

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Avaliação de uma Barragem de Enrocamento Nucleado para Contenção de Rejeito de Cobre

Fernando Alves Cantini Cardozo

Engenheiro de Minas e Civil, DEMIN/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, fernando.cantini3@gmail.com

Cesar Alberto Ruver

Professor Adjunto, DECIV/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, cruver@gmail.com

Carlo Otávio Petter

Professor Titular, DEMIN/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, cpetter@ufrgs.br

RESUMO: Este trabalho apresenta a avaliação geotécnica desenvolvida de uma barragem de rejeito de mineração de cobre desativada. Trata-se de uma barragem de enrocamento com núcleo de argila, sendo o enrocamento de dimensões variadas. Com o objetivo de determinar a estabilidade do barramento, uma vez este não recebe aporte de rejeitos há décadas, foram feitas campanhas de inspeção visual, sondagens SPT, instalação e leitura de instrumentação; e caracterização dos materiais. Para a determinação da estabilidade da estrutura, foram avaliadas as seções consideradas críticas do barramento, sendo avaliada a hipóteses de liquefação e rupturas. Tendo sido analisados dados da sondagem, leituras da instrumentação e caracterização geotécnica dos materiais; no intuito de definir e proceder a melhor análise dada as limitações de recursos. Verificou-se que dada a geometria, tipo de barragem e características do rejeito não há suscetibilidade à liquefação ou superfície crítica de ruptura sob o rejeito. Das análises de equilíbrio limite verificou-se a situação de estabilidade da estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de Rejeito, Rejeito de Cobre, Análise Geotécnica, Barragem de Enrocamento.

ABSTRACT: This work presents the geotechnical evaluation developed under a copper mining tailings dam already deactivated. It is a rock dam with clay core, being the rocking of varied dimensions. In order to determine the dam situation, since it has not received tailings for decades, visual inspection campaigns, SPT surveys, installation and instrumentation reading were made; and characterization of materials. To determine the stability of the structure, the dam sections considered critical were evaluated, being evaluated the hypotheses of liquifaction and ruptures. Having analyzed survey data, instrumentation readings and geotechnical characterization of the materials; in order to define and carry out a better analysis given the resource limitations. It was verified that given the geometry, type of dam and characteristics of the tailings, not the susceptibility to liquefied or critical surface of rupture under the tailings. The limit equilibrium analyses showed a stability situation of the structure.

KEYWORDS: Tailing Dams; Constructive Methods; Copper Tailings, Geotechnical Analysis; Rockfill Dam

1 Introdução

Barragens de rejeito têm por finalidade a disposição de rejeitos oriundos da mineração. Estes rejeitos podem ser de diferentes fases do processamento mineral, desde a cominuição até os processos de separação estéril-minério, sendo estes processos físicos e/ou químicos. Deste modo, tem-se por característica geral dos rejeitos: a baixa granulometria, a presença de água e as propriedades físicas dependentes do tipo de minério-estéril e do processamento adotado.

Diferente das barragens para represamento de água, as barragens de rejeito têm sua execução e operação normalmente concomitantes à operação de um complexo mineiro (mina e planta de beneficiamento). São necessários alteamentos do barramento ao longo da vida útil da barragem, processo que pode perdurar por



diversos anos dependendo de fatores como porte da jazida e viabilidade econômica da exploração. Alguns autores atribuem a esse fato, de o barramento ser construído durante da vida útil do complexo mineiro, as falhas ocorrentes; uma vez que ao longo do tempo podem ocorrer mudanças nas propriedades dos materiais depositados e usados ao longo do tempo para o barramento, assim como na sua gestão, em termos de taxas de deposição e de alteamento. As exceções, a estas seriam as barragens executadas em etapa única, onde o barramento é executado já considerando seu volume final, de ocorrência limitada a barragens de menor volume e logo de utilização rara na mineração.

Na realidade brasileira, após as ocorrências das rupturas das barragens de Mariana e Brumadinho, houve notório enrijecimento da legislação e exigências a barragem, sobretudo as de rejeito de mineração. Sobre estas temos, por parte da Agência Nacional de Mineração, vide Portaria DNPM 70.389/2017 e Resolução ANM nº 13/2019, uma maior gama de exigências e classificações de risco mais conservadora em comparação com barragens fiscalizadas pelas Agências Nacionais de Água (ANA) e Energia Elétrica (ANEEL), vide Resolução ANEEL 696/2015, ANA 742/2011 e CNRH 143/2012.

Visto isto, este trabalho apresenta os estudos de caracterização e avaliação geotécnica realizados sob uma barragem de rejeito de cobre de pequeno porte, sobretudo em sua expressão vertical, realizando a caracterização do barramento e análises de equilíbrio limite. Foram para isso esquematizados modelos utilizando o software Rocscience Slide. Neste foram analisadas as drenagens e a estabilidade. Os modelos foram concebidos de maneira simplificada e na medida do possível equivalentes em geometria e propriedades.

2 Barragem Avaliada

A Barragem CBC (Figura 1), trata-se de uma barragem de rejeitos de mineração executada em etapa única (sem alteamentos adicionais) do tipo enrocamento com núcleo argiloso compactado. A estrutura compunha o complexo mineiro de Minas do Camaquã, distrito do Município de Caçapava do Sul/RS, localizado a cerca de 300 quilômetros de Porto Alegre. A Mineração, descontinuada, tratava-se da exploração a céu aberto e subterrânea de Minério de Cobre, para tanto a barragem tinha por finalidade a disposição dos rejeitos do beneficiamento do minério de cobre. Atualmente, devido a inatividade da mineração, a Barragem CBC encontra-se em vias de descomissionamento. Sendo mantidas as manutenções periódicas e acompanhamentos referentes a sua segurança e estabilidade.

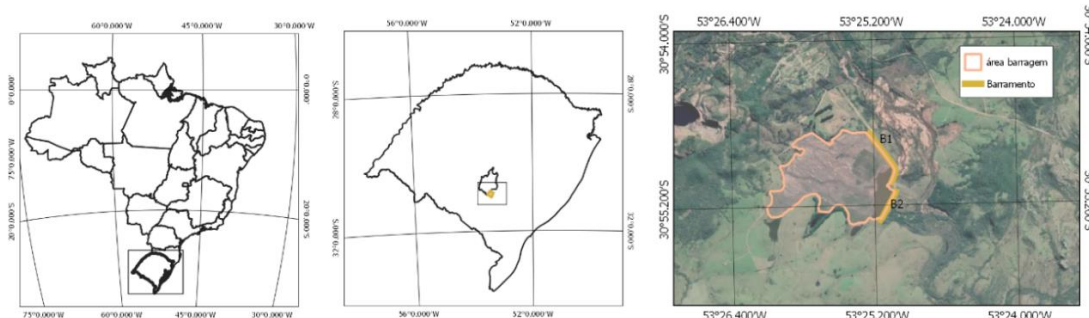


Figura 1 – Localização da Barragem CBC

Estima-se que a Barragem CBC, contenha aproximadamente 4,5 Mm³ (dado passível de reavaliação¹) de rejeito de cobre, possuindo camada de rejeito inferior a 11 metros, considerando a altura máxima do Barramento e sua inserção em talvegue. A área ocupada pelo rejeito espalha por 139 hectares, referente a lâmina d'água esta possui área de grande variabilidade a depender das condições climáticas (caracterizadas pela baixa pluviosidade da região), entretanto, sua lâmina d'água máxima fica em média abaixo de 1,6 metros. A barragem é constituída por dois barramentos (B1 e B2) e vertedouro localizado entre estes.

¹ Considerando ser desconhecida a topografia original do terreno sob o qual fora depositado o rejeito. O valor é estimado em função de sua localização em talvegue e na altura existente dos barramentos.



2.1 Estrutura da Barragem

A estrutura fora executada em enrocamento, com fragmentos de rocha de diversos tamanhos (identificou-se blocos de cerca de 500 mm) compactados, visível nas duas faces (montante e jusante); núcleo de argila compactada, conforme sondagens realizadas; e Rip-Rap no talude de montante, constituído de fragmentos de rocha de granulometria elevada e continua, tendo por finalidade e prevenção da erosão no talude de montante. Destaca-se que tal tipo de barramento não é típico para barragens de rejeito. A Figura 2 apresenta a esquematização do denominado perfil 1 (B1), o qual possui talude único a jusante. Tal perfil foi considerado o de maior criticidade no trecho 1 do barramento; e perfil 2 (B2), o qual possui seu talude de jusante dividido em dois patamares. Tal perfil foi considerado o de maior criticidade no trecho 2 do barramento. Os perfis tratam-se de interpretações com base nas identificações de campo (inspeções visuais), medições, sondagens realizadas, e perfis típicos de barragens de enrocamento apresentados por Cruz (1996).

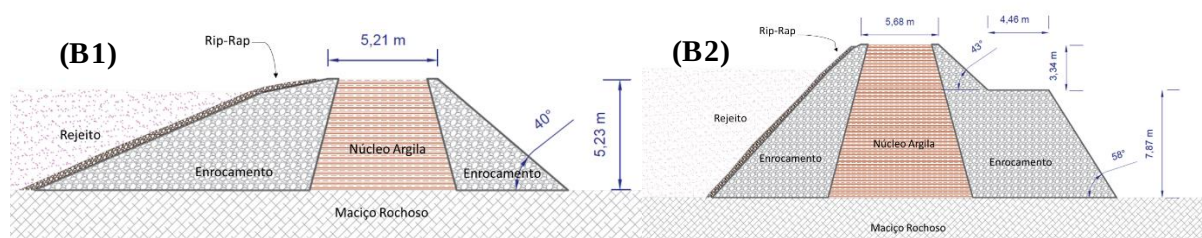


Figura 2 – Perfil esquemático do barramento, Perfil 1 (B1) e Perfil 2 (B2).

3 Caracterização do Rejeito e Materiais do Barramento

Foram executadas seis sondagens SPT: SPT 01-06, conforme croqui de sondagem. Observa-se que os resultados apresentam variação compatível com uma heterogeneidade do núcleo da barragem, entretanto observa-se que esta variação abrange valores elevados N_{SPT} , em sua maioria, valores acima de 20. Valores compatíveis com a consistência Rígida (MARANGNON, 2009), corroborando pela interpretação de um núcleo compactado. Complementarmente a sondagem SPT, foram realizadas sondagens a trado para confirmação da ocorrência das matérias. Foram também retiradas amostra indeformadas (bloco de amostra) para caracterização em laboratório. A Figura 4 apresenta a localização das sondagens realizadas.

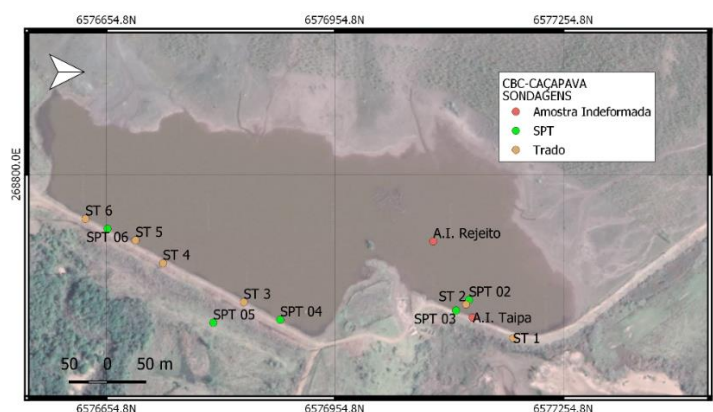


Figura 3 – Croqui de Localização das sondagens realizadas

Da análise dos valores obtidos da sondagem SPT realizada, torna-se conservadora a adoção dos parâmetros geotécnicos, como segue, para avaliação geotécnica de estabilidade. Quanto ao Rejeito contido, este foi caracterizado a partir de amostra indeformada coletada em campo, bloco de amostra, para inferência de parâmetros efetivos de resistência, como Cruz (1996) sugere que sejam utilizados, a partir dos parâmetros apresentados por Rafael e Romanel (2014) e Naeini e Akhtarpour (2018). Pondera-se que a opção pela inferência via bibliografia dos parâmetros efetivos, foi julgada ser a opção mais adequada, devido ao tipo de



estrutura existente (barragem de enrocamento) e se tratar de deposição descontinuada e não recente. Em tal caso, o uso de resistência não drenada (S_u) torna-se pouco realista devido a dissipação das poropressões e se tratar, todavia, de inferência via limite de liquidez.

Da caracterização realizada em laboratório, foram feitas análises granulométricas, limite de liquidez, permeabilidade e densidades dos materiais do rejeito e barramento. As caracterizações, permitiram sobretudo verificar a suscetibilidade do rejeito a liquefação. Para a inferência dos parâmetros referentes ao núcleo do barramento, foi feita inferência em relação aos valores médios dos ensaios SPT, sendo que estes apresentaram valores de N_{SPT} maiores de 20 para rejeito e núcleo.

3.2 Parâmetros do Enrocamento

Considerando tratar-se de enrocamento, por natureza esta classificação é ampla e faz referência fragmentos de rocha de diferentes granulometrias utilizadas. Tipicamente, como consta em bibliografia, são matérias com elevados ângulos de atrito relacionados ao ângulo de repouso do material utilizado, o qual por sua vez é decorrente da granulometria empregada. Os trabalhos de Cruz (1996) e de Meirelles (2008) apresentam diversas propriedades geotécnicas para enrocamentos de diversos matérias (tipos de rocha) e com diferentes granulometrias. Conforme, estes materiais apresentam baixas coesões (ou nulas), elevados ângulos de atrito e densidades variantes na faixa de 20 kN/m³. Dos ângulos de atrito (ϕ) apresentados nas revisões dos autores vesse grande predominância de (ϕ) de 60° chegando até mesmo a 86°.

Na estrutura em questão, observa-se grande variação de granulometria do enrocamento, composto por blocos de até 500 mm, verificando-se que o material é bem compactado não apresentando desagregação visível que permitissem livre percolação. Embora dos resultados da amostra indeformada recolhida do talude, temos valores de densidade e de permeabilidade, destaca-se que se optou pela inferência de parâmetros geotécnicos do enrocamento devido a amostra não ser representativa a porção da estrutura (enrocamento) como um todo.

3.3 Inferência de parâmetros do Rejeito

Referente ao rejeito de cobre disposto no barramento, observa-se regularidade na distribuição deste. Tipicamente as propriedades geotécnicas dos rejeitos de mineração são correlatas ao minério beneficiado e aos processos físicos e químicos a que estes foram submetidos. Tipicamente os rejeitos dispostos em barramentos tratam-se de partículas de pequena granulometria, uma vez que passaram pelos processos de moagem. Visualmente observa-se que o rejeito disposto se enquadra na faixa de siltes e argilas, sendo que da análise granulométrica se identificou predominância da fração silte e areia fina. Quanto aos parâmetros apresentados para rejeitos de cobre por Rafael e Romanel (2014) e Naeini e Akhtarpour (2018), tem-se valores típicos de (ϕ) de 32°-35°, (γ) de 19,2 – 24 kN/m³ e coesão nula. Da caracterização realizada temos: Limite de Liquidez: 48,57; Coeficiente de permeabilidade: $2,026 \cdot 10^{-6}$ cm/s; e Densidade natural: 13,5 kN/m³.

3.4 Parâmetros geotécnicos considerados na análise geotécnica

A Tabela 1, apresenta as propriedades dos materiais considerados nas análises de estabilidade.

Tabela 1 – Propriedades geotécnicas e hidráulicas dos materiais considerados nas análises

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	a	KS (m/s)	K2/K1	K1 Angle (deg)
Núcleo - Argila		20	Mohr-Coulomb	10	35					1e-007	1	0
Enrocamento		21	Mohr-Coulomb	5	55					1e-005	1	0
Rejeito		19	Mohr-Coulomb	0	33					2.206e-008	1	0
Fundação - Rocha		25	Generalised Hoek-Brown			90	3.52122	0.00386592	0.505734	2.5e-007	1	0

Referente aos parâmetros hidráulicos dos materiais, optou-se por considerar nos modelos materiais de comportamento isotrópicos ($k_1/k_2 = 1$) e utilizar valores de bibliografia para transmissividade (k) do núcleo



da barragem, fundação e enrocamento. Embora tenha sido analisada a permeabilidade do rejeito e de material do talude de jusante, devido a heterogeneidade do enrocamento, optou-se por utilizar valor de referência bibliográfica conforme apresentado por Cruz (1996), ainda que o valor obtido do ensaio esteja próximo do inferido por bibliografia. Para o peso específico também se optou por utilizar valores de referência, de forma a realizar uma avaliação conservadora. Destacando-se a limitação de amostragem (em número).

4 Análise do Potencial de Liquefação

Para análise de potencial de liquefação dos materiais geotécnicos constituintes da estrutura (barramento e rejeitos depositados) foi considerada a metodologia proposta por Olson (2001), referenciada como adequada a situações de barragens de rejeito por Silva (2010) e Souza Junior (2019). A metodologia referida é julgada adequada e aplicada a barragens de rejeito de grande porte (alteamento >30 metros). Destaca-se que existe carência de referências para barragens como a em questão. E devido natureza da estrutura, barragem de enrocamento nucleada, esta naturalmente não é propensa a ocorrência de liquefação, uma vez que sua macroestrutura é constituída de enrocamento.

Todavia analisou-se o potencial de liquefação dos materiais vide as metodologias apresentadas pelos autores supracitados, baseando-se na caracterização dos materiais pela granulometria, limites de liquidez e valores do SPT. Para a avaliação do potencial de liquefação do rejeito, foi observado seu enquadramento vide limite de liquidez e umidade, Figura 4; e distribuição granulométrica, Figura 5. Considerando os valores de SPT, corrigidos para N1(60), como preconiza a metodologia; ainda pode-se analisar o potencial frente a classificação utilizada por Olson (2001).

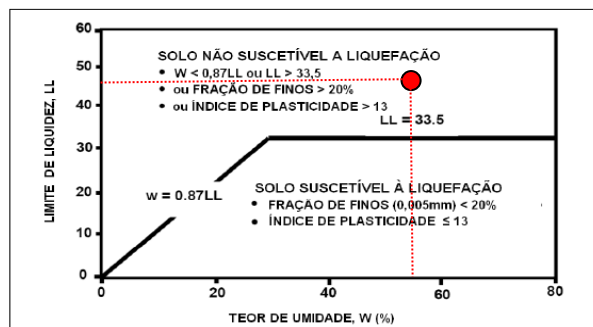


Figura 4 – Influência da plasticidade na liquefação de solos. (PERLEA, KOESTER, PRAKASH, 1999) e situação do rejeito disposto (em vermelho)

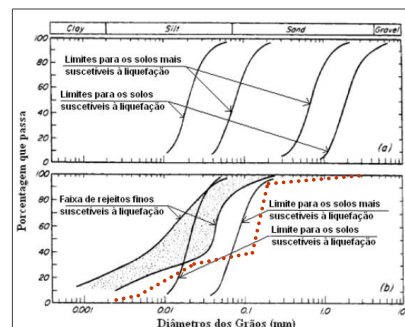


Figura 5 – Limites e faixas granulométricas de solos suscetíveis a liquefação (TERZAGHI, PECK, MESRI, 1996) e situação do rejeito (traçado vermelho)

No fluxograma da metodologia de Olson (2001), deve-se avaliar o potencial de ocorrência de liquefação nos solos que possuem suscetibilidade, sobre os quais atuem tensão decorrentes de planos de ruptura; ocorre que vide o tipo de barramento e o posicionamento das superfícies críticas sob o barramento, não abrangendo o rejeito em barragens de pequena altura (CARDOZO, 2019). O prosseguimento de análise via metodologia de Olson (2001) tornasse inócua. Mesmo da situação do rejeito vemos que o material, considerando o gráfico de Perlea et al. (1999) e o limite de liquidez do material e seu índice de plasticidade, vemos que este não seria passível de liquefação, segundo a metodologia. Já segundo sua granulometria, não temos o enquadramento de toda a distribuição granulométrica do rejeito dentro dos limites de maior suscetibilidade. Concluindo-se pela não suscetibilidade a falha por liquefação e respectiva necessidade de cálculo de estabilidade considerando parâmetros de resistência pós-liquefação.

5 Análise de Estabilidade

Para a análise de estabilidade, como preconiza NBR 13.028/2019 e Resolução ANM nº 13/2019, se avaliou as principais hipóteses de ruptura e falha da estrutura que levem ao comprometimento de sua função e



perda da condição de estabilidade. Estas hipóteses (Tabela 2) foram elencadas com base na inspeção de campo, realizada conforme roteiro para inspeções de segurança em barragens (MIRANDA, 2016).

Tabela 2 – Avaliação das hipóteses de ruptura para a barragem

Hipótese	Avaliação
Movimentos rotacionais translacionais e mistos	Identificam-se como os principais mecanismos de possível falha da estrutura em questão. Neste caso o uso dos métodos de equilíbrio limite é considerado adequado.
Liquefação e piping	São hipóteses que corroboram para perda de resistência no caso da liquefação e para degradação da estrutura em possível evolução para ruptura no caso do piping. Considerando a estrutura do barramento, sua tipologia e estado de conservação tais hipóteses podem ser afastadas. No caso da liquefação, observa-se que as principais superfícies de ruptura (vide análises de estabilidade) não ocorrem sob o rejeito. Considerando ainda que o tipo de barragem existente é concebido para acumulação de água (de forma genérica) logo uma perda de resistência por liquefação (estática ou dinâmica) não representa situação de risco.
Rotação (generalizada) da estrutura	A hipótese de uma rotação generalizada da estrutura também é descartável vide tratar-se de uma barragem de enrocamento e pequena altura (inferior a 15 metros).
Falha na fundação	Da inspeção de campo, observa-se tratar de um ambiente geológico-geotécnico, de rochas aflorantes e de solos rasos e mal desenvolvido, logo conclui-se pela fundação da barragem direto na rocha. Considerando as litologias locais, conglomerados e arenitos de considerável competência, a pressão atuante (considerada baixa) é descartável um colapso da fundação seja por subsidência ou por falha em decorrência de existência de camada de solo mole.
Deformações excessivas	Considerando a geometria do barramento, o terreno de fundação e o tempo decorrente de sua execução até o momento, fica afastada a hipótese de ruptura por deformações ou mesmo o comprometimento da estrutura e de sua função em decorrência de deformações. Atesta-se isto, considerando além da inspeção visual que não apontou ocorrência de deformações; o monitoramento dos marcos topográficos instalados no barramento, que não acusaram movimentações.

5.1 Modelos geotécnicos avaliados

Para a avaliação geotécnica de estabilidade, foi avaliada a estabilidade dos perfis B1 e B2 (Figuras 2), fornecidos por levantamento planialtimétrico realizado. Estes perfis foram considerados de maior criticidade devido serem os de maior expressão vertical.

Quanto ao regime hídrico optou-se por analisar o cenário de maior criticidade coincidente com o nível máximo d'água, a 40 cm do topo do barramento, tal situação é de rara ocorrência sobre tudo com a adoção das medidas de controle hídrico existentes: manutenção do vertedouro e coroamento com canal de drenagem no entorno da barragem. Salienta-se que da vistoria verificou-se acúmulo d'água afastado do barramento.

Para as análises utilizou-se o software Slide 6, estruturando um modelo geotécnico que evitasse efeitos de borda. Para a análise de estabilidade definiu-se a subdivisão das superfícies de ruptura em 25 lamelas. Para modelagem de linhas de fluxa (percolação d'água), utilizou-se de Elementos Finitos, discretizando o modelo em 5000 elementos triangulares. Como critério de ruptura utilizou-se o critério de Morh-Columb, para todos os materiais com exceção da fundação sob a qual utilizou-se o critério Hoek – Brown Generalizado.

O cálculo do fluxo água pelo rejeito e pelo maciço, via modelagem numérica é de suma importância para a definição das poropressões atuantes as quais tem influência direta na estabilidade da estrutura. Outra observação necessária a ser feita se refere a acúmulos de gradientes hidráulicos os quais podem vir a contribuir (a depender da posição) para processos de *piping*. Ressalta-se, entretanto, que barragens de enrocamento tem grande resistência a acúmulos de poropressões e ocorrência de *piping*.

Os fatores de segurança foram calculados pelos Modelos de Bishop Simplificado, Morgenstern-Price e Spencer, considerando superfícies circulares, não circulares e mistas. Fora realizada avaliação nos taludes (B1 e B2) de montante e de jusante do barramento. Para simulação da ruptura translacional generaliza do barramento utilizou-se de um plano de ruptura pré-definido simulando tal situação, juntamente com a opção de busca otimizada de plano ruptura translacional.

5.2 Resultados

Nas Figuras 6 e 8, a seguir, estão apresentados os fatores de segurança (FS) calculados pelos modelos e superfície de ruptura crítica para o método que apresentou o menor fator de segurança. Para as hipóteses de ruptura translacional, Figuras 7 e 9, é apresentado além da superfície proposta, que simula o deslizamento de todo o barramento, a superfície com o menor Fator de Segurança por busca automatizada (auto-busca).

5.2.2 Avaliação Barramento B1

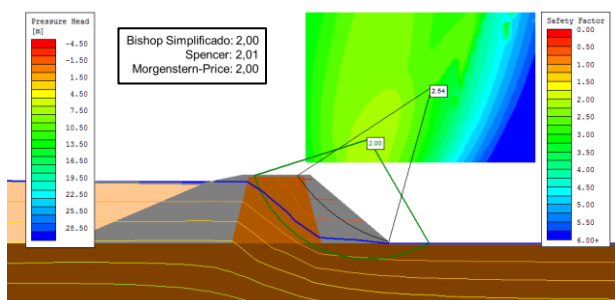


Figura 6 – Modelo geotécnico do perfil B1– Método de Bishop Simplificado.

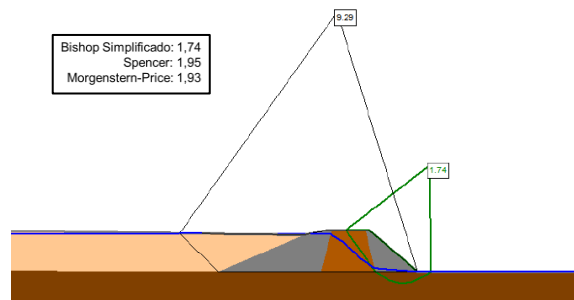


Figura 7 – Modelo geotécnico do perfil B1 – Método de Bishop Simplificado – para superfície não-circular (auto-busca) e superfície sugerida.

5.2.1 Avaliação Barramento B2

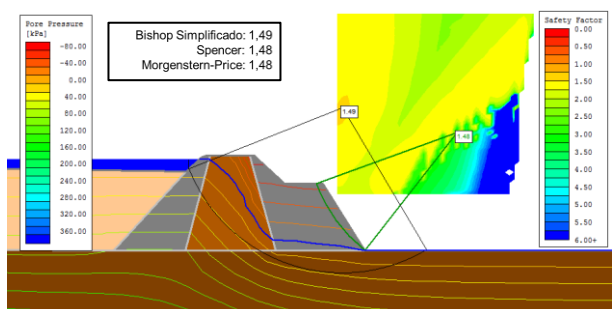


Figura 8 – Modelo geotécnico do perfil B2 – Método de Morgenstern-Price.

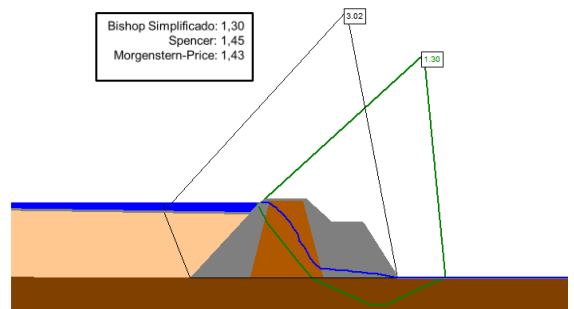


Figura 9 – Modelo geotécnico do perfil B2 – Método de Bishop Simplificado – para superfície não-circular (auto-busca) e superfície sugerida.

6 Conclusões

Conclui-se que a estrutura em análise se encontra em situação de estabilidade, não sendo propensa a rupturas por mecanismos de rupturas rotacionais, translacionais e mistos. De mesmo modo a hipótese de tombamento é remota e não aplicável dada a geometria do barramento. Já a hipótese de ruptura por liquefação é afastada pela caracterização dos materiais (rejeito e barramento) e também pelos posicionamentos das superfícies críticas de ruptura (Figuras 6 e 8).

Quanto aos Fatores de Segurança calculados, estes atendem a normativa ABNT NBR 13.028 e Resolução ANM nº 13/2019, em todas as hipóteses, considerando a precisão decimal dos cálculos, sendo para hipóteses ruptura generalizada do barramento, ruptura do talude entre bermas (ou local), ruptura em condição de rede de fluxo em condição extrema.

Ressalta-se que o barramento se trata de execução em etapa única, tratando-se de uma barragem de enrocamento com núcleo de argila, assim, tal método não se enquadra de forma aderente as definições de método “montante”, “jusante” e/ou “linha de centro”. Todavia, os Fatores de Segurança calculados atendem os valores normatizados para o método de jusante, situação mais próxima. Considerando as recomendações de Cruz (1996), quanto a Fatores de Segurança para barragens de enrocamento.



Referente a metodologia empregada no estudo, considerou-se adequada dado a baixa gama de informações disponíveis, como maiores instrumentações (inclinômetros, maior número de piezômetros, entre outros), dados históricos, sondagens CPTU, e caracterizações extensa de materiais (principalmente em maior número). Todavia considerando-se as características da barragem, o estudo desenvolvido pode ser considerado adequado, não sendo integralmente replicável a barragens em situações diferentes. Destaca-se também a necessidade de acompanhamento (por meio de inspeções) e manutenções preventivas na barragem, de modo a garantir a manutenções das condições de estabilidade. Sobretudo devem ser observadas as drenagens, processos erosivos e ocorrência inadequada de animais e vegetação nos barramentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Brasileira de Cobre – CBC pela disponibilidade dos dados referentes a Barragem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardozo, F. A. C. (2019) Barragens de rejeito de mineração: considerações gerais e aspectos geotécnicos. Monografia de Graduação – Curso de Engenharia Civil. UFRGS.
- Cruz, Paulo Teixeira. (1996). 100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto. Oficina de Textos.
- Godoy, N. S. (1972). Fundações: Notas de aula, Curso de graduação. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos–USP.
- Marangon, M.b (2009). Geotecnia de fundações. Notas de aula – Faculdade de Engenharia – Núcleo de Geotecnia – UFRJ.
- Meirelles, M. C. (2008). Determinação da resistência ao cisalhamento de enrocamento da UHE Machadinho através de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões. Dissertação de Mestrado. UFSC.
- Miranda, A. N. (2016) Inspeção e Segurança de Barragens. Fundação Parque Tecnológico Itaipu – Brasil, Agência Nacional de Águas.
- Naeini, M.; Akhtarpour, A. (2018). A numerical investigation on hydro-mechanical behaviour of a high centreline tailings dam. Journal of the South African Institution of Civil Engineering, v. 60, n. 3, p. 49-60.
- Olson, S. M. (2001). Liquefaction analysis of level and sloping ground using field case histories and penetration resistance. Ph.D. thesis, Univ. of Illinois at Urbana–Champaign, Urbana, Ill.
- Perlea, V. G.; Koester, J. P.; Prakash, S. (1999). How liquefiable are cohesive soils?. In: Earthquake geotechnical engineering. p. 611-618.
- Rafael, H. M. A. M.; Romanel, C. (2014). Potencial de Liquefação Estática no Alçamento de uma Barragem de Rejeito. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2014, Goiânia. Anais. Goiânia: ABMS.
- Rout, S.; Sahoo, T.; Das, S. (2013). Design of tailing dam using red mud. Open Engineering, v. 3, n. 2, p. 316-328.
- Silva, W. P. da. Estudo do potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001). Dissertação de Mestrado. UFOP. 2010.
- Souza Junior, T. F. (2019). Estudo para avaliação do volume de rejeito liberado do reservatório em cenário de ruptura de barragem. Dissertação de Mestrado. UFPR.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil mechanics in engineering practice. John Wiley & Sons.