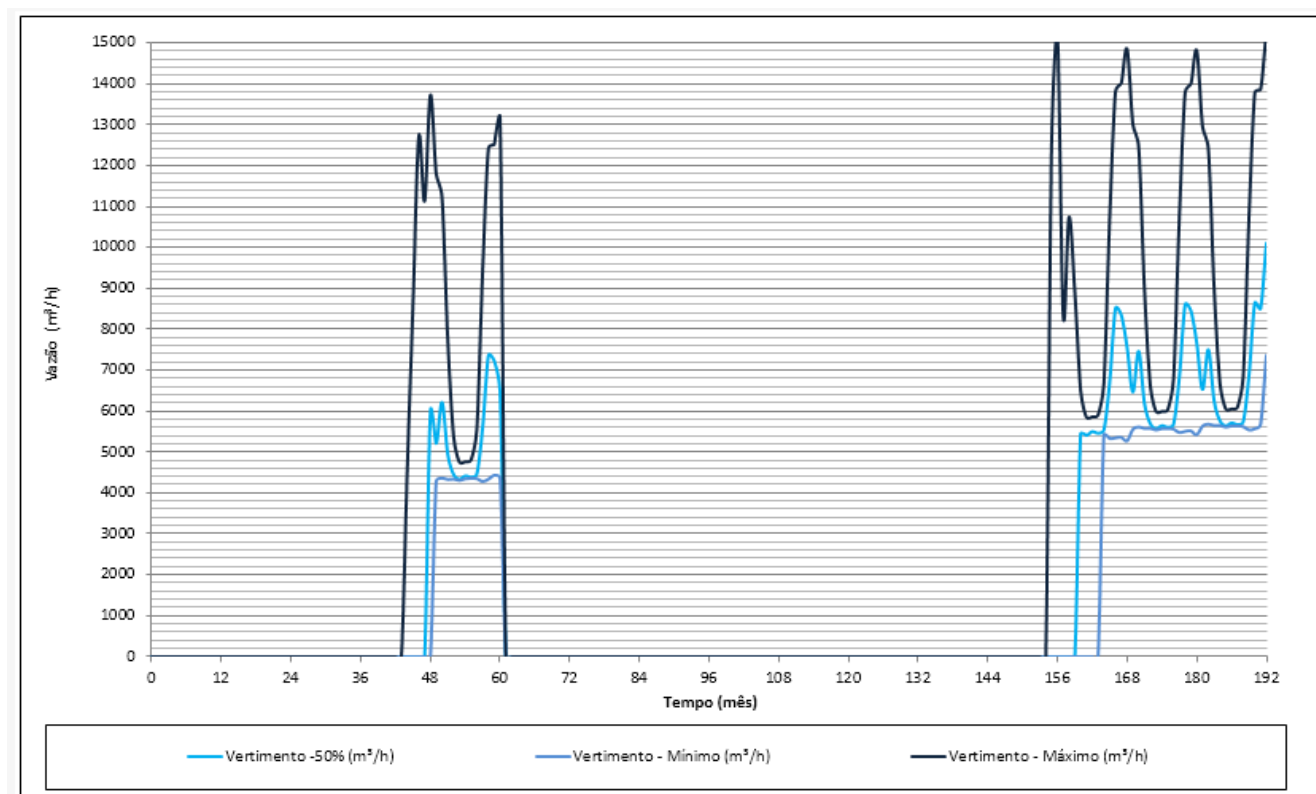


Figura 10.5.3.4 – Vertimentos do Reservatório ao Longo do Período Simulado desconsiderando Captação no Reservatório

11.0 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Para subsidiar os estudos dos projetos básico e executivo da Barragem 1 será proposta, em uma etapa posterior, uma campanha de investigações geológico-geotécnicas. A partir desta será possível

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 125/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

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.

Conforme mencionado anteriormente, a utilização do rejeito como material de construção pode se tornar um complicador pois, durante todo o tempo, as características mínimas de permeabilidade e granulometria deverão ser mantidas para o sucesso da construção. Rejeitos grossos com características distintas poderão produzir parcelas de material de construção diferenciados, constituindo em zonas com diferentes permeabilidades no maciço. 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 o projeto detalhado deverão ainda ser realizadas a elaboração de uma Carta de Risco e Manual de Operação.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 126/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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 o desenvolvimento 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 principal e do dique de sela serão:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 127/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

- Marco superficial: instalado na crista e bermas para avaliação do recalque que a estrutura sofrerá durante a fase de construção, após a construção e durante a etapa operacional e de descomissionamento;
- Medidor de nível de água: instalado no aterro 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 desenvolvimento da barragem;
- Piezômetro Elétrico de Corda Vibrante: maciço da barragem, para conhecer e avaliar as poropressões desenvolvidas devido ao desenvolvimento 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 rejeito exigirá o consequente alteamento dos instrumentos. Os piezômetros elétricos serão alteados por meio de cabos elétricos e 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.

Observa-se que o dique auxiliar por ser em enrocamento, não será instrumentado.

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 128/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Tabela 12.3.1 – Localização dos Instrumentos – Etapa Inicial.

Estrutura	Etapa Inicial				
	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
Barragem Principal	Medidor de Nível D'água	MNA-01	739.004,03	8.201.534,53	890,00
		MNA-02	739.098,04	8.201.500,43	890,00
		MNA-03	739.116,42	8.201.551,11	870,00
		MNA-04	739.192,04	8.201.466,32	890,00
		MNA-05	739.349,29	8.201.409,26	890,00
		MNA-06	739.623,66	8.201.309,71	890,00
		MNA-07	739.968,69	8.201.157,04	890,00
		MNA-08	740.389,01	8.200.809,09	890,00
		MNA-09	740.445,03	8.200.866,59	860,00
		MNA-10	740.574,93	8.200.627,93	890,00
		MNA-11	740.630,45	8.200.684,91	860,00
		MNA-12	740.685,47	8.200.741,37	830,00
		MNA-13	740.741,00	8.200.466,10	890,00
		MNA-14	740.796,53	8.200.523,08	860,00
		MNA-15	740.851,47	8.200.579,47	830,00
		MNA-16	740.905,46	8.200.634,88	800,00
		MNA-17	740.918,92	8.200.292,75	890,00
		MNA-18	740.974,44	8.200.349,73	860,00
		MNA-19	741.030,10	8.200.406,85	830,00
		MNA-20	741.070,54	8.200.145,00	890,00
		MNA-21	741.126,06	8.200.201,98	860,00
		MNA-22	741.457,22	8.199.768,23	890,00
		MNA-23	741.512,55	8.199.825,01	860,00
		MNA-24	741.567,10	8.199.880,99	830,00
		MNA-25	741.561,24	8.199.666,88	890,00
		MNA-26	741.616,71	8.199.723,81	860,00
		MNA-27	741.671,40	8.199.779,93	830,00
		MNA-28	741.712,14	8.199.849,11	800,00
		MNA-29	742.157,96	8.199.085,44	890,00
		MNA-30	742.316,68	8.198.930,78	890,00
		MNA-31	742.372,63	8.198.988,19	860,00
		MNA-32	742.426,50	8.199.043,48	830,00
		MNA-33	742.459,93	8.198.791,20	890,00
		MNA-34	742.515,63	8.198.848,36	860,00
		MNA-35	742.603,17	8.198.651,63	890,00

				PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO			MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 129/15 9
			WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01
Estrutura	Etapa Inicial				
	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
		MNA-36	742.729,77	8.198.528,27	890.00
Dique de Sela		MNA-37	741.193,01	8.196.975,47	885,00
Barragem Principal	Marco Superficial	MS-01	738.879,78	8.201.579,62	890,00
		MS-02	738.988,99	8.201.539,99	890,00
		MS-03	739.082,99	8.201.505,88	890,00
		MS-04	739.101,38	8.201.556,56	870,00
		MS-05	739.177,00	8.201.471,77	890,00
		MS-06	739.334,25	8.201.414,72	890,00
		MS-07	739.443,92	8.201.374,92	890,00
		MS-08	739.608,62	8.201.315,16	890,00
		MS-09	739.953,10	8.201.167,02	890,00
		MS-10	740.258,11	8.200.935,99	890,00
		MS-11	740.369,87	8.200.827,09	890,00
		MS-12	740.425,90	8.200.884,59	860,00
		MS-13	740.555,79	8.200.645,93	890,00
		MS-14	740.611,31	8.200.702,91	860,00
		MS-15	740.666,33	8.200.759,37	830,00
		MS-16	740.721,87	8.200.484,11	890,00
		MS-17	740.777,39	8.200.541,09	860,00
		MS-18	740.832,33	8.200.597,47	830,00
		MS-19	740.886,32	8.200.652,88	800,00
		MS-20	740.899,78	8.200.310,75	890,00
		MS-21	740.955,30	8.200.367,73	860,00
		MS-22	741.010,96	8.200.424,86	830,00
		MS-23	741.051,40	8.200.163,01	890,00
		MS-24	741.106,93	8.200.219,99	860,00
		MS-25	741.320,04	8.199.901,25	890,00
		MS-26	741.438,08	8.199.786,23	890,00
		MS-27	741.493,41	8.199.843,01	860,00
		MS-28	741.547,96	8.199.898,99	830,00
		MS-29	741.542,10	8.199.684,88	890,00
		MS-30	741.597,58	8.199.741,81	860,00
		MS-31	741.652,26	8.199.797,93	830,00
		MS-32	741.693,00	8.199.867,11	800,00
		MS-33	741.888,91	8.199.346,95	890,00
		MS-34	742.138,82	8.199.103,44	890,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 130/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Estrutura	Etapa Inicial				
	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
		MS-35	742.297,55	8.198.948,78	890,00
		MS-36	742.353,49	8.199.006,19	860,00
		MS-37	742.407,36	8.199.061,48	830,00
		MS-38	742.440,79	8.198.809,20	890,00
		MS-39	742.496,49	8.198.866,37	860,00
		MS-40	742.584,03	8.198.669,63	890,00
		MS-41	742.710,63	8.198.546,27	890,00
Barragem Principal	Piezômetro Casagrande	PZC-01	738.996,51	8.201.537,26	890,00
		PZC-02	739.090,51	8.201.503,15	890,00
		PZC-03	739.108,90	8.201.553,84	870,00
		PZC-04	739.184,52	8.201.469,05	890,00
		PZC-05	739.341,77	8.201.411,99	890,00
		PZC-06	739.616,14	8.201.312,43	890,00
		PZC-07	739.960,67	8.201.162,70	890,00
		PZC-08	740.379,67	8.200.817,54	890,00
		PZC-09	740.435,70	8.200.875,04	860,00
		PZC-10	740.565,59	8.200.636,38	890,00
		PZC-11	740.621,11	8.200.693,36	860,00
		PZC-12	740.676,13	8.200.749,82	830,00
		PZC-13	740.731,67	8.200.474,55	890,00
		PZC-14	740.787,19	8.200.531,53	860,00
		PZC-15	740.842,13	8.200.587,92	830,00
		PZC-16	740.896,12	8.200.643,33	800,00
		PZC-17	740.909,58	8.200.301,20	890,00
		PZC-18	740.965,10	8.200.358,18	860,00
		PZC-19	741.020,77	8.200.415,30	830,00
		PZC-20	741.061,21	8.200.153,45	890,00
		PZC-21	741.116,73	8.200.210,43	860,00
		PZC-22	741.447,89	8.199.776,68	890,00
		PZC-23	741.503,21	8.199.833,46	860,00
		PZC-24	741.557,76	8.199.889,44	830,00
		PZC-25	741.551,90	8.199.675,32	890,00
		PZC-26	741.607,38	8.199.732,26	860,00
		PZC-27	741.662,06	8.199.788,38	830,00
		PZC-28	741.702,80	8.199.857,56	800,00
		PZC-29	742.148,62	8.199.093,89	890,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 131/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Estrutura	Etapa Inicial				
	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
		PZC-30	742.307,35	8.198.939,22	890,00
		PZC-31	742.363,29	8.198.996,64	860,00
		PZC-32	742.417,17	8.199.051,93	830,00
		PZC-33	742.450,59	8.198.799,65	890,00
		PZC-34	742.506,29	8.198.856,81	860,00
		PZC-35	742.593,84	8.198.660,07	890,00
		PZC-36	742.720,44	8.198.536,72	890,00
Dique de Sela		PZC-37	742.668,21	8.197.971,34	890,00
		PZC-38	741.193,01	8.197.239,25	890,00
Barragem Principal	Piezômetro Elétrico	PZE-01	739.099,91	8.201.529,03	880,00
		PZE-02	739.117,64	8.201.577,91	860,00
		PZE-03	740.749,54	8.200.495,53	880,00
		PZE-04	740.804,45	8.200.551,89	850,00
		PZE-05	740.858,94	8.200.607,81	820,00
		PZE-06	740.913,38	8.200.663,68	790,00
		PZE-07	741.595,04	8.199.926,40	810,00
		PZE-08	741.571,71	8.199.695,53	880,00
		PZE-09	741.625,19	8.199.750,42	850,00
		PZE-10	741.684,67	8.199.839,26	810,00
		PZE-11	742.326,58	8.198.960,00	880,00
		PZE-12	742.398,84	8.199.034,16	840,00

Tabela 12.3.2 – Localização dos Instrumentos – Etapa Final

Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
Dique de Sela	Medidor de Nível D'água	MNA-01	737.618,01	8.197.435,15	935,00
		MNA-02	737.593,01	8.197.260,64	915,00
		MNA-03	737.977,47	8.197.404,67	935,00
		MNA-04	738.320,71	8.197.375,58	935,00
		MNA-05	739.118,01	8.197.307,99	935,00
		MNA-06	739.117,71	8.197.254,08	915,00
		MNA-07	739.561,43	8.197.270,40	935,00
		MNA-08	739.561,54	8.197.216,51	915,00
		MNA-09	740.318,01	8.197.237,22	935,00
		MNA-10	740.317,81	8.197.183,35	915,00

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 132/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
		MNA-11	740.863,53	8.197.237,22	935,00
		MNA-12	740.863,12	8.197.182,63	915,00
		MNA-13	741.218,01	8.197.237,22	935,00
		MNA-14	741.217,76	8.197.182,89	915,00
		MNA-15	741.193,01	8.197.060,33	895,00
		MNA-16	741.553,76	8.197.237,22	935,00
		MNA-17	741.553,57	8.197.183,04	915,00
		MNA-18	741.956,57	8.197.237,22	935,00
		MNA-19	741.955,99	8.197.157,02	905,00
		MNA-20	742.246,92	8.197.317,35	935,00
		MNA-21	742.301,72	8.197.255,68	905,00
		MNA-22	742.496,30	8.197.645,88	935,00
		MNA-23	742.566,03	8.197.608,34	905,00
		MNA-24	742.679,52	8.197.992,74	935,00
		MNA-25	742.748,98	8.197.955,18	905,00
		MNA-26	742.900,54	8.198.411,19	935,00
		MNA-27	742.970,45	8.198.372,97	905,00
		MNA-28	741.193,01	8.196.975,47	885,00
	Marco Superficial	MS-01	737.293,01	8.197.462,61	935,00
		MS-02	737.568,30	8.197.439,35	935,00
		MS-03	737.927,76	8.197.408,88	935,00
		MS-04	738.271,00	8.197.379,78	935,00
		MS-05	739.068,30	8.197.312,19	935,00
		MS-06	739.068,00	8.197.258,28	915,00
		MS-07	739.511,72	8.197.274,60	935,00
		MS-08	739.511,83	8.197.220,71	915,00
		MS-09	740.268,30	8.197.241,42	935,00
		MS-10	740.268,10	8.197.187,55	915,00
		MS-11	740.813,82	8.197.241,42	935,00
		MS-12	740.813,41	8.197.186,83	915,00
		MS-13	741.168,30	8.197.241,42	935,00
		MS-14	741.168,05	8.197.187,09	915,00
		MS-15	741.504,05	8.197.241,42	935,00
		MS-16	741.503,86	8.197.187,24	915,00
		MS-17	741.906,86	8.197.241,42	935,00
		MS-18	741.906,28	8.197.161,22	905,00
		MS-19	742.203,50	8.197.292,83	935,00
		MS-20	742.258,30	8.197.231,16	905,00
		MS-21	742.473,20	8.197.602,16	935,00

				PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO			MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 133/15 9
			WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01
Estrutura	Instrumento	Identificação	Coordenadas		Cota de Topo
			E	N	(m)
		MS-22	742.542,70	8.197.563,96	905,00
		MS-23	742.656,42	8.197.949,01	935,00
		MS-24	742.725,64	8.197.910,80	905,00
		MS-25	742.877,45	8.198.367,46	935,00
		MS-26	742.946,96	8.198.329,09	905,00
	Piezômetro Casagrande	PZC-01	737.593,01	8.197.437,18	935,00
		PZC-02	737.952,47	8.197.406,70	935,00
		PZC-03	738.295,71	8.197.377,61	935,00
		PZC-04	739.093,01	8.197.310,02	935,00
		PZC-05	739.092,71	8.197.256,11	915,00
		PZC-06	739.536,43	8.197.272,43	935,00
		PZC-07	739.536,54	8.197.218,54	915,00
		PZC-08	740.293,01	8.197.239,25	935,00
		PZC-09	740.292,81	8.197.185,38	915,00
		PZC-10	740.838,53	8.197.239,25	935,00
		PZC-11	740.838,12	8.197.184,66	915,00
		PZC-12	741.192,76	8.197.184,92	915,00
		PZC-13	741.528,76	8.197.239,25	935,00
		PZC-14	741.528,57	8.197.185,07	915,00
		PZC-15	741.931,57	8.197.239,25	935,00
		PZC-16	741.930,99	8.197.159,05	905,00
		PZC-17	742.227,37	8.197.305,61	935,00
		PZC-18	742.282,16	8.197.243,94	905,00
		PZC-19	742.485,00	8.197.624,49	935,00
		PZC-20	742.556,10	8.197.587,20	905,00
		PZC-21	742.739,04	8.197.934,03	905,00
		PZC-22	742.889,24	8.198.389,79	935,00
		PZC-23	742.959,57	8.198.352,49	905,00
		PZC-37	742.668,21	8.197.971,34	935,00
		PZC-38	741.193,01	8.197.239,25	935,00
Barragem Principal	Piezômetro Elétrico	PZE-13	740.967,82	8.200.719,55	839,20
		PZE-14	741.022,26	8.200.775,42	816,91
		PZE-15	741.744,15	8.199.928,11	846,36
		PZE-16	741.803,63	8.200.016,95	816,32
		PZE-17	742.471,10	8.199.108,32	869,17
		PZE-18	742.486,06	8.199.238,30	839,58

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 134/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

Os desenhos de projeto nº MINA_BLC8007-1010-O-67 a MINA_BLC8007-1010-O-69 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.

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:

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

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

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

		PROJETO BLOCO 8
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 135/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

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

QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Volume Total do Reservatório	5	900.000.000,00 m³
Existência de População à Jusante	10	Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas
Impacto Ambiental	6	Área a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APP's, e armazena apenas resíduo calasse IIB – inerte segundo a NBR 10.004 da ABNT
Impacto Sócio-Econômico	1	Baixa concentração de instalações residenciais
Somatório	22	
QUANTO A CATEGORIA DE RISCO		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)		
Parâmetro de Classificação	Peso	Características da Barragem
Altura	7	159,00 m
Comprimento	3	6827,66 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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 136/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

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	

Tabela 13-2 – Resumo da Classificação da Barragem 1

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)	22
Categoria de Risco	Baixo
Dano Potencial Associado	Alto
Classe	B

Tabela 13-3 – Matriz de Classificação da Barragem 1

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 1:

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 137/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

- Dique de Partida;
- Alteamento contínuo do barramento;
- Sistema de drenagem superficial;
- Sistema de drenagem interna;
- Sistema Extravasor;
- Sistema de recuperação de água do processo via dique de contenção na saída da drenagem interna;
- Sistema de monitoramento geotécnico.

Dispondo da premissa que a barragem é alteada pelo método de linha de centro com rejeito grosso ciclonado, sendo este alteamento contínuo via espigotamento, 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.

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 138/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

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.

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.

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

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 139/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

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.

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.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 140/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

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 unoScarico (in Italian), Annali, dei Lavori, Publicci,1937, 75, 717–726.

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 141/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

APÊNDICE A

ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 142/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

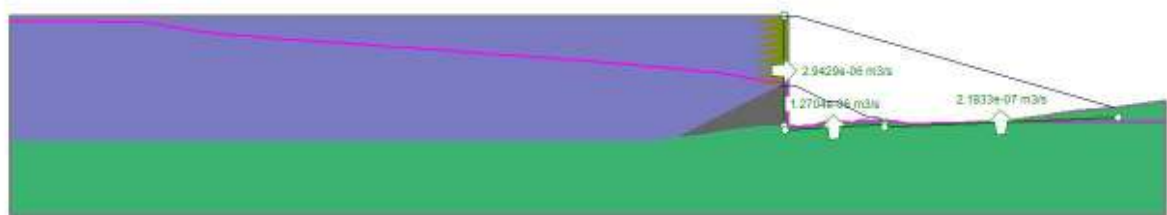


Figura A.1 – Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção A-A

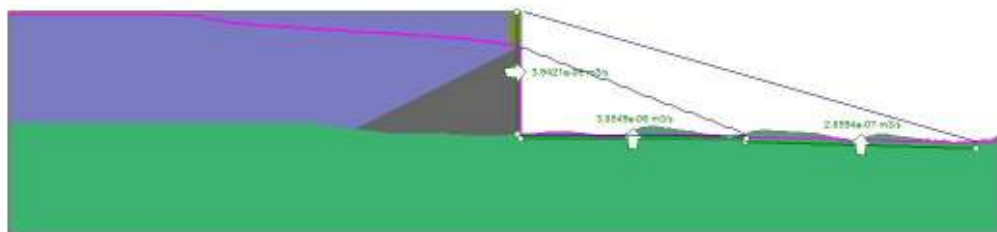


Figura A.2 – Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção B-B

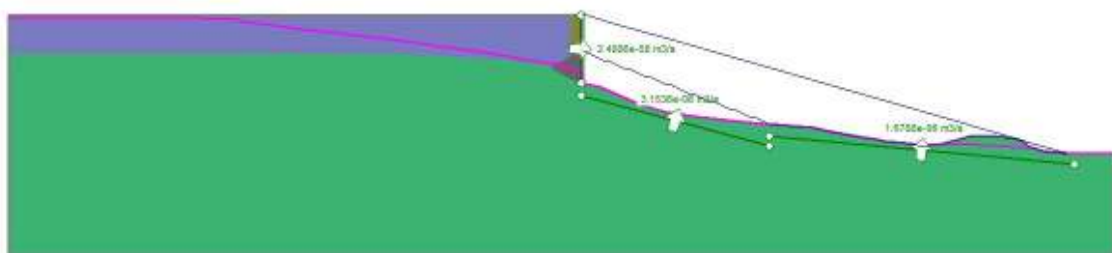


Figura A.3 – Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção C-C

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 143/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

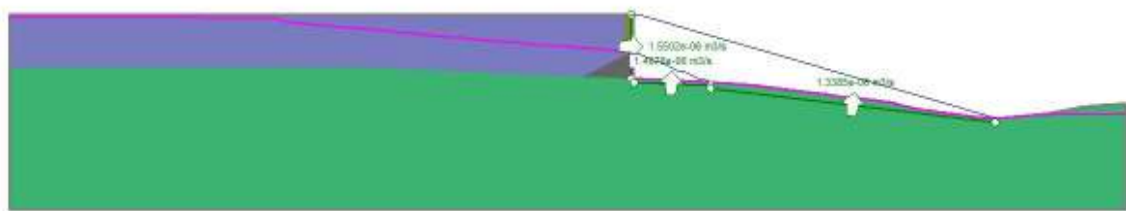


Figura A.4 – Análise de Percolação – Barragem Final (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção D-D

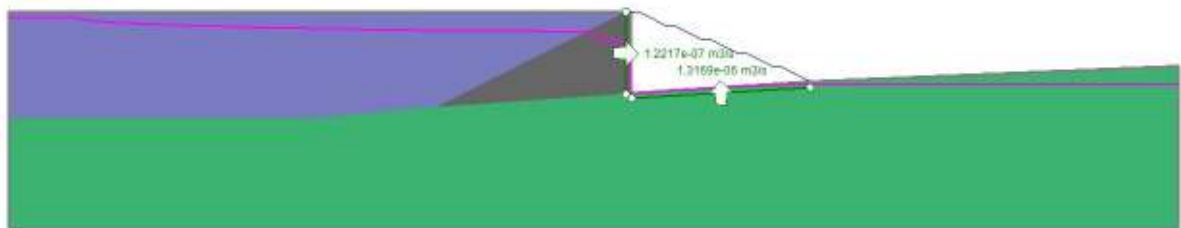


Figura A.5 – Análise de Percolação – Dique de Sela (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção A-A

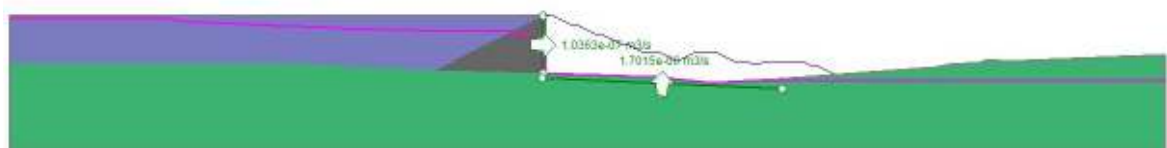


Figura A.6 – Análise de Percolação – Dique de Sela (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção B-B

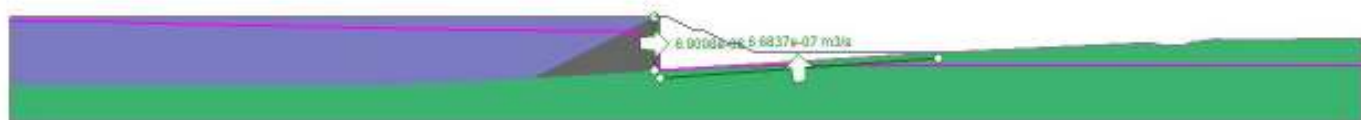


Figura A.7 – Análise de Percolação – Dique de Sela (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção C-C

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 144/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

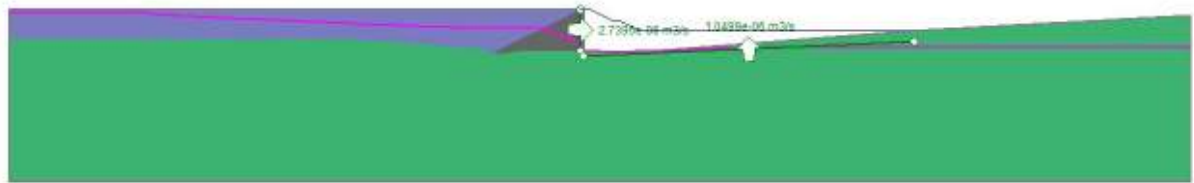


Figura A.8 – Análise de Percolação – Dique de Sela (EL. 935,00) – Fundo do Talvegue – Seção D-D

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 145/15 9	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

APÊNDICE B

ANÁLISE DE ESTABILIDADE

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 146/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

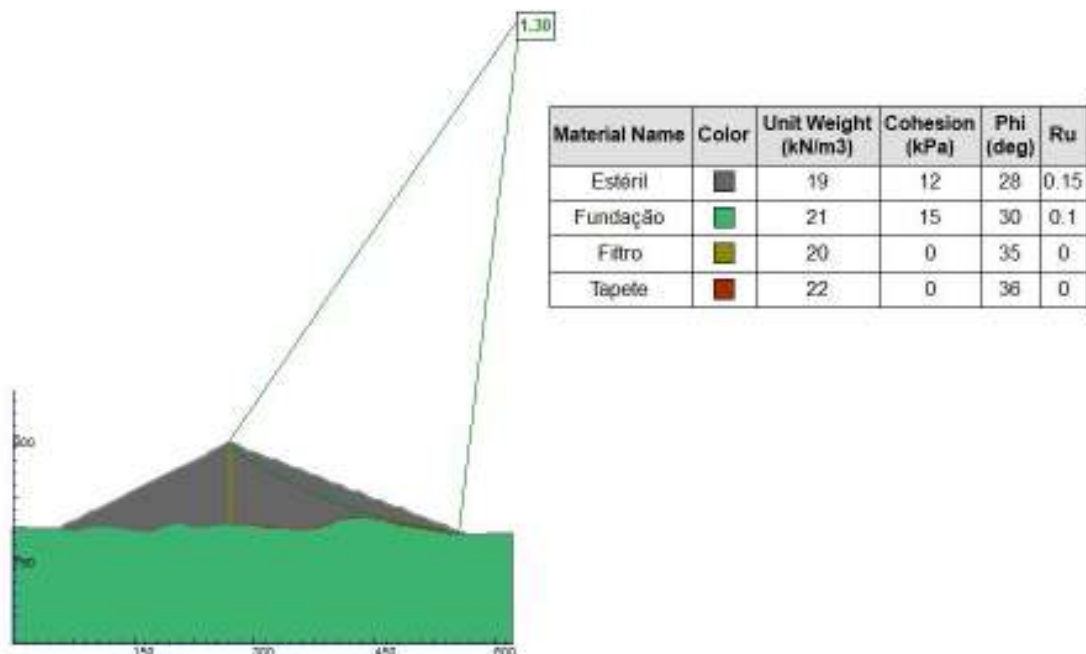


Figura B 1 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Jusante

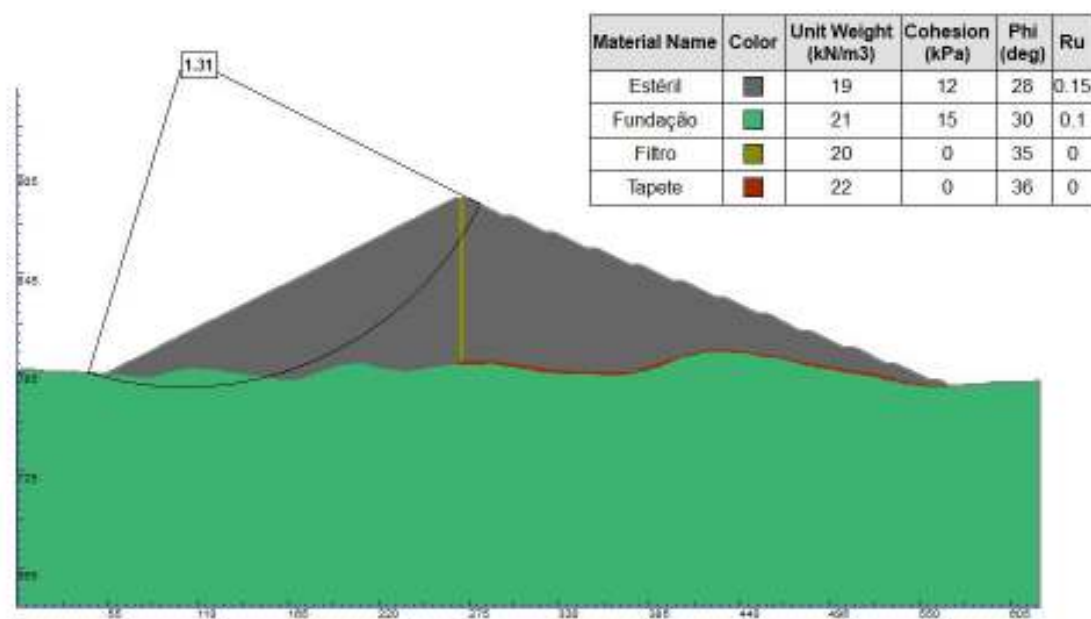


Figura B 2 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Montante

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 147/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

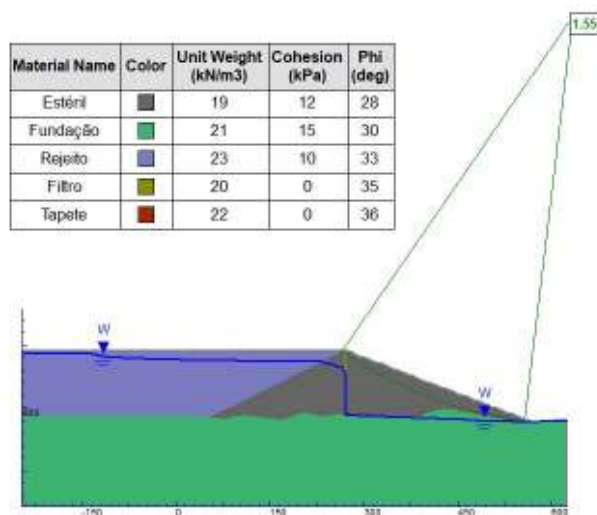


Figura B 3 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

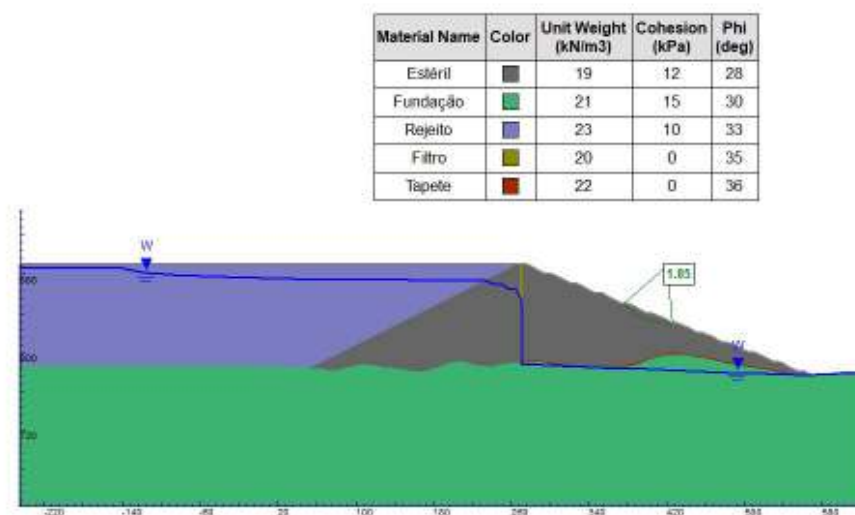


Figura B 4 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Normal – N.A Operacional - Talude Entre Bermas

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 148/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

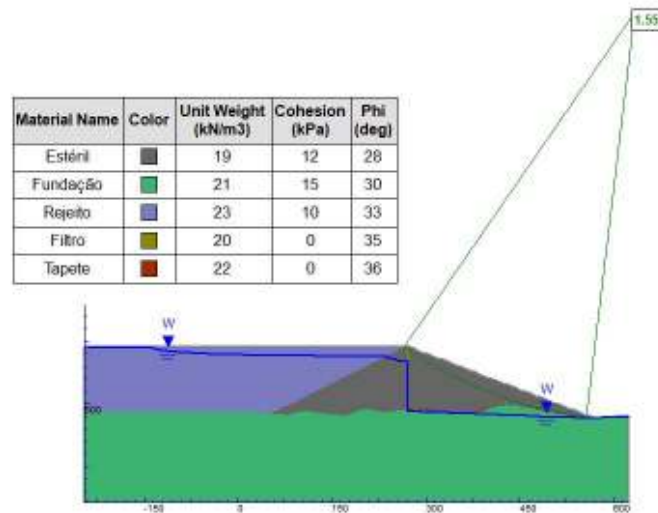


Figura B 5 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Normal – N.A Max Maximorum

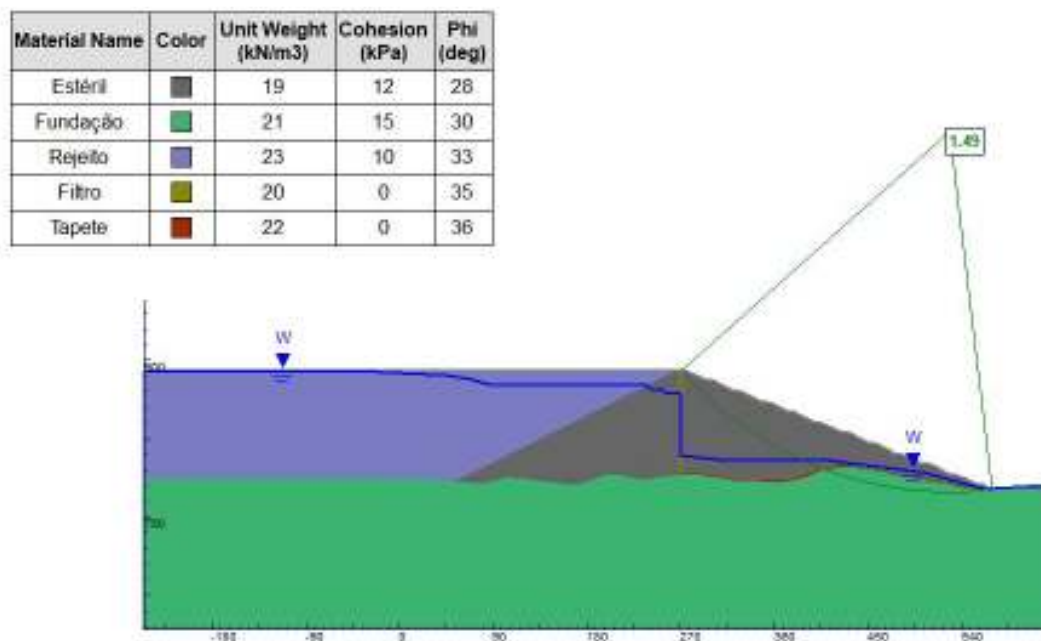


Figura B 6 – Análise de Estabilidade – Dique de Partida - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 149/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

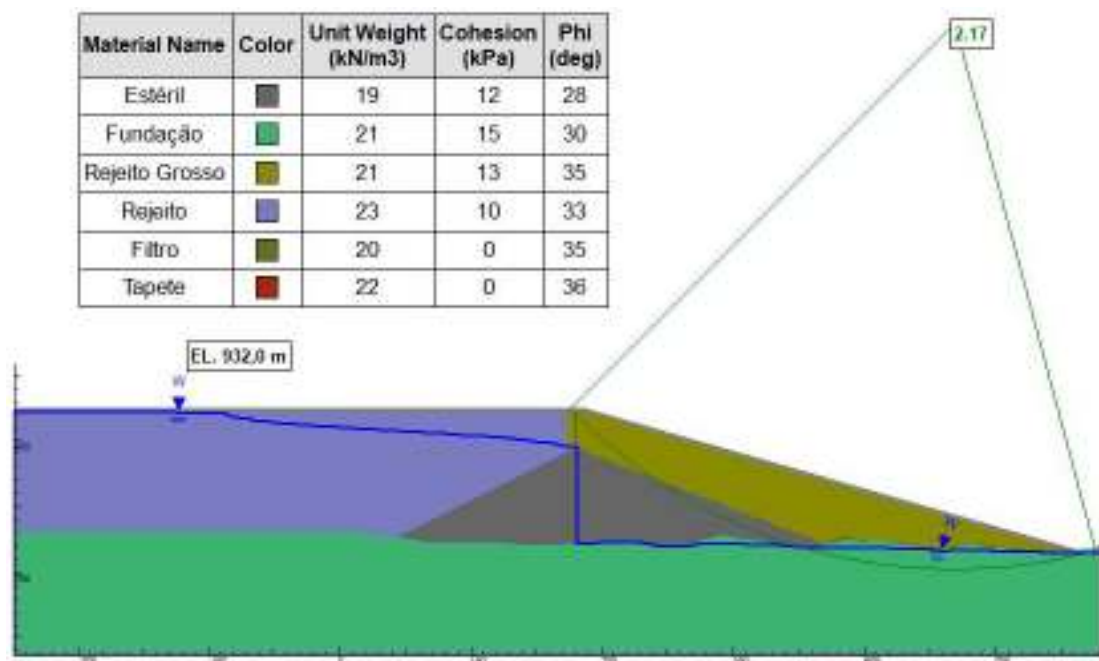


Figura B 7 – Análise de Estabilidade – Barragem Final - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

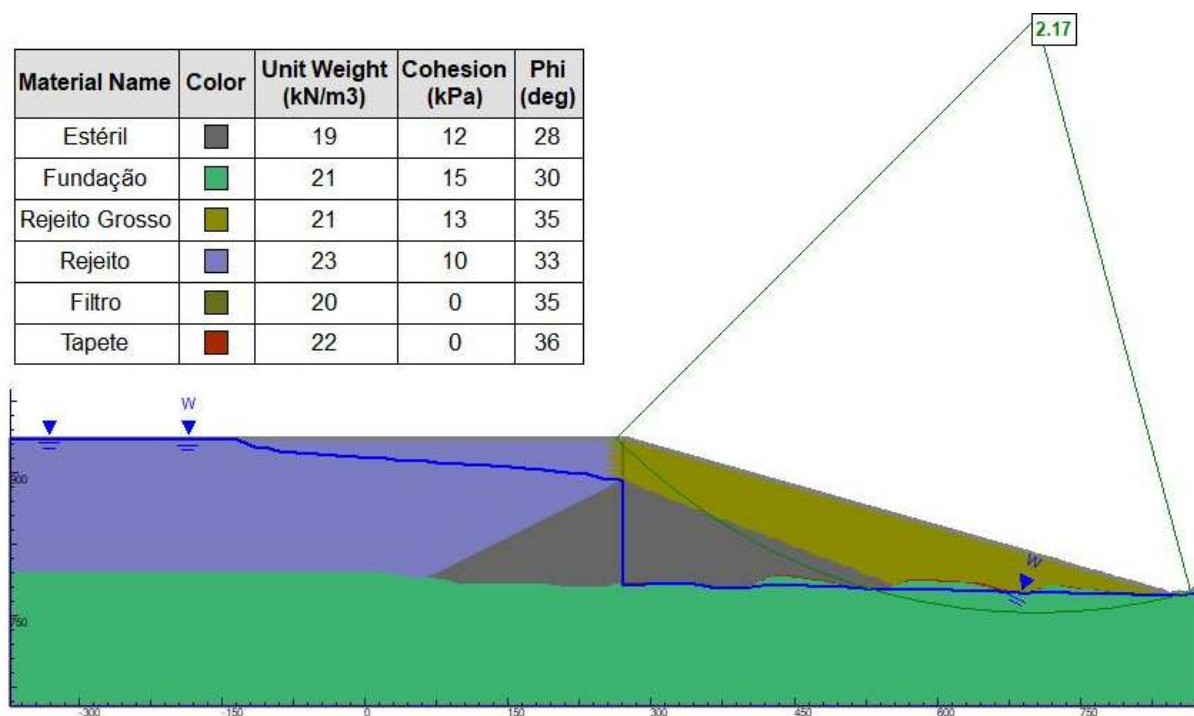


Figura B 8 – Análise de Estabilidade – Barragem Final - Condição Normal – N.A Max Maximorum

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 150/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

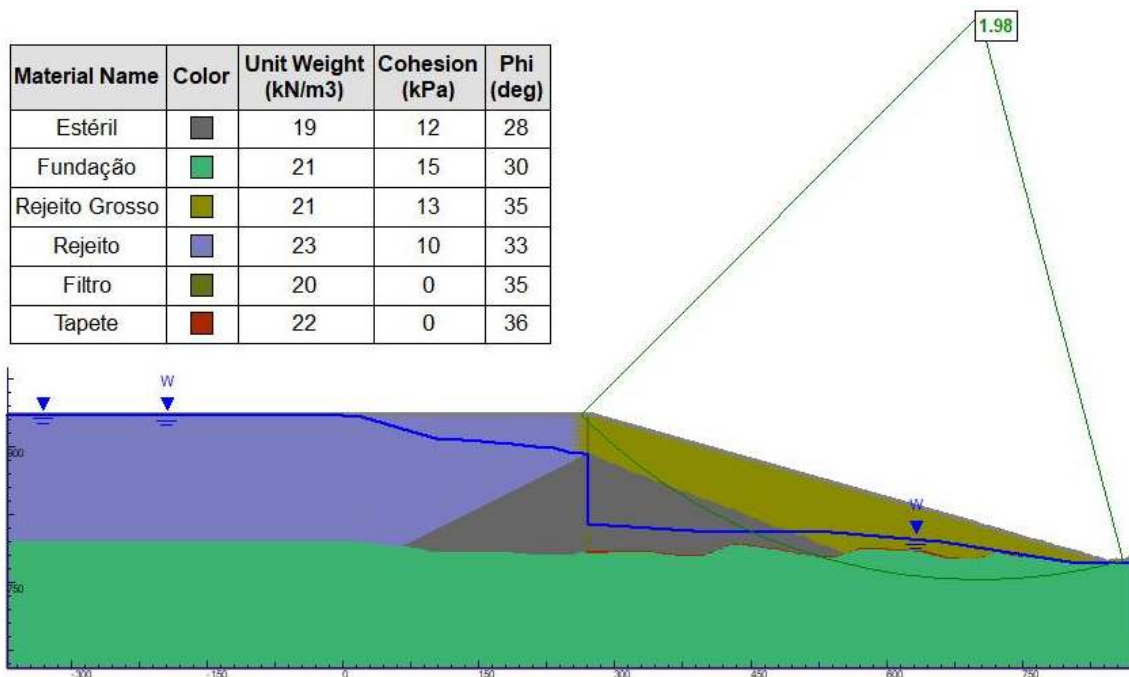


Figura B 9 – Análise de Estabilidade – Barragem Final - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

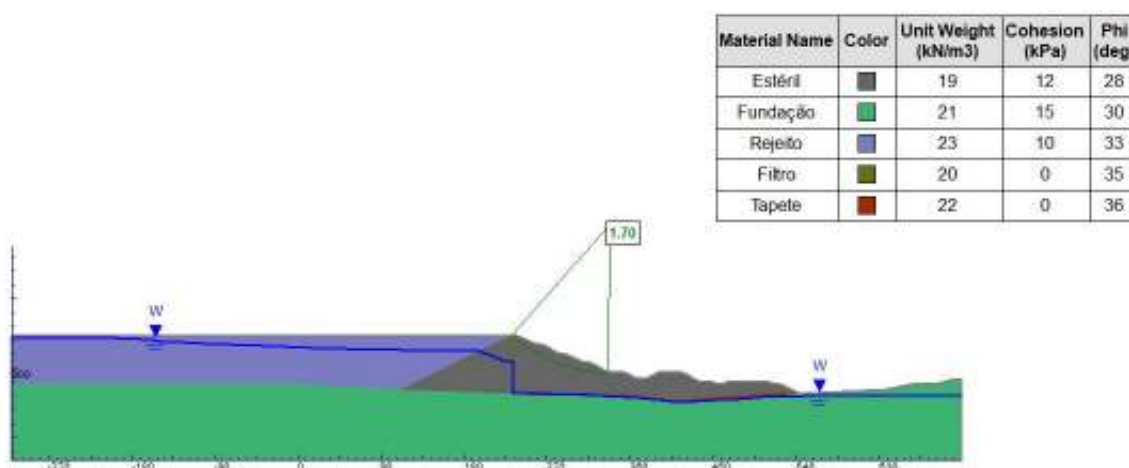


Figura B 10 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 151/15 9
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

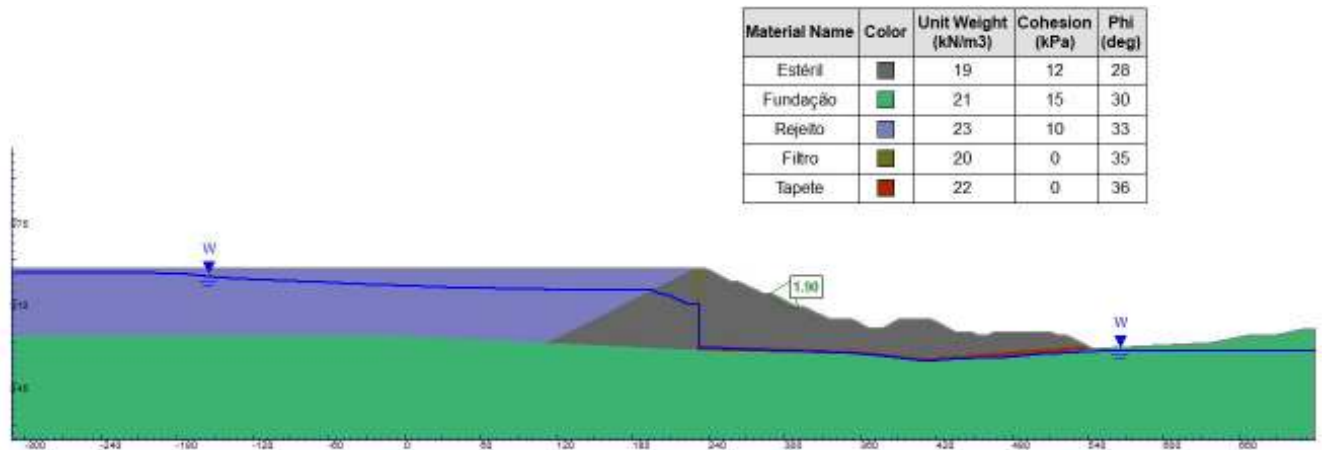


Figura B 11 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Condição Normal – N.A Operacional – Entre Bermas

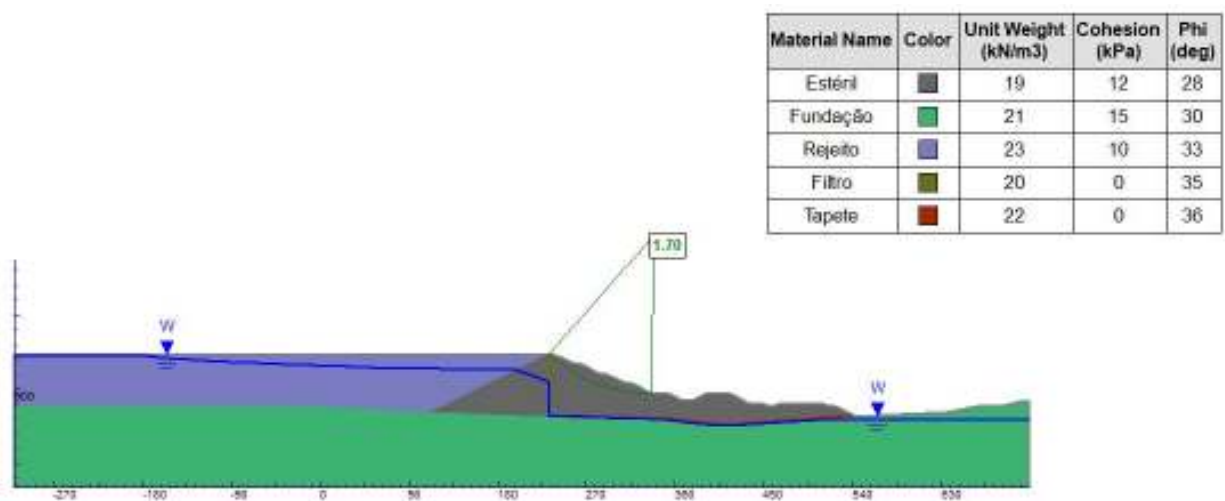


Figura B 12 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Condição Normal – N.A Max Maximorum

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 152/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

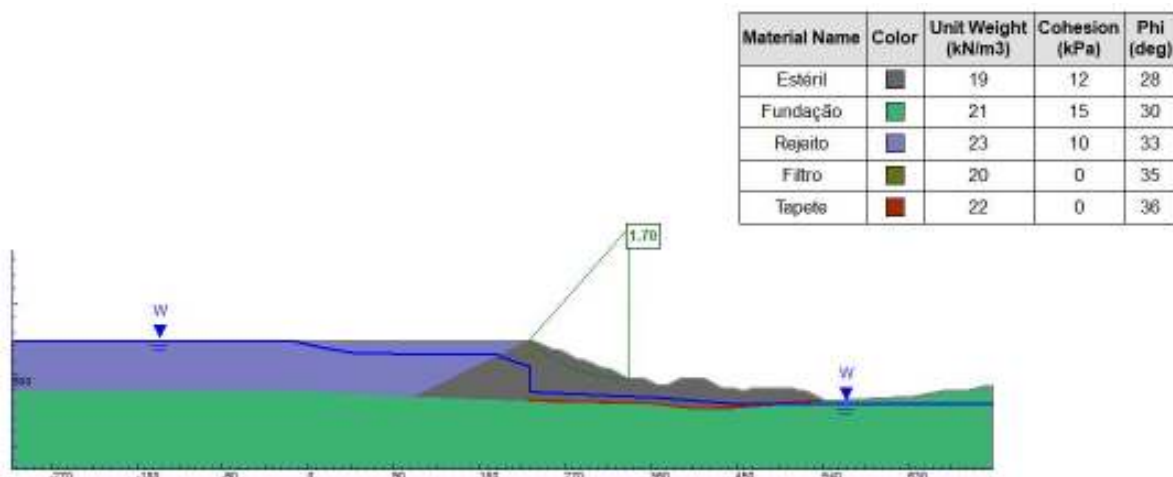


Figura B 13 – Análise de Estabilidade – Dique de Sela - Condição Crítica – N.A Max Maximorum

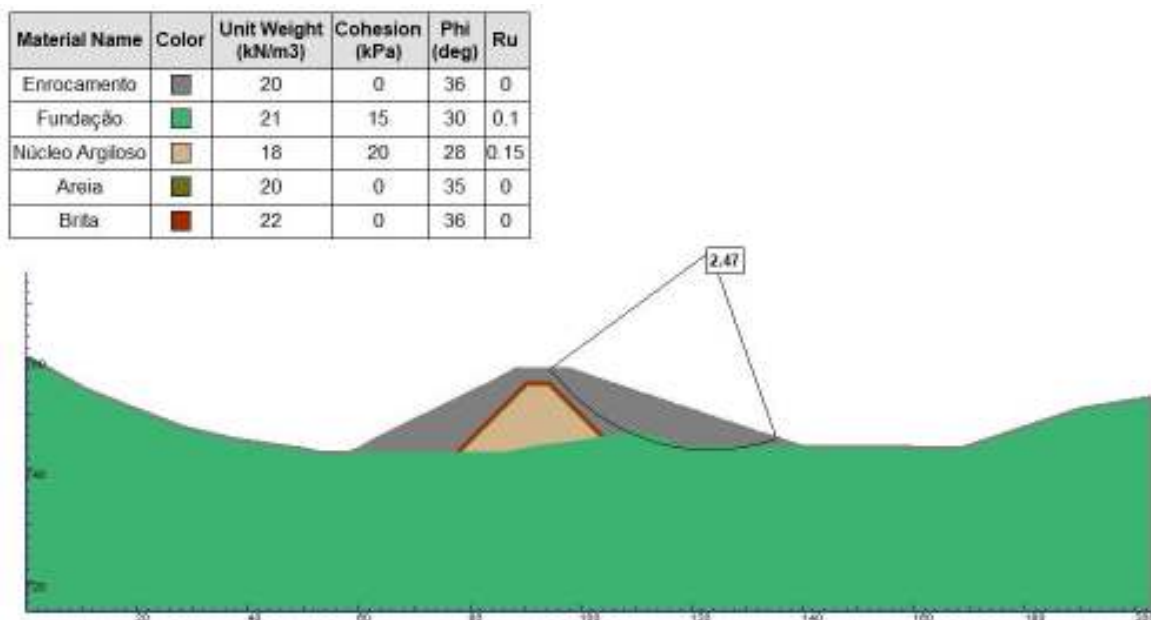


Figura B 14 – Análise de Estabilidade – Dique Auxiliar - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Jusante

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 153/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

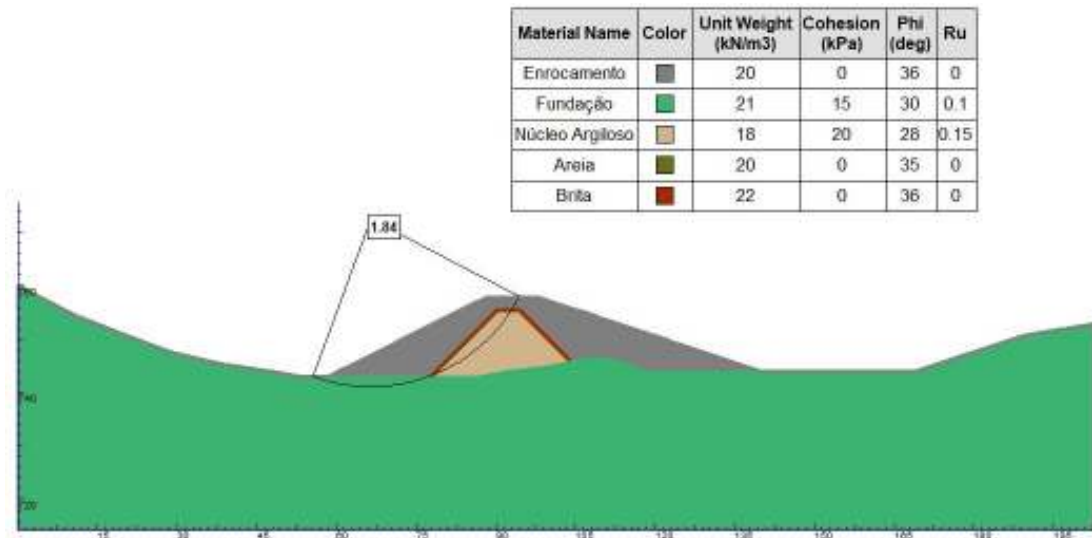


Figura B 15 – Análise de Estabilidade – Dique Auxiliar - Final de Construção – N.A Operacional - Talude de Montante

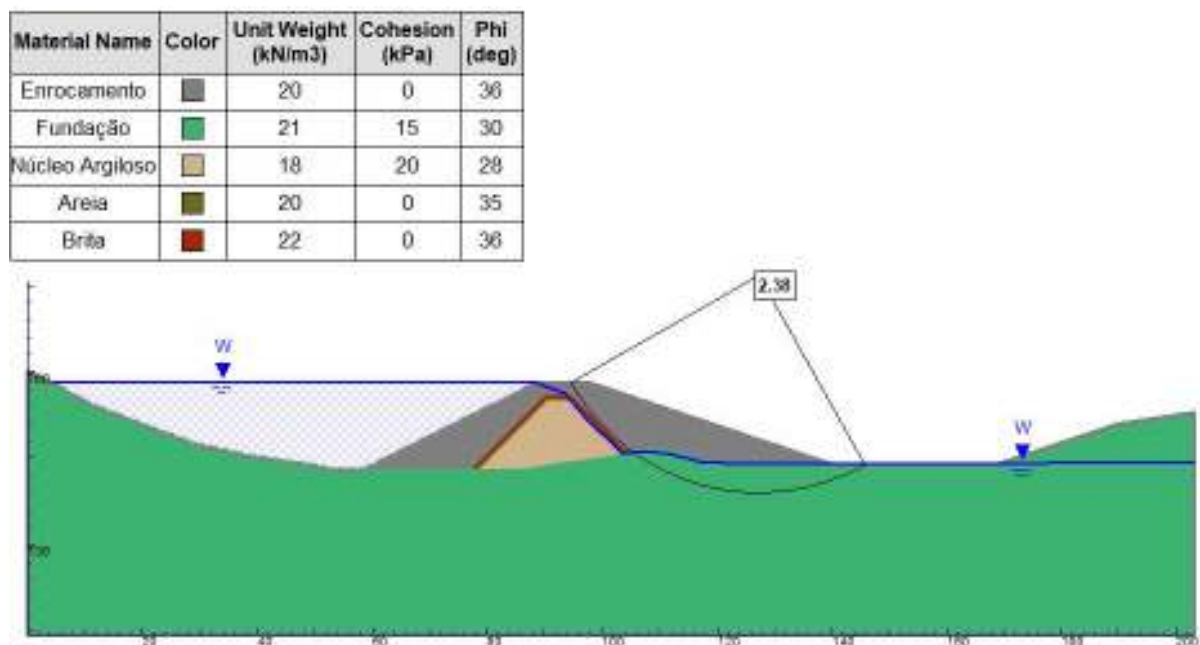


Figura B 16 – Análise de Estabilidade – Dique Auxiliar - Condição Normal – N.A Operacional - Talude de Jusante

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 154/15 9
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Enrocamento		20	0	36
Fundação		21	15	30
Núcleo Argiloso		18	20	28
Areia		20	0	35
Brita		22	0	36

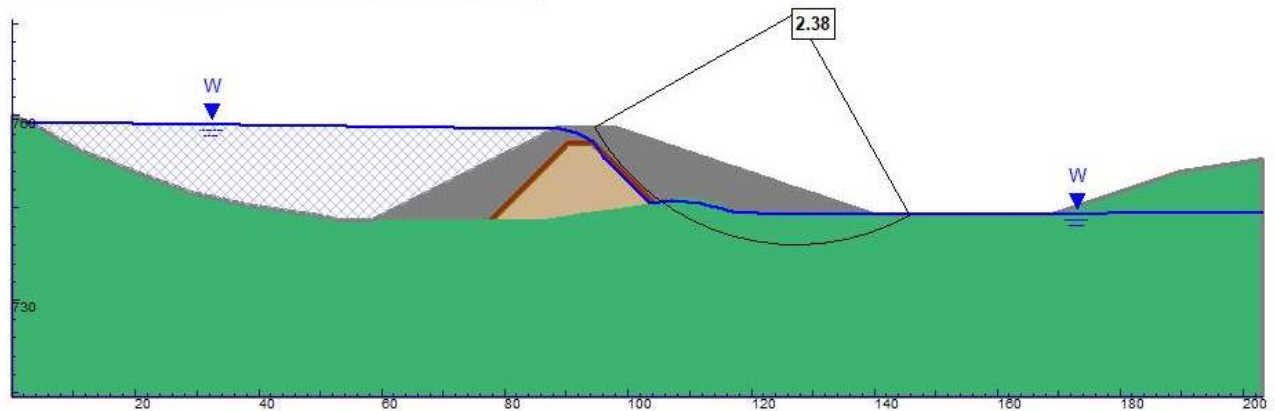


Figura B 17 – Análise de Estabilidade – Dique Auxiliar - Condição Normal – N.A Max Maximorum

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 155/159	
	WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01	

APÊNDICE C

ANÁLISE SÍSMICA

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 156/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

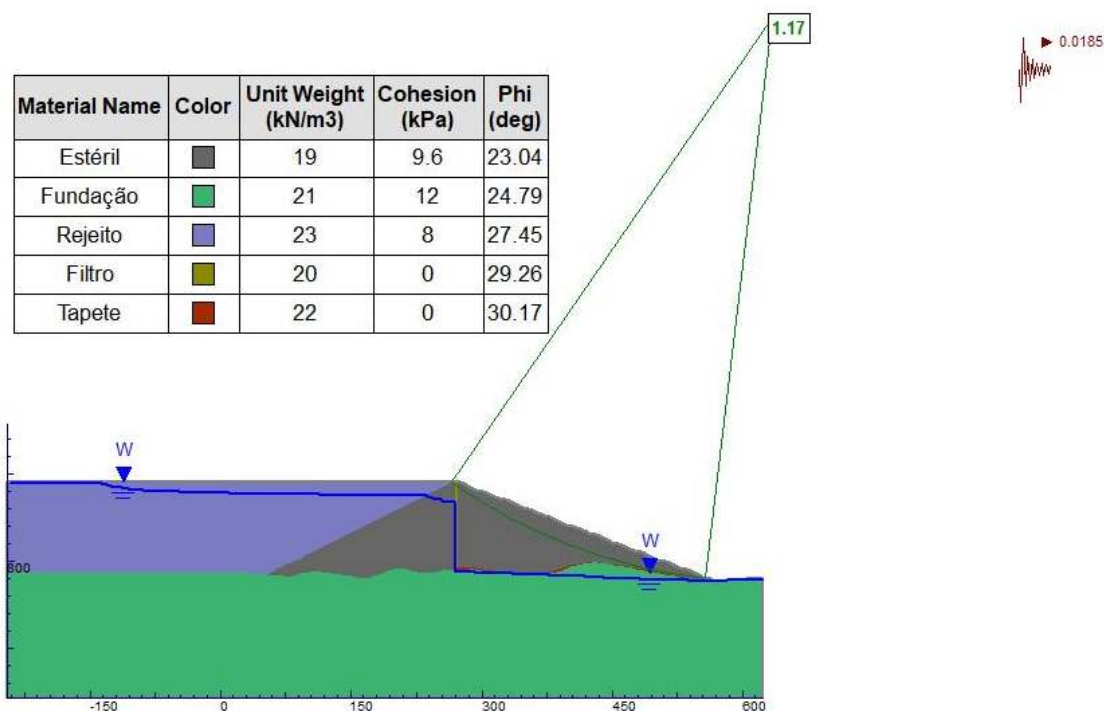


Figura C 1 – Análise Sísmica Natural – Dique de Partida – N.A Max Maximorum

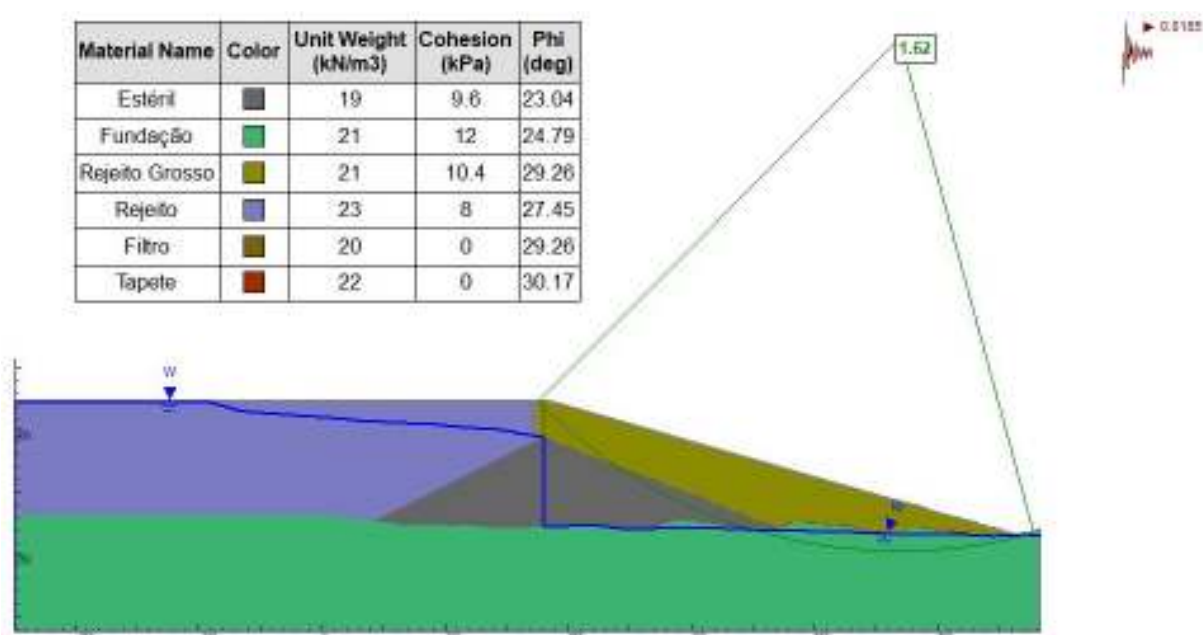


Figura C 2 – Análise Sísmica Natural – Barragem Final - N.A Max Maximorum

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO		MINA_BLC8007-1010-G-RE-31	Folha 157/159
		WBH28-17-SAM-RTE-0031	Revisão 01

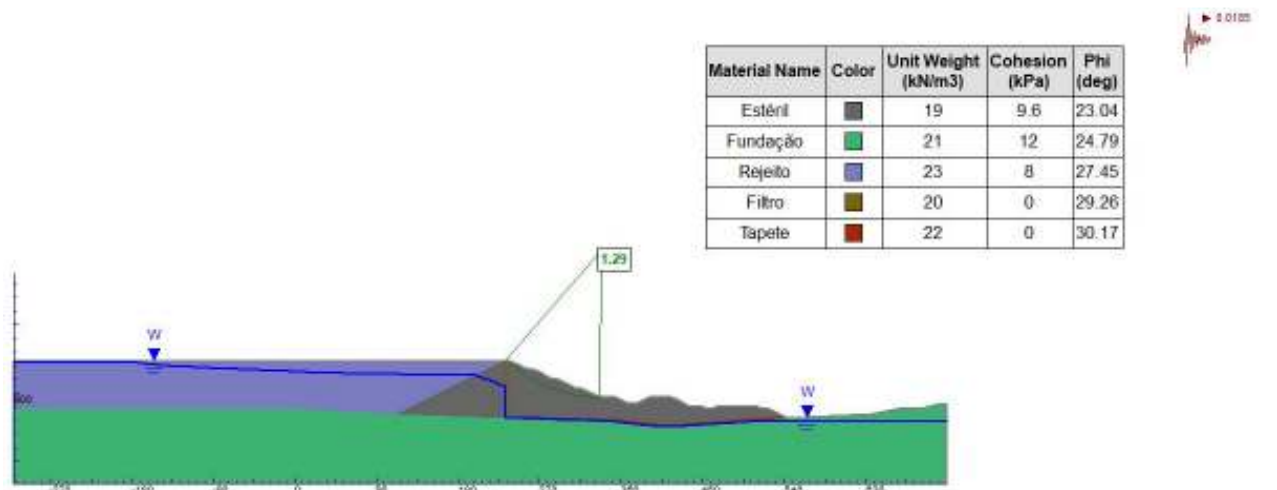


Figura C 3 – Análise Sísmica Natural –Dique de Sela - N.A Max Maximorum

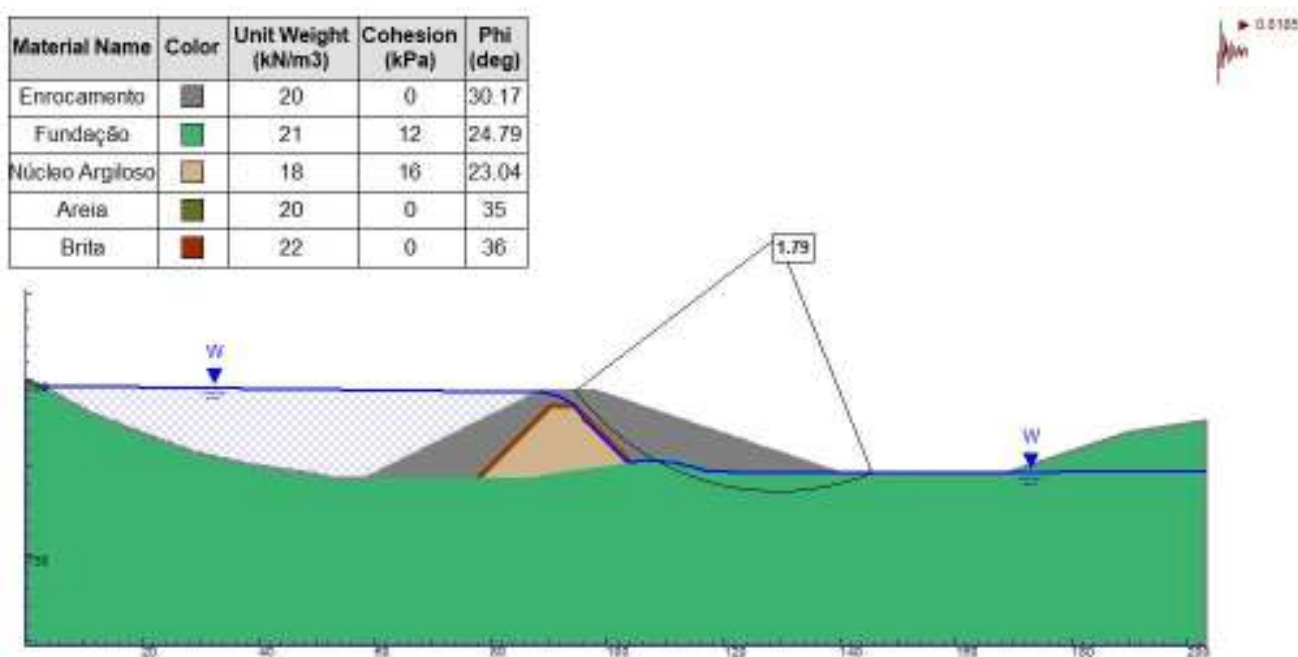


Figura C 4 – Análise Sísmica Natural –Dique Auxiliar - N.A Max Maximorum

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 158/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		Revisão 01

APÊNDICE D

PLANO DE DISPOSIÇÃO

		PROJETO BLOCO 8	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO BARRAGEM 1 RELATÓRIO TÉCNICO	MINA_BLC8007-1010-G-RE-31		Folha 159/159
	WBH28-17-SAM-RTE-0031		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