

Proposta de Fechamento de uma Barragem de Contenção de Rejeitos em Mina de Minério de Ferro

Marínis Almeida
Belo Horizonte, Brasil, marinis.almeida@hotmail.com

Hélio Cerqueira
Vale, Belo Horizonte, Brasil, helio.cerqueira@vale.com

Fabiano Mendanha
Vale, Belo Horizonte, Brasil, fabiano.mendanha@vale.com

Henrique Alves
VOGBR, Belo Horizonte, Brasil, halves@vogbr.com.br

RESUMO: Com o fim das operações extrativistas de uma mina surge a necessidade de reabilitação ambiental da área impactada. O Plano de Fechamento de Mina é uma ferramenta de extrema importância na orientação do empreendedor no processo de descomissionamento da mina. A Mina Córrego do Meio operou durante 9 décadas, encerrando as atividades em 2005 e atualmente está em processo de fechamento, localizada no município de Sabará no estado de Minas Gerais e de propriedade da mineradora Vale. A mineradora propõe para uso futuro da área um espaço de desenvolvimento de pesquisas e atividades voltadas para a conservação e recuperação ambiental através do CeBio - Centro de Pesquisas e Conservação da Biodiversidade do Quadrilátero Ferrífero. Como parte integrante do Plano de Fechamento da mina está o descomissionamento da Barragem do Galego, que foi construída para receber os rejeitos gerados no processo de beneficiamento do minério de ferro no ano de 1993. O conceito de descomissionamento desta barragem, foi descaracterizar a barragem permitindo a formação de sistemas alagados, denominados *wetlands*. Esta alternativa proporcionaria uma feição mais bem integrada ao meio ambiente, contrapondo a alternativa clássica de manter as barragens como obras de engenharia funcionando. *Wetland* é um ecossistema de áreas úmidas sujeitas a inundações periódicas ou permanentes, as quais mantêm o solo com umidade necessária para o desenvolvimento de plantas macrófitas. Para a descaracterização o maciço da Barragem do Galego será rebaixado em 26 m de altura, o lago bombeado e a praia de rejeitos será escavada. Assim, serão escavados 110 mil m³ do maciço e 257 mil m³ de rejeito, materiais que serão dispostos na cava. O maciço de solo compactado remanescente terá a superfície envelopada com enrocamento para permitir o escoamento de água em condições seguras evitando processos erosivos.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, Fechamento, Mina.

1 INTRODUÇÃO

Neste artigo apresenta-se a proposição de Fechamento da Barragem do Galego, que faz

parte da Mina de Córrego do Meio de propriedade da mineradora Vale, localizada em Sabará, Minas Gerias. A Barragem do Galego está situada a noroeste, em relação à cava

principal da mina, foi construída no ano de 1993 e passou por obras de alteamento e reforço da estrutura em 2002 e 2003, Figura 1.



Figura 1. Imagem aérea da Barragem do Galego (Google Earth, 2014).

A barragem tem 40,4 m de altura, sua crista está na elevação 907 m com 7,5 m de largura e 130 m de comprimento. O talude de montante tem inclinação de 1V:2H e o talude de jusante tem inclinação de 1V:1,6H com bermas de 3 m de largura a cada 10 m de altura.

A Figura 2 apresenta a seção transversal da Barragem do Galego com nível de água na elevação 902 m soleira do vertedouro e a linha freática apresentada no maciço da barragem foi aferida pelos instrumentos no final de 2014.

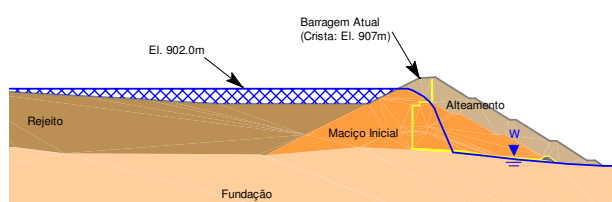


Figura 2. Seção transversal principal da Barragem do Galego.

O vertedouro da barragem é em concreto armado, está dimensionado para o tempo de retorno de 10.000 anos e foi construído na ombreira esquerda. É composto por um trecho inicial em galeria retangular fechada, com seção hidráulica de dimensões 3,0 m x 1,7 m, o trecho remanescente ocorre em calha retangular aberta, com seção hidráulica de dimensões 2,0 m x 1,0 m.

A Figura 3 mostra uma foto da barragem com destaque para parte da crista e do reservatório no ano de 2014.



Figura 3. Foto da Barragem do Galego em 2014.

Atualmente, com a paralisação das atividades da mina, não há lançamento de rejeitos na mesma, e a contribuição de sedimentos que o reservatório recebe é oriunda da Pilha de Disposição de Estéril Voçoroca e da bacia hidrográfica à montante. Desta forma a praia de rejeito encontra-se consolidada.

A desativação da Barragem do Galego propõe descaracterizar a barragem existente alterando a sua geometria (altura e volume do reservatório) e eliminando o reservatório de tal forma a reduzir o risco e o dano potencial associado. Esta medida configura um cenário para o qual a estrutura remanescente não se enquadra nos quesitos da Lei 12.344 (2010) - Política Nacional de Segurança de Barragens.

Para descomissionamento da barragem de rejeito, optou-se pela alternativa de descaracterizar a barragem permitindo a formação de sistemas alagados construídos, denominados “wetlands”. Esta alternativa proporcionaria uma feição mais bem integrada ao meio ambiente, contrapondo a alternativa clássica de manter as barragens como obras de engenharia funcionando.

“Wetland” é um ecossistema de áreas úmidas sujeitas a inundações periódicas ou permanentes, as quais mantêm o solo com umidade necessária para o desenvolvimento de plantas macrófitas.

Prevê-se a necessidade de monitoramento, apenas do plantio realizado durante os três

primeiros anos após a implantação da “wetland”, decorrido esse período, o ecossistema tornar-se-á autossustentável.

2 CRITÉRIOS E PREMISSAS

Os critérios e premissas para o desenvolvimento deste trabalho estão descritos a seguir.

2.1 Geotécnicas

- Seções geológico-geotécnicas elaboradas com base nas sondagens realizadas na área de projeto.
- Parâmetros de resistência determinados a partir de ensaios geotécnicos em laboratório, apresentados na Tabela 1.
- Avaliação de estabilidade considerou condições construtivas e definitivas da estrutura.

Tabela 1. Parâmetros de Resistência e Peso Específico dos Materiais.

Material	Peso Específico (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
Fundação	19	10	22
Maciço inicial	20	8	32
Alteamento	20,5	19,6	33,2
Rejeito	19	10	22
Transição	20	0	35
Drenagem Interna	20	0	30
Enrocamento	22	0	40

2.3 Hidrológicas e Hidráulicas

- Atendimento à norma ABNT (2006) para dimensionamento da calha vertente, considerou a vazão afluente calculada com base na precipitação máxima provável (PMP), sem borda livre.
- Para o extravasor de emergência, necessário durante o período de obras, foi adotada a vazão afluente referente a uma precipitação cujo tempo de recorrência corresponde a 25 anos.
- Para determinação das vazões de projeto

das estruturas do sistema de drenagem superficial foi adotado o Método Racional em função das características da área de contribuição.

- O dimensionamento do sistema de drenagem superficial considerou eventos de trânsito de cheias provenientes de uma precipitação cujo tempo de recorrência corresponde a 500 anos, para canais periféricos e canaletas, admitindo-se o escoamento permanente e uniforme.
- A escolha da relação intensidade-duração-frequência será adotada da referência Pinheiro (2011).

3 O DESCOMISSIONAMENTO DA BARRAGEM

Conforme descrito anteriormente, a Barragem do Galego será descomissionada a partir da transformação da barragem em uma “wetland”, que terá como princípio geotécnico de funcionamento ser uma estrutura galgável.

Assim, o maciço da barragem será escavado até a elevação 880 m, de modo que a mesma fique com altura de 13,4 m e crista com 6 m de largura. A Tabela 2 apresenta as características principais desta estrutura.

Tabela 2. Características finais da barragem após escavação.

Características	Dimensões
Altura Final	13,4 m
Elevação Final da Crista	884 m
Comprimento da crista	54 m
Largura da Crista	6 m
Inclinação do talude de jusante	1V:4H

O maciço remanescente da escavação da barragem será revestido com enrocamento e gabião, visando permitir o escoamento de água superficial de forma segura. No centro do maciço remanescente se formará uma calha vertente. Na Figura 4 apresenta-se uma seção típica da “wetland” e a Figura 5 destaque para esta seção.

A calha vertente constituída de gabiões ao longo da seção transversal central com

dimensões de 14 m de largura, 71 m de comprimento, 1,0 m de altura e inclinação 1(V):4(H).

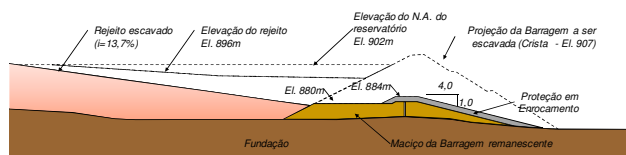


Figura 4. Seção Típica da “wetland”.

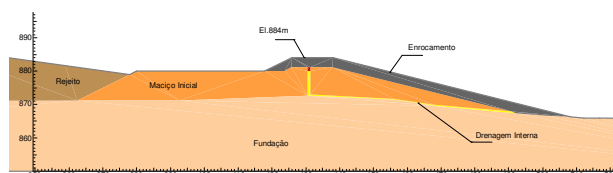


Figura 5. Destaque da seção típica da “wetland”.

4 SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA

A sequência construtiva para o fechamento da Barragem do Galego foi dividida em três etapas, conforme descrito a seguir:

- 1) Rebaixamento do reservatório;
- 2) Escavações do maciço da barragem e do rejeito do reservatório;
- 3) Execução da calha vertente.

4.1 Rebaixamento do Reservatório

A água do reservatório será bombeada visando expor a superfície da praia de rejeitos e permitir melhores condições de trabalho. O volume de água a ser bombeado do reservatório é da ordem de 228,7 mil m³, dado fornecido por meio de topobatimetria realizada em julho de 2013.

4.2 Escavações do Maciço e Rejeitos

O processo de escavação do maciço será concomitante às escavações no rejeito via equipamentos de terraplenagem. Para se executar escavações no rejeito propõem-se a implantação de valas junto ao talude de montante da barragem para drenagem do rejeito

e assim bombear a água para jusante da barragem.

A escavação da praia de rejeito emersa será finalizada com inclinação de 13,7%, a partir da elevação 902 m até a elevação 880 m. A escavação será iniciada a montante do reservatório, mais precisamente na região final da praia atual. Portanto à medida que ocorrer o rebaixamento do nível de água do rejeito deve-se proceder à escavação da praia de rejeito e realizar escavações para rebaixamento do maciço da barragem.

As escavações foram sequenciadas por cenários, a saber:

- Cenário 01 – escavação do maciço até a elevação 896m;
- Cenário 02 – escavação do maciço até a elevação 891m;
- Cenário 03 – escavação do maciço até a elevação 886m;
- Cenário 04 – escavação do maciço até a elevação 880m.

Um sistema extravasor de emergência para o período da obra foi dimensionado em tubulação PEAD com 1,0 m de diâmetro, que conectará ao canal do extravasor existente.

As escavações serão da ordem de 110 mil m³ de solo do aterro da barragem e 257 mil m³ de rejeitos. Estes materiais serão dispostos na cava da Mina de Córrego do Meio.

4.3 Execução da Calha Vertente

Ao fim das obras de escavação da Barragem do Galego será procedido o envelopamento em enrocamento do maciço de solo compactado remanescente e calha vertente em gabião colchão.

A calha vertente tem perfil em degraus, geometria trapezoidal considerando uma vazão calculada com base na precipitação máxima provável (PMP) e soleira na cota 883 m.

Os estudos hidráulicos definiram que a máxima sobrelevação de água na calha vertente é na cota 883,84 m, provocada pela cheia gerada pela PMP com duração de 2 horas. A vazão de pico do hidrograma afluente foi igual a 13,72 m³/s. Assim, a elevação da crista da

estrutura galgável definida foi 884 m. O reservatório que se formará terá pequena extensão e reduzida profundidade, apenas 3 metros, assim não haverá acúmulo significativo de água.

Para a restituição da vazão na extremidade de jusante, foi projetada uma bacia de dissipação, com mesma seção e revestimento do sistema extravasor, visando reduzir o potencial erosivo das águas.

Transições entre o material de origem (solo) e o enrocamento, conforme o critério de retenção da metodologia de Terzaghi & Peck (1967). O critério de retenção considera que o d_{15} da transição deve ser inferior a 5 vezes o d_{85} do material a ser protegido. Assim, obteve-se uma transição fina e uma grossa entre o solo e o enrocamento.

4.4 Demais Serviços

Sob a praia de rejeitos escavada deverá ser executada uma camada de solo compactado (23,5 mil m^3) e toda a praia será revegetada com espécies nativas da região. No pequeno lago a ser formado serão plantadas espécies macrófitas para caracterizar a “wetland”

As superfícies do terreno natural que fiquem expostas após a escavação do maciço da Barragem do Galego serão revegetadas e para auxiliar o desenvolvimento das espécies geomantas serão implantadas para que ofereça uma proteção durante o tempo de crescimento da vegetação.

Um sistema de drenagem superficial foi projetado com o objetivo de coletar o escoamento pluvial no contato da praia de rejeitos existente (a ser mantida) com o rejeito escavado e desta com o terreno natural, conduzindo-o de forma ordenada para o interior do reservatório, evitando assim o desenvolvimento de processos erosivos. Este sistema é composto por uma canaleta, dois canais periféricos, caixa de conexão e desemboque dos canais periféricos.

Para interceptação do escoamento proveniente da praia de rejeitos existente (declividade de 1,50%) uma canaleta de geometria trapezoidal 1,5V:1,5H, com base 1,5 m e altura de 1,5 m, concebida em gabião

colchão, foi projetada com declividade longitudinal de 1,0%, voltada para o canal periférico da ombreira esquerda. A conexão entre essas duas estruturas é feita por uma caixa de conexão.

Dois canais periféricos foram projetados com seção trapezoidal, em gabião colchão, com perfil acompanhando o terreno natural, um a ser implantado na ombreira direita e outro na ombreira esquerda. Estes canais serão implantados acima da camada de solo compactado.

4 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Um estudo de estabilidade foi realizado para o período de escavação e final de construção.

Os resultados das análises de estabilidade apresentaram valores de fator de segurança satisfatórios dentro dos limites recomendados pela ABNT (2006).

Tabela 3. Resultados das Análises de Estabilidade.

Situação	Fator de Segurança Recomendado	Fator de Segurança Obtido
Rebaixamento Rápido	1,2	1,37
Cenário 1 – Talude de Jusante	1,3	1,40
Cenário 3 – Talude de Jusante	1,3	1,51
Praia de Rejeito	1,5	2,79
Superfície Freática Normal	1,5	1,52
Superfície Freática Crítica	1,3	1,32

As Figuras 6 a 9 apresentam os resultados das principais análises de estabilidade. A Figura 6 indica o fator de segurança para o cenário construtivo 1 na elevação 896 m.

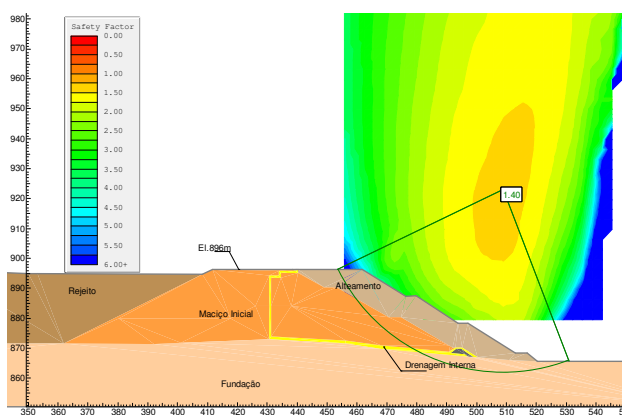


Figura 6. Cenário 1 – Elevação 896 m.

A Figura 7 indica o fator de segurança para o cenário construtivo 2 na elevação 886 m.

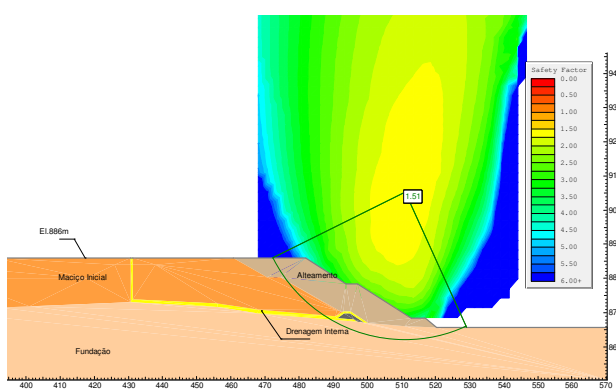


Figura 7. Cenário 3 – Elevação 886 m.

A Figura 8 indica o fator de segurança para o cenário final da “wetland” com nível de água normal na elevação 883 m.

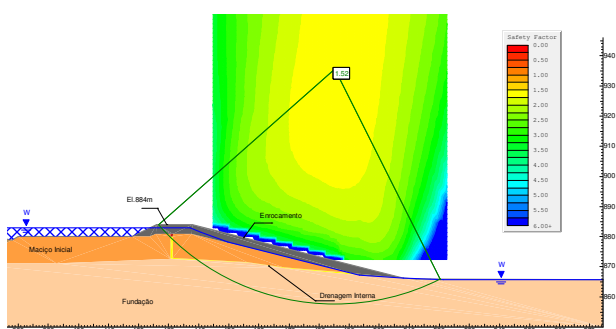


Figura 8. “Wetland” - Superfície Freática Normal.

A Figura 9 indica o fator de segurança para o cenário final da “wetland” com nível de água crítico na elevação 883,84 m.

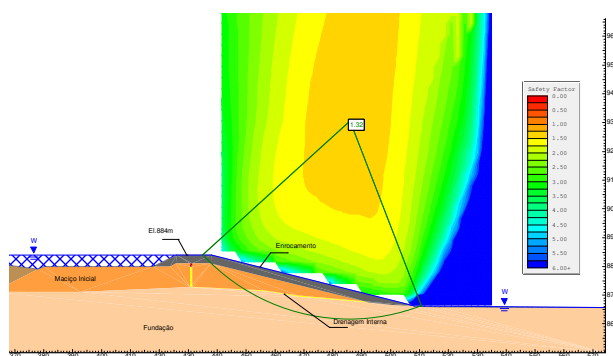


Figura 9. “Wetland” - Superfície Freática Crítica.

5 CONCLUSÕES

Os estudos apresentados mostraram-se adequados para os objetivos a que os mesmos foram desenvolvidos, ou seja, adequar a Barragem do Galego de tal forma a descaracterizá-la segundo diretrizes do DNPM.

Assim para a desativação da Barragem do Galego propõem-se bombeamento da água do reservatório, escavação de parte dos rejeitos dispostos no reservatório, escavação do maciço da barragem, proteção do talude de jusante por enrocamento e gabião para formar a calha vertente e plantação de macrófitas no pequeno reservatório para caracterizar uma “wetland”.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a VALE pela liberação para divulgação deste trabalho. E a VOGBR pelo incentivo.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2006). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13028:2006. *Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água*. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 6 p.
- BRASIL (2010). *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010*. Estabelece Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art.

35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000.

Pinheiro, M.C (2011). *Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração*. Porto Alegre: ABRH.