

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/69

Gradientes Hidráulicos Associados a Níveis de Controle: Estudo de Caso de uma Barragem para Disposição de Rejeitos

Érika Gomes

Engenheira Civil Geotécnica, DF+ ENGENHARIA, Belo Horizonte, Brasil, egomes@dfmais.eng.br

Sabrina Rodrigues

Engenheira Civil Geotécnica, DF+ ENGENHARIA, Belo Horizonte, Brasil, srodrigues@dfmais.eng.br

Fernando Fante

Engenheiro Civil Geotécnico, DF+ ENGENHARIA, Belo Horizonte, Brasil, ffante@dfmais.eng.br

Samuel Loures

Engenheiro Civil Geotécnico, DF+ ENGENHARIA, Belo Horizonte, Brasil, sloures@dfmais.eng.br

RESUMO: Barragens de terra são estruturas geotécnicas permeáveis, formadas por aterros compactados nos quais se estabelece um nível freático interno, que varia ao longo do tempo em função das condições climáticas, operacionais e de funcionamento dos dispositivos de drenagem interna. Portanto, sua operação precisa ser gerida a partir de níveis de controle para assegurar sua segurança, níveis estes definidos para auxiliar na tomada de decisão de ações preventivas e corretivas, permitindo o diagnóstico de anomalias indicativas do aumento de pressão da água que, por consequência, podem resultar em perda de estabilidade. Nas barragens de mineração brasileiras, os níveis de controle estão frequentemente associados ao monitoramento da performance da estrutura e auxiliam na tomada de decisões. Frequentemente, são empregues análises determinísticas baseadas em métodos de equilíbrio limite para elaboração dos níveis de controle, contudo, existem divergência de padrões, metodologias e critérios para sua elaboração. Nestas análises, aplica-se a metodologia clássica onde eleva-se a superfície freática interna até a verificação da falha por instabilização do espaldar de jusante da barragem, determinada por meio de um fator de segurança. Mas, a indução da elevação freática no maciço nem sempre representa a condição admissível de funcionamento. Muitas vezes, condições de operação podem gerar o desenvolvimento de gradientes hidráulicos críticos acima dos limites admissíveis, ocasionando outros modos de falha *e.g.*, *piping*, ainda que dentro dos limites de criticidade admissíveis estabelecidos por fatores de segurança. Nesse contexto, este estudo tem por objetivo discutir a aplicação da metodologia clássica de avaliação dos níveis de controle por meio da avaliação da segurança de gradientes hidráulicos e, ao final, indicar quando se deve ou não aplicá-la. Para isso, foram conduzidas análises de percolação seguidas de análises de estabilidade por equilíbrio limite de barragem de contenção de rejeitos associadas a fatores de segurança pré-estabelecidos. A partir dos resultados, foi possível discutir que gradientes hidráulicos elevados e surgências podem ocorrer anteriormente a fatores de segurança estabelecidos para controle, demonstrando divergência entre fatores de segurança e gradientes hidráulicos admissíveis, que a integração destes é fundamental para tomada de decisão quanto à condição real de risco associada aos níveis de controle e que a tomada de decisão poderá envolver a alteração da metodologia de elaboração da carta, ou ainda, mudança da solução de engenharia proposta.

PALAVRAS-CHAVE: Níveis de controle, gradientes hidráulicos, instrumentação geotécnica, segurança de barragens.

ABSTRACT: Earth dams are permeable geotechnical structures constructed by compacted embankments in which an internal water table is established. This water table varies over time due to climatic, operational, and internal drainage device conditions. Consequently, their operation must be managed based on control levels to ensure safety. These defined levels assist in decision-making for preventive and corrective actions, allowing the diagnosis of anomalies indicative of increased water pressure that could lead to instability. In Brazilian mining dams, control levels are often associated with monitoring the structure's performance and aiding decision-making. Deterministic analyses based on limit equilibrium methods are frequently employed to establish these control levels. However, there are divergences in standards, methodologies, and criteria for their development. In these analyses, the classical methodology involves raising the internal water table until

failure is verified due to downstream embankment instability, determined by a safety factor. Nevertheless, inducing water table elevation in the mass does not always represent an acceptable operating condition. Often, operational conditions can lead to critical hydraulic gradients exceeding permissible limits, resulting in other failure modes (e.g., piping), even if they remain within acceptable criticality limits established by safety factors. In this context, the objective of this study is to discuss the application of the classical methodology for assessing control levels by evaluating hydraulic gradient safety. Ultimately, it aims to indicate when this methodology should or should not be applied. To achieve this, the study conducted seepage analyses followed by stability analyses using the limit equilibrium method for a containment dam associated with pre-established safety factors. The results revealed that elevated hydraulic gradients and upwellings can occur before the safety factors established for control. This highlights a discrepancy between safety factors and permissible hydraulic gradients. Integrating these factors is crucial for making informed decisions regarding the actual risk associated with control levels. Decision-making may involve altering the methodology used for chart development or even changing the proposed engineering solution.

KEYWORDS: Instrumentation control levels, hydraulic gradient, geotechnical instrumentation, dam safety.

1 INTRODUÇÃO

Barragens são estruturas construídas para acumulação de substâncias essencialmente aquosas, quer sejam estas puras, como água, ou misturas de líquidos e sólidos, como sedimentos ou rejeitos (ANM, 2024). Estas estruturas são empregadas em diversos setores da economia, tais como agricultura, energético e mineração, em geral, para atividades de abastecimento, produção ou controle.

Para simplificar a geometria das barragens, frente à sua função de permitir o armazenamento, estas estruturas são comumente construídas em fundos de vale, a partir do fechamento transversal de talvegues naturais por meio de um paramento. Desta forma, são compostas, essencialmente, por um barramento, construído para fechamento, e por um reservatório de acumulação, formado em função deste.

De acordo com o tipo de material principal utilizado em sua construção, as barragens são classificadas como sendo de concreto ou de terra (CBDB, 2024). Estas últimas, são as soluções mais empregadas no Brasil para contenção de rejeitos, escopo deste estudo.

Em síntese, as barragens de terra são compostas por um aterro permeável de solo compactado e elementos de drenagem interna, como filtros verticais ou inclinados e tapetes drenantes, projetados para o contato entre aterro e fundação, conectados aos drenos de pé, externos de proteção. O nível freático que se estabelece pelo maciço e fundação destas estruturas é condicionado pela presença de água no reservatório, pela geometria e características dos dispositivos de drenagem interna e pelas condições de drenabilidade do aterro e da fundação.

A elevação freática no aterro resulta na diminuição da resistência ao cisalhamento dos solos, o que pode desencadear processos de instabilização, bem como na formação de gradientes hidráulicos elevados, que podem originar erosões internas. Desta forma, a estabilidade física do aterro está fundamentalmente condicionada ao controle do nível freático interno resultante do enchimento do reservatório, quando mais elevado este for, menor a condição de segurança esperada.

Em condições normais, quanto mais eficiente for o sistema de drenagem interna do maciço, menor será altura no nível d'água no aterro. Contudo, a superfície freática varia sazonalmente dentro do barramento, em função do regime de chuvas, das condições de operação da barragem e/ou em função do funcionamento de sua drenagem interna.

Portanto, faz-se necessária a gestão de segurança geotécnica das barragens, que envolve um conjunto de ações para acompanhamento de seu comportamento frente a estas mudanças sazonais. De modo a se assegurar que tais variações de comportamento se limitem dentro de faixas de maior ou menor criticidade, que sejam temporárias, que permitam intervenções se necessárias e que não culminem em sua ruptura.

Este processo de controle é realizado por meio da sua auscultação, isto é, o conjunto de medidas de gestão de risco, que objetivam a detecção e o diagnóstico de eventuais deteriorações que comprometam a segurança das barragens. O processo de auscultação pode ser feito por meio de inspeções visuais em superfície

e por meio de monitoramento por instrumentação instalada no aterro e na fundação (Fonseca, 2003). Uma das principais ferramentas de gestão de risco de barragens de terra são as denominadas Cartas de Controle, documentos os quais determinam os níveis normais e os níveis críticos de freáticos admissíveis para cada estrutura.

2 OBJETIVO

Este estudo tem por objetivo discutir a segurança de gradientes hidráulicos associados aos fatores de segurança convencionalmente pré-definidos para barragens de terra. Bem como, contribuir para discussão quanto às limitações normativas para elaboração de projetos de barragem de mineração.

3 MODOS DE FALHA DE BARRAGENS DE TERRA

A legislação determina que nos projetos de barragens devem ser estabelecidos critérios de avaliação de segurança periódica, com base no monitoramento e nos potenciais modos de falha identificados para cada estrutura. A normativa NBR 13.028 (ABNT, 2017) é a principal referência a respeito da elaboração de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Neste aspecto, a normativa aponta como principais mecanismos de ruptura de barragens: (i) estabilidade, (ii) galgamento, (iii) liquefação, e (iv) erosão interna. A estabilidade física é avaliada por meio de análises de equilíbrio limite em cenários de mobilização de resistência drenada ou não drenada, de acordo com o comportamento previsto dos materiais que a compõem a estrutura. O galgamento é elucidado a partir do trânsito de cheias, já a liquefação a partir dos materiais e condições de carregamento em que a estrutura estará submetida. Por fim, a erosão interna está associada ao arraste de partículas do solo em função dos gradientes hidráulicos elevados.

Nesta seara, a estabilidade física e a erosão interna podem ser condicionadas pelo nível freático estabelecido para o maciço. Embora estes mecanismos estejam associados a um mesmo elemento de origem, por vezes, suas análises podem ser realizadas de forma dissociada, incorrendo a avaliações por ventura incorretas. No que tange a estabilidade das estruturas, a norma NBR 13.028 (ABNT, 2017) indica que os fatores de segurança mínimos para a condição freática normal e crítica são de 1,50 e 1,30, respectivamente. Já para análises pseudo-estáticas e de rebaixamento rápido do reservatório, este valor passa a 1,10. No caso da avaliação da erosão interna, a NBR 13.028 (ABNT, 2017) é sucinta, e indica apenas que haja a verificação dos gradientes hidráulicos, sem apresentar metodologias ou valores limites. Esta verificação pode ser executada através de análises de percolação, a partir do método de elementos finitos. Em condições em que são definidas linhas piezométricas no modelo numérico, não é possível a determinação de gradientes, penalizando a compreensão do comportamento como um todo.

A percolação é definida como o movimento de água pelo solo, pelo qual uma força é aplicada por unidade de volume. A velocidade com que o movimento ocorre é proporcional ao coeficiente de permeabilidade do material em fluxos laminares que obedecem a Lei de Darcy, como destaca Skempton & Brogan (1994). Em determinadas condições, estas forças podem conduzir ao arraste de partículas, e por consequência, a erosão interna. Este arraste é condicionado pelo gradiente hidráulico, *i.e.*, relação entre a carga hidráulica por unidade de comprimento de solo. Na literatura, foram reportados alguns limites críticos (i_{cr}), a partir do qual a velocidade de fluxo se torna crítica ao ponto de induzir carreamento de partículas (USACE, 1986). A Tabela 1 indica valores de referência com base no conceito de estabilidade interna. Solos internamente estáveis possuem estrutura equilibrada e não estão suscetíveis a sofrer grandes deslocamentos ou deformações, naturais ou induzidas.

Tabela 1. Gradientes críticos reportados na literatura. Adaptado de Skempton & Brogan (1994).

Referência	Solos estáveis		Solos instáveis	
	Fluxo horizontal	Fluxo vertical	Fluxo horizontal	Fluxo vertical
den Adel <i>et al.</i> (1988)	0,70	–	0,16 – 0,17	–
Skempton & Brogan (1994)	–	1,00	–	0,20 – 0,34

Uma vez previstos os gradientes hidráulicos críticos, são aplicados fatores de segurança da ordem de 3 a 4, como sugerido por Terzaghi (1929) *apud* Rezagholilou & Khorasani (2007). Portanto, em solos estáveis em que os gradientes críticos se encontram na faixa de 0,7, tem-se valores admissíveis variando entre 0,23 e 0,175.

4 NÍVEIS DE SEGURANÇA PELA METODOLOGIA TRADICIONAL

Segundo a metodologia tradicional, amplamente utilizada no Brasil, os níveis de segurança podem ser definidos a partir de análises de estabilidade por equilíbrio limite, para definição das superfícies de ruptura cujos fatores de segurança sejam os limites das faixas de risco preconizadas. Segundo Zorzal et al. (2016), as faixas de controle e limites de fatores de segurança podem ser definidas através dos seguintes valores: nível normal para $FS \geq 1,50$, nível de atenção para $1,30 \leq FS < 1,50$, nível de alerta para $1,10 \leq FS < 1,30$ e nível de emergência para $FS < 1,10$. Para cada fator de segurança são extraídas as correspondentes elevações freáticas ou níveis piezométricos dos instrumentos, são estes os denominados níveis de controle.

Entretanto, destaca-se que no Brasil não existe consenso sobre limites (valores) de controle para a instrumentação e de critérios (Filho et. Al., 2023). O Corps of Engineers (USACE, 2020), por exemplo, indica a definição de valores limites (limites de projeto, limites de atenção e indicadores de desempenho) que poderão ser utilizados na definição de alarmes e alertas com a utilização de métodos determinísticos e estatísticos. De Rubertis (2018) indica limites de limite e atenção que podem ser baseados em estudos teóricos ou analítico ou ainda com base nas leituras históricas e comportamentais do instrumento. O boletim 158 da ICOLD (2014) apresenta possíveis metodologias para a definição de limites de controle de alerta e alarme (nomeadas advertências) em sistemas automatizados com a utilização de modelos estatísticos e/ou determinísticos.

Usualmente, para aplicação do método tradicional, calibram-se as permeabilidades dos materiais que compõem o maciço e fundação, de modo a simular possíveis situações que acarretariam um processo de instabilização no talude de jusante, como a colmatagem do sistema de drenagem interno, má compactação do aterro, entre outras.

5 DETERMINAÇÃO DE NÍVEIS DE CONTROLE FREÁTICO

Para determinação dos níveis de controle freático, inicialmente, foi empregada a metodologia tradicional, na qual níveis freáticos, ou piezométricos, são comumente associados a fatores de segurança 1,50, 1,30 e 1,10, que ditam, respectivamente, os cenários operacionais de normalidade, atenção, alerta e emergência para barragens. O estudo foi realizado por meio de modelagem numérica, a partir de uma seção hipotética de uma barragem homogênea executada em maciço único de aterro argiloso compactado.

Para a determinação dos níveis de controle, é necessário induzir uma elevação freática no maciço a qual induza sua redução de resistência, de forma a resultar nos fatores de segurança por equilíbrio limite que foram preconizados. Para tanto, são comumente utilizadas duas alternativas técnicas, são estas, o traçado freático manual ou a elaboração de análise de percolação complementar.

Neste estudo, foram conduzidas análises de percolação e estabilidade integradas, a fim de automatizar a geração de gradientes hidráulicos, uma vez que a partir do traçado manual seria necessário gerar uma rede de fluxo simplificada, para o cálculo, igualmente manual, dos gradientes. Foram adotados três cenários freáticos, cada qual associado dos fatores de segurança predefinidos, 1,50, 1,30 e 1,10.

Desta forma, na análise de percolação reduziu-se gradualmente a permeabilidade do sistema de drenagem interna, por meio da redução do coeficiente de permeabilidade dos materiais que o compõem, a fim de proporcionar uma elevação hipotética da superfície freática no maciço. A partir dos resultados obtidos pela metodologia tradicional, avaliou-se para cada um dos três cenários, a rede de fluxo resultante, a ocorrência ou não de surgências e os gradientes de saída no pé do talude de jusante.

Para a realização das análises de percolação e estabilidade, foram empregados os *softwares* Seep/W e Slope/W, respectivamente, do pacote Geostudio v. 2019 da empresa Seequent. Nas análises de percolação, foram adotadas como condições de contorno: (i) nível freático do reservatório a montante da barragem na

elevação de 1273,0 m (condição normal hipotético de operação), e (ii) vazão nula na superfície do terreno (*drainage*). A malha foi definida de forma simplificada, considerando um tamanho global de 2 m, e refinada na razão de 0,25 do tamanho padrão na região da drenagem interna e ao pé da barragem. Na Figura 1 está representada a seção modelada, os materiais, e as condições de contorno aplicadas.

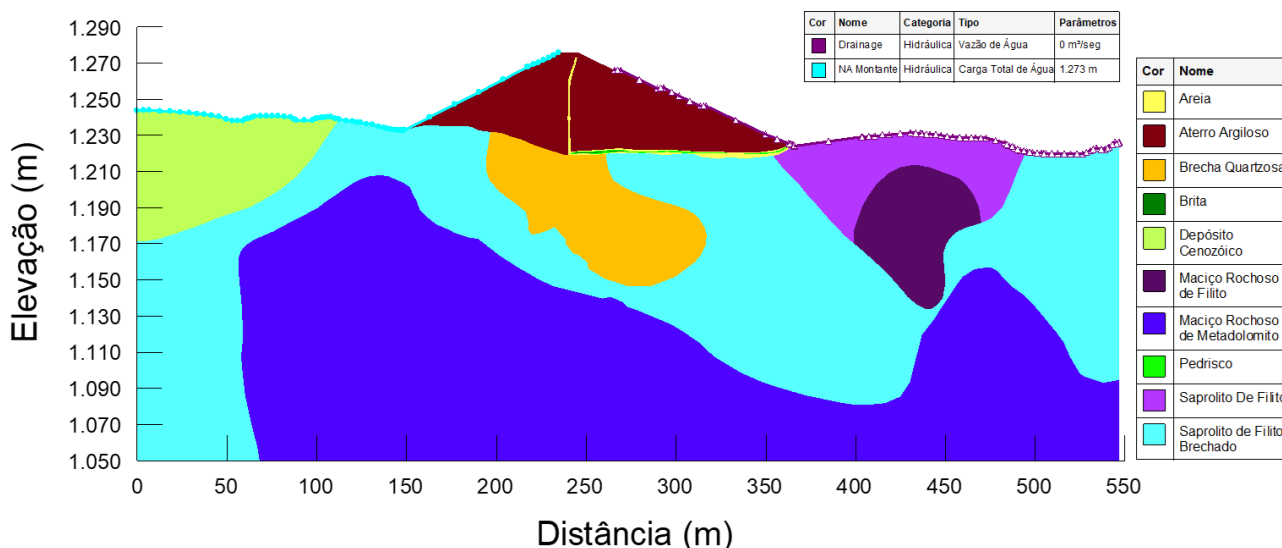


Figura 1. Seção hipotética avaliada e condições de contorno hidráulicas.

A estabilidade da estrutura foi avaliada através de análises de equilíbrio limite, empregando o método de Morgenstern-Price, e superfícies de ruptura circulares. Os parâmetros de permeabilidade e de resistência dos materiais, obtidos através de ensaios de laboratórios, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros geotécnicos.

Material	γ	k_x	c'	ϕ'	UCS	GSI	mi
	(kN/m ³)	(m/s)	(kPa)	(°)			
Aterro Argiloso Compactado	18,5	1×10^{-8}	15	28	-	-	-
Areia (Drenagem Interna)	18,0	1×10^{-4}	-	31	-	-	-
Brita 0 (Drenagem Interna)	18,0	1×10^{-2}	-	32	-	-	-
Brita 1 (Drenagem Interna)	18,0	1×10^{-1}	-	34	-	-	-
Depósito Cenozóico	19,0	1×10^{-7}	20	36	-	-	-
Filito	28,0	4×10^{-7}	-	-	15	30	7
Metadolomito	28,0	2×10^{-6}	-	-	35	35	9
Saprolito de Filito	18,0	2×10^{-7}	8	28	-	-	-
Saprolito de Filito Brechado	19,0	2×10^{-7}	5	30	-	-	-

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises dos três cenários freáticos, associados aos fatores de segurança 1,50, 1,30 e 1,10, verificou-se que para obtenção dos fatores de segurança iguais ou inferiores a 1,30, seria necessária uma elevação da superfície freática que ocasionava surgência no espaldar de jusante da barragem (Figura 2). A título de exemplo, na Figura 2 é apresentado o resultado para o cenário referente ao FS igual a 1,10 e a localização da janela de extração de dados que foi utilizada para coleta e análise dos gradientes de saída.

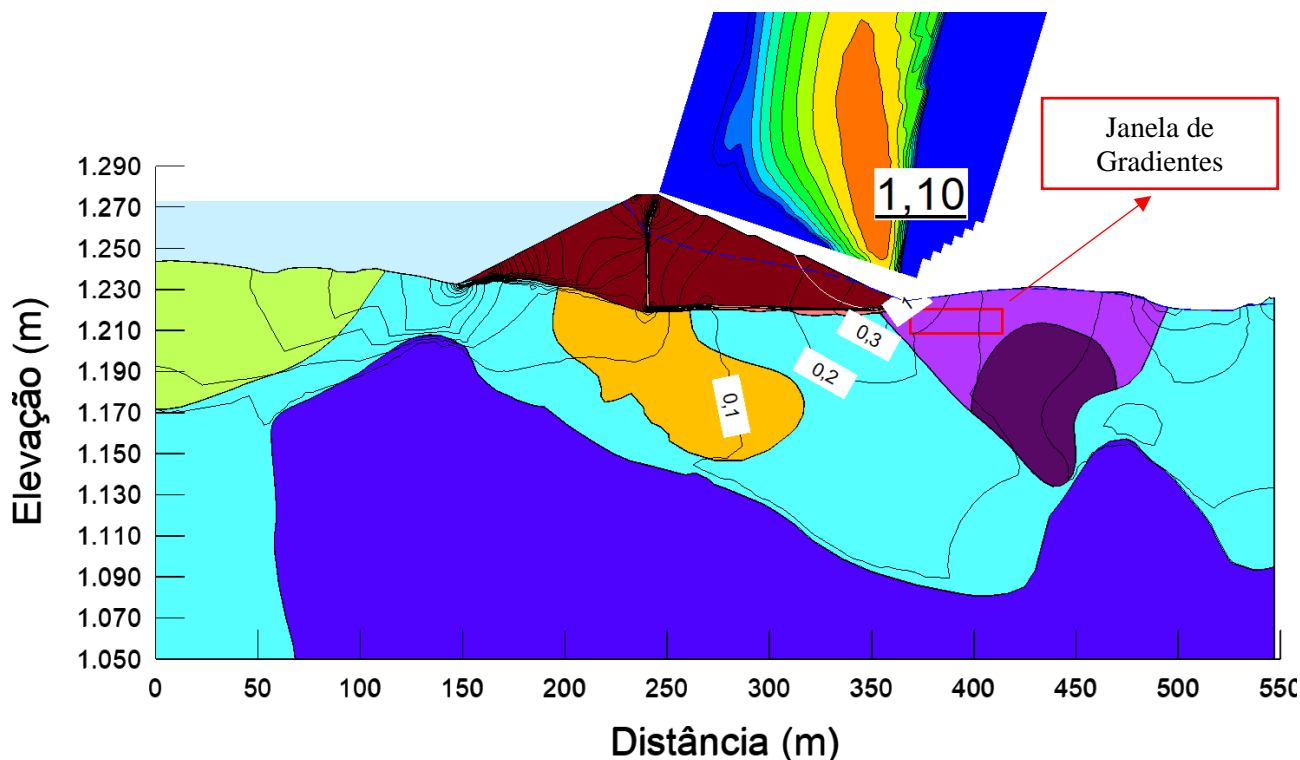


Figura 2. Análise de estabilidade por equilíbrio limite e percolação: Fator de Segurança, isolinhas de gradientes totais e localização da janela de gradientes.

Assim, verifica-se que os gradientes máximos obtidos próximos à saída do sistema interna de drenagem da barragem (região de interface entre aterro e drenagem) variaram entre 0,4 e 1,0. Na Tabela 3, em resumo, são apresentados os gradientes de saída para os demais cenários avaliados, comparativamente aos gradientes hidráulicos máximos admissíveis, que são previstos na literatura em função do tipo de material onde ocorrem.

Tabela 3. Resultados das análises.

Fatores de segurança	Gradientes totais		
	Admissíveis	Janela	Máximos
1,50	0,175	0,27	0,50
1,30	0,200	0,38	0,75
1,10	0,233	0,46	1,05

Desta forma, observou-se que os gradientes de saída localizados na janela avaliada, que configuram os gradientes máximos (próximos a saída do tapete drenante), se encontram acima dos valores admissíveis apresentados na literatura. Para a barragem analisada, os resultados indicam que somente em condições extremas de percolação no interior do maciço, com deflagração de surgências no espaldar de jusante, seriam atingidos os fatores de segurança comumente associados aos níveis de alerta e de emergência.

Gradientes elevados de saída são associados ao risco de erosão interna. Nesse contexto, observou-se que ao definir níveis de controle baseando-se no modo de falha por estabilidade física da estrutura, quantificado por um fator de segurança, pode existir possibilidade de que se atinja, primeiramente, o modo de falha de *piping* na fundação da estrutura. Logo, esse comportamento sinalizou que, apesar de o modo de falha de estabilidade por equilíbrio limite ser atendido, outros modos de falha, como o *piping* (erosão tubular progressiva), ficam negligenciados nesta metodologia de elaboração de cartas de controle.

Uma vez constatado que os gradientes avaliados se encontram acima dos valores admissíveis apresentados na literatura e que o método tradicional de elaboração de cartas de controle é falho, torna-se necessária a aplicação de outras metodologias para estabelecimento de níveis de controle ou a adoção de

soluções de engenharia para redução dos gradientes hidráulicos, para que estes se enquadrem na metodologia tradicional.

Sabadini *et. al.* (2018) apresenta uma metodologia alternativa para elaboração de níveis de controle, a qual estabelece uma forma de determinação de fatores de segurança intermediários, associados aos níveis hidráulicos para barragens. Outra opção, seria ponderar dados estatísticos ou empíricos, o que demandaria histórico de estruturas antigas, com robusta base de dados de monitoramento.

Neste ponto, nota-se que embora existem alternativas no meio técnico para suprir essa inconsistência entre a estabilidade preconizada por um fator de segurança e a estabilidade correspondente a outros modos de falha, as referências normativas nacionais se restringem à preconização de fatores de segurança.

Uma vez que não há procedimento normativo, fica a critério do projetista e, por consequência, condicionado à sua expertise, este nível de discussão nos projetos. Isto gera uma fragilidade no estabelecimento dos níveis de controle, que pode comprometer a segurança das estruturas.

O problema se torna ainda mais preocupante, uma vez que não há preconização para o estabelecimento de gradientes hidráulicos associados aos níveis de segurança para gestão de risco de barragens. E, ainda, que a metodologia tradicional permite, até mesmo, o traçado manual de níveis d'água, que pode resultar em níveis freáticos ainda mais críticos, sem a ponderação correspondente de outros modos de falha.

7 CONCLUSÃO

O presente artigo procurou discutir pontos de atenção ao se conduzir análises para definição dos níveis de controle, amplamente utilizado na engenharia geotécnica brasileira, tomando-se como base o modo de falha por *piping*.

A partir dos resultados comprova-se que gradientes hidráulicos elevados e surgências podem ocorrer anteriormente a fatores de segurança estabelecidos para controle. Desta forma, ainda que as estruturas atendam aos fatores de segurança normatizados, podem estar sujeitas a ruptura por modos de falha não passíveis de análise por meio de análises de equilíbrio limite. Isto demonstra uma dissociação entre os métodos convencionalmente utilizados para estudo e, ainda, sem respaldo normativo para tomada de decisões quanto à condição real de risco associada aos níveis de controle.

As normas brasileiras não estabelecem uma metodologia bem definida para a elaboração de cartas de controle, tão pouco exige ou padroniza uma forma de avaliação de gradientes hidráulicos, ficando a cargo do projetista essa verificação. A padronização através de uma normativa nacional, com critérios claros acerca das metodologias de avaliação, possibilitaria uma maior assertividade nas determinações dos níveis de controle eliminando a subjetividade na tomada de decisões.

Por fim, salienta-se que a avaliação dos gradientes hidráulicos é relevante na avaliação do comportamento da estrutura, pois nem sempre a pior condição está diretamente associada a instabilização física do maciço mensurada por um fator de segurança estabelecido por meio de equilíbrio limite. Mas, pode estar associada a gradientes hidráulicos elevados, que demandam o uso de outras metodologias para o estabelecimento de níveis de controle adequados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa DF+ ENGENHARIA GEOTÉCNICA E RECURSOS HÍDRICOS LTDA. pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Mineração - ANM (2024). *Barragens de Mineração*. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens>> Acesso em: 01 marc. 2024.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 13028. *Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Comitê Brasileiro de Barragens (2024). *Apresentação das Barragens*. Disponível em: <<http://cbdb.org.br/apresentacao-das-barragens>> Acesso em: 01 marc. 2024.
- De Rubertis, K. P. E. (2018). *Monitoring dam performance: instrumentation and measurements*. American Society of Civil Engineers (ASCE). ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice no. 135.
- Den Adel, H., Bakker, K.J. & Klein Breteler, M. (1988). Internal Stability of Minestone, In: Proceedings International Symposium on Modelling Soil–Water–Structure Interaction, International Association for Hydraulic Research (IAHR), Netherlands, Balkema, Rotterdam: 225–231.
- Filho, T. M. V. et. Al. (2023). *Discussão sobre valores de controle para a instrumentação de barragens*. XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens.
- Fonseca, A. R. (2003). *Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – estudo de caso das barragens da UHE São Simão*. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Ouro Preto.
- International Commission on Large Dams - ICOLD (2014) - *Bulletin 158. Dam Surveillance Guide*. Chapter 9.
- Rezagholilou, A.; Khorasani, R. (2007). *Seepage Design Criteria in Embankment Dams on Alluvium Foundation*. Symposium: Dam Safety Management. Role of State, Private Companies and Publicin Designing, Constructing and Operating of Large Dams. ICOLD 75th Annual Meeting.
- Sabadini, M. F. et al. (2018). *Níveis de controle para avaliação da segurança de barragens – estudo de caso – barragem principal*. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG.
- Seequent. (2023). *Stability Modeling with GeoStudio*. Calgary, Canada. Disponível em: <<https://downloads.geoslope.com/geostudioresources/books/23/1/SlopeStabilityModeling.pdf>> Acesso em: 01 marc. 2024.
- Seequent. (2023). *Heat and Mass Transfer Modeling with GeoStudio*. Calgary, Canada. Disponível em: <<https://downloads.geoslope.com/geostudioresources/books/11/4/Heat%20and%20Mass%20Transfer%20Modeling.pdf>>. Acesso em: 01 marc. 2024.
- Skempton, W.; Brogan, J.M. (1994). *Experiments on Piping in Sandy Gravels*. Géotechnique, No. 3, 449-460.
- U.S. Army Corps of Engineers - USACE (1986). *Engineering and design: seepage analysis and control for dams*. EM-1110-2-1901, set.
- U.S. Army Corps of Engineers - USACE (2020). *Instrumentation of embankment dams and levees*. EM 1110-2-1908. Washington, DC: Headquarters, US Army Corps of Engineers.
- Zorzal, RV.; Sanots, R. D. N.; Elian, L. H. R.; Ribeiro, L. L.; Dias, M. A (2016). *Proposição de Metodologia para a Elaboração de Carta de Risco de Barragens de Terra e Terra-Enrocamento*. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG.