

AValiação SIMPLIFICADA POR MEIO DE RETROANÁLISE PARCIAL PARA BARRAGEM DE PEQUENO PORTE

Data de aceite: 02/05/2024

Fernando Alves Cantini Cardozo

INTRODUÇÃO

RESUMO: O presente trabalho visa a apresentar a avaliação simplificada e respectiva metodologia aplicada sobre uma barragem para irrigação de pequeno porte. Trata-se de uma das barragens do sistema de irrigação do Projeto de Assentamento Estadual Renascer, em Canguçu/RS. A estrutura em questão é representativa da problemática em torno das barragens de pequeno porte, onde intervenções devem ser realizadas, mas são limitadas devido à falta de recursos e conhecimento disponíveis. Assim, partindo de uma premissa de intervenção generalizada nos taludes de montante do barramento, este trabalho buscou redefinir as necessidades de intervenção na barragem, utilizando-se de avaliação simplificada de modelos geotécnicos, com parâmetros inferidos por bibliografia e retroanálise parcial.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem; Avaliação Geotécnica; Avaliação Preliminar; Obras de Terra.

Barragens de terra incluem-se entre as principais obras de engenharia, tendo, entre outras, a função de reservação de água, fundamental para diversas atividades, entre elas a irrigação e a dessedentação animal. Dada sua importância, barragens de terra são numerosas em regiões de vocação agrícola e, principalmente, voltadas a culturas que requerem grandes volumes de água para irrigação, caso do Rio Grande do Sul. Espelho da realidade nacional, o estado gaúcho carece de diagnóstico quanto às barragens presentes em seu território, sobretudo as de terra e as de pequeno porte. Nelas, o estado de conservação, as necessidades de intervenção e a estabilidade dos barramentos são, em grande parte, desconhecidos. Devido ao histórico de rupturas e perdas associadas a barragens, a legislação brasileira intensificou a exigência de inspeções, cadastros e regularizações das barragens no território nacional. Exemplo disso são

as Resoluções ANM nº 13/2019, ANEEL 696/2015, ANA 742/2011 e CNRH 143/2012, que preconizam as inspeções regulares de segurança e classificações semiquantitativas para categoria de risco e estado de conservação. Ocorre que, na prática, existe grande variedade de barragens com diferentes geometrias, históricos construtivos e estado de conservação.

Observando a necessidade e a realidade de recursos, por vezes escassos para barragens de menor porte, este trabalho apresenta um exemplo de metodologia e uma sequência de trabalho adotados para a avaliação de estabilidade de uma barragem típica de irrigação, com estimativa simplificada de parâmetros por retroanálise, no intuito de subsidiar a tomada de decisão. Considerando a necessidade de avaliações expeditas compatíveis com os riscos e necessidades de intervenção e direcionamento de recursos, objetivou-se, neste trabalho, a avaliação dos taludes de montante da barragem em estudo, devido a esse ser o setor em debate quanto à necessidade prioritária de intervenção, dados os processos erosivos e movimentações de massa identificados visualmente e por topografia.

ESTUDO DE CASO

O objeto deste estudo é a avaliação da Barragem B2 (Figura 1), coordenadas 31°0'17.85"S 52°36'31.91"O (WGS84), pertencente ao conjunto de cinco barragens de reservação d'água do Projeto de Assentamento Estadual (PE) Renascer, pertencente ao Governo do Rio Grande do Sul. Motivam este trabalho a necessidade de o poder público estadual desenvolver avaliações sobre as barragens d'água de sua propriedade e o direcionamento de esforços para recuperação dela e de outras em igual estado de conservação.

A barragem localiza-se no Município de Canguçu, distante 280 km da capital Porto Alegre. Segundo Priebbernow (2019), embora o assentamento apresente relevante multiculturalidade, encontra-se intrinsecamente ligado à cultura do arroz, fortemente dependente da disponibilidade d'água.



Figura 1 - Localização e situação da Barragem B2 do Assentamento Renascer

A barragem está inserida em um contexto geomorfológico de relevo levemente ondulado e de solos mal drenados. Ocorre na região de rochas sedimentares da formação Rosário do Sul e formações graníticas (identificadas *in situ*), conforme Figura 2, que se relacionam à ocorrência de solos tipicamente arenosos e pouco coesos. Observa-se que o barramento B2 foi executado com material de empréstimo local, sendo classificado como solo residual arenoso (particularmente) pouco coeso, o que se observa, visualmente, em vários pontos pelo barramento a jusante e montante e por erosões profundas nas cercanias.

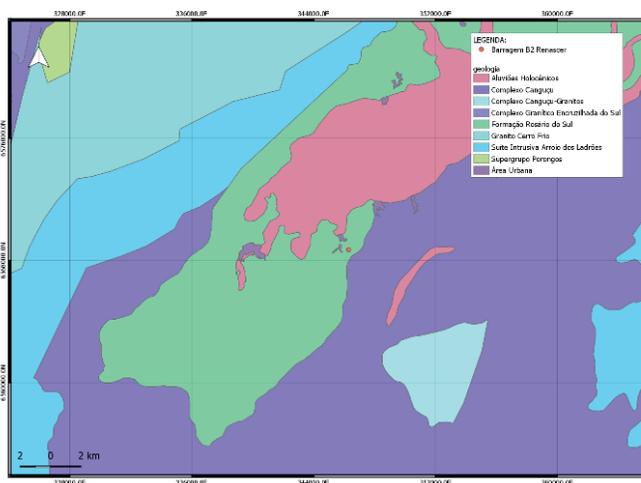


Figura 2 - Localização e situação da Barragem B2 do Assentamento Renascer

A Figura 3 apresenta solo de área de empréstimo, coordenadas 31°0'6.77"S 52°37'1.08"O (WGS84), lindeira à barragem, com solo residual de granito. Destaca-se que, embora se trate de solo residual, esse apresenta coesão baixa, observada, visualmente, na área de empréstimo e nas feições erodidas da barragem.



Figura 3 - Solo residual local

Embora o conjunto de barragens do PE Renascer (especificamente a Barragem B2) apresente barramentos de no máximo 7 metros de altura, inclinações inferiores a 45° e reservas inferiores a 1,2 milhões de m³ (conforme Sistema de Outorga de Rio Grande do Sul) e, conforme Decreto Estadual nº 52.931/2016, não necessite de Plano de Segurança e seja dispensado de Outorga, trata-se de um recurso importante à comunidade local, e seu adequado funcionamento representa segurança hídrica local e possibilidade de desenvolvimento para a comunidade assistida.

Como esforço para fomento e qualificação da população assentada no PE Renascer, a Divisão de Implantação e Qualificação de Assentamentos (DIQA) da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR) mobilizou recursos e quadro técnico para avaliação preliminar e definição das intervenções prioritárias na barragem em questão, com o objetivo de elaboração de Anteprojeto de Engenharia e posteriormente contratação de serviços de movimentação de terra e de recuperação de elementos da barragem. Nesse contexto, avaliou-se a real prioridade de intervenção nos taludes de montante do barramento, uma vez que eles foram, em um primeiro momento, elencados com base em inspeção visual, como alvos da intervenção.

METODOLOGIA

Considerando a necessidade de definição das intervenções a serem executadas e tendo como alvo a hipótese de reestruturação dos taludes de montante, utilizou-se o fluxo de ações expostas na Figura 4 para avaliação da premissa.

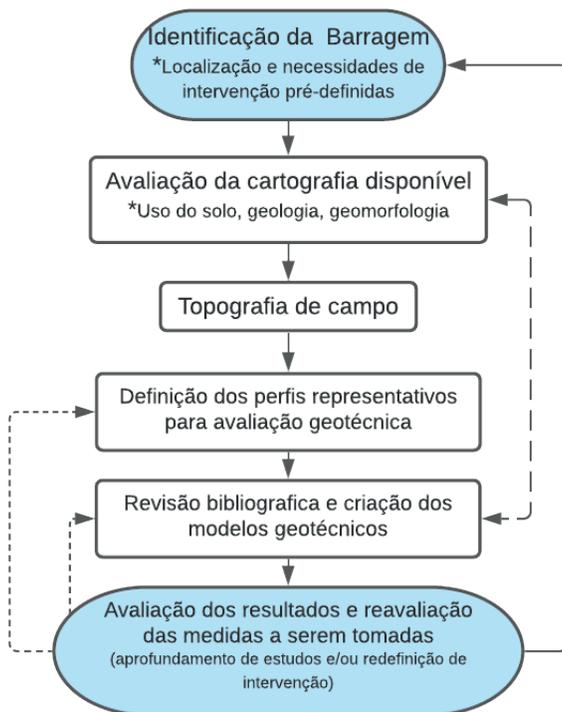


Figura 4 – Metodologia adotada para a avaliação preliminar da Barragem B2

Observando que a avaliação dos modelos geotécnicos tem caráter preliminar, comparativo e de respaldar a prioridade de intervenção, optou-se pela inferência de parâmetros geotécnicos conforme valores de referência para o material (considerando litologia única) e uma retroanálise por comparação dos perfis.

Referente à utilização de retroanálise para inferência de parâmetros geotécnicos, Meier e Tabalipa (2018) e Gomes (2003) apresentam exemplos de aplicações para taludes e comentam como a técnica é de valia para determinação de parâmetros, tornando-se mais interessante do que ensaios de campo ou laboratório, quando esses são em número limitado, como no caso em estudo. Conforme Gomes (2003), de posse de perfis em que são estimáveis as geometrias de ruptura e estimáveis as condições de saturação, variando-se valores de (ϕ') e (c') até o Fator de Segurança unitário $(F.S. = 1)$, é possível estimar o conjunto de (ϕ') e (c') que satisfaz razoavelmente a situação local.

Para determinação dos perfis internos da barragem, foi utilizada planialtimetria tradicional, executada com GPS Geodésico. A partir da planialtimetria, foram extraídos os perfis de maior representatividade para análise de estabilidade e avaliação da necessidade de intervenção nos taludes de montante. Referente aos perfis de jusante, eles foram fixados em 45°, considerando que o foco da presente avaliação são os taludes de montante, e o levantamento planialtimétrico não cobriu os taludes de jusante.

Considerados inicialmente valores típicos de parâmetros físicos para solos arenosos de (c') de 5 kPa como coesão aparente, (ϕ') de 27° e (γ) de 20 kN/m³, esses valores foram validados conforme comparação entre os Fatores de Segurança obtidos para os perfis da porção LESTE e de OESTE, sendo que os perfis 4 e 5 representam a geometria original (com maior inclinação), a qual, vide os perfis 1, 2 e 3 já solapados, estimava-se apresentarem baixo Fator de Segurança.



Figura 5 – Perfis de montante avaliados da Barragem B2

Para as análises, utilizou-se o software Slide 6 - versão de teste, estruturando modelos geotécnicos que evitassem efeitos de borda. Para a análise de estabilidade, definiu-se a subdivisão das superfícies de ruptura em 25 lamelas e busca automatizada para superfícies críticas. Para modelagem de linhas de fluxo (percolação d'água), utilizou-se o módulo de Elementos Finitos, discretizando o modelo em 1500 elementos triangulares. Como critério de ruptura, utilizou-se o critério de Mohr-Columb. Para as análises, optou-se por simplificação pelo modelo de Bishop Simplificado, uma vez que se objetiva a comparação dos perfis e a avaliação da necessidade de intervenção nos taludes e/ou aprofundamento de estudos

Foram consideradas duas situações de análise:

- I. Nível d'água (NA) baixo, correspondente à barragem esvaziada. O nível d'água fora marcado pela topografia e corresponde à linha d'água após abertura das comportas para alimentação dos canais de irrigação.
- II. Nível d'água (NA) alto, correspondente à barragem em nível máximo. O nível d'água corresponde à posição de 50 cm abaixo da crista, *hold up* observado, e correspondente aos níveis do sistema vertedor.

RESULTADOS

As Figuras 6 a 10 apresentam os resultados dos modelos geotécnicos dos perfis analisados. São apresentadas as distribuições de poropressões, a linha piezométrica (por Método dos Elementos Finitos), a superfície crítica de ruptura e o Fator de Segurança por Bishop Simplificado.

Os perfis 4 e 5, por apresentarem Fator de Segurança próximos do limite de estabilidade e, sobretudo, devido à posição da superfície crítica, permitem inferir que os valores adotados são adequados para a finalidade de comparação entre os perfis.

Perfil 1

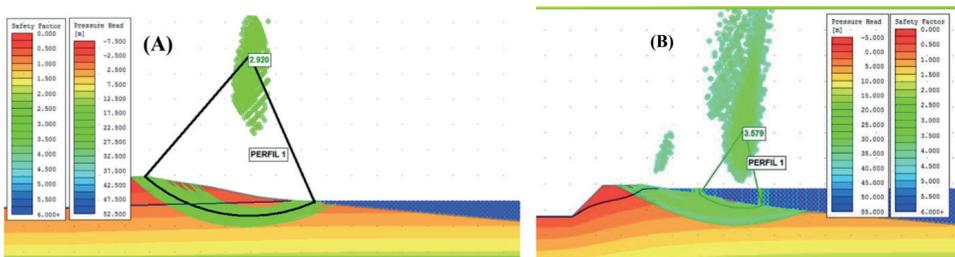


Figura 6 – Modelos geotécnicos do perfil 1, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 2

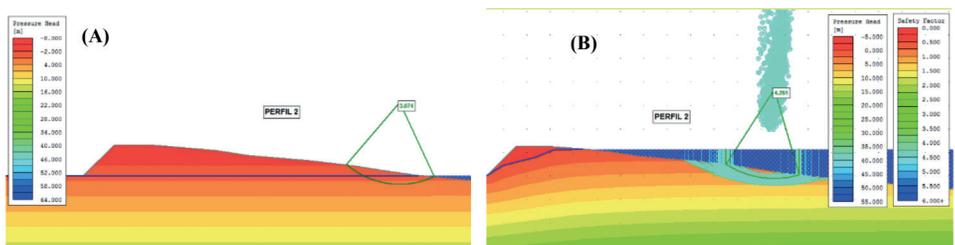


Figura 7 – Modelos geotécnicos do perfil 2, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 3

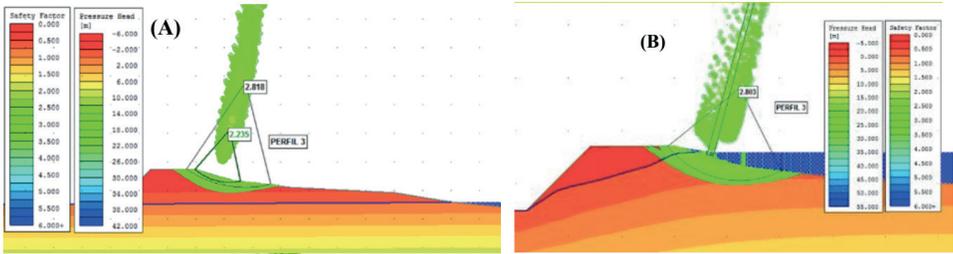


Figura 8 – Modelos geotécnicos do perfil 3, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 4

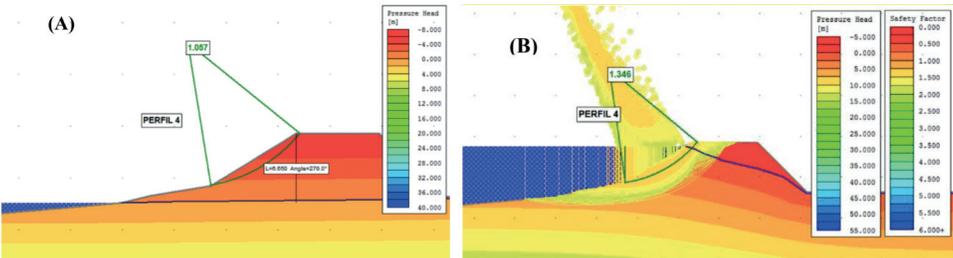


Figura 9 – Modelos geotécnicos do perfil 4, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 5

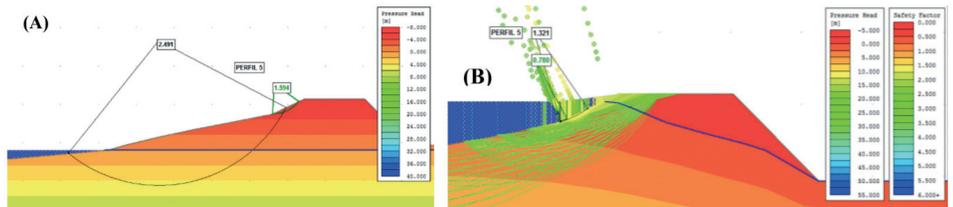


Figura 10 – Modelos geotécnicos do perfil 5, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Na Tabela 1, são apresentados os Fatores de Segurança calculados para cada perfil nas duas situações avaliadas.

	Fator de Segurança		
	N. A. baixo	N.A. alto	%
Perfil 1	2,920	3,579	23%
Perfil 2	3,074	4,251	38%
Perfil 3	2,335	2,803	20%
Perfil 4	1,057	1,346	27%
Perfil 5	1,594	1,321	-17%

Tabela 1 – Resumo dos resultados para os 5 perfis avaliados

DISCUSSÃO

Considerando os resultados das análises de equilíbrio-limite, vê-se que os taludes de montante da Barragem Renascer B2 apresentam estabilidade justamente nas porções consideradas solapadas e com ocorrência de processos erosivos, bem como apresentam maiores Fatores de Segurança na configuração cheia. Quando na configuração de barragem cheia - nível d'água a 50 cm da crista do barramento -, tem-se a percolação d'água no maciço e conseqüente fluxo em direção à jusante e geração de gradiente hidráulico e respectiva força resistiva para os taludes de montante. Essas inferências, baseadas na interpretação da situação de campo e dos modelos geotécnicos, é contraditória à intenção original de reconstituição total do perfil original dos taludes de montante das porções erodidas e solapadas. Entretanto, as hipóteses de rebaixamento rápido do reservatório e conseqüente reversão do fluxo d'água representam situação de risco aparente, sobretudo aos taludes de maior inclinação.

CONCLUSÕES

Os resultados dos modelos geotécnicos dos perfis de montante avaliados são conclusivos quanto à estabilidade e ao baixo risco, associados aos perfis de montante da porção OESTE. Embora seja intuitivo que perfis de maior abatimento apresentem maiores Fatores de Segurança, se observados os indicativos de inspeção qualitativa (observação de feições e indicativos de erosão e solapamento), deveriam ser esses os perfis alvos de intervenção e reconfiguração aos perfis originais, que apresentam menores Fatores de Segurança. Esse fato levou à intenção original de reconfiguração total dos taludes de montante, contestada pela avaliação feita.

Referente à metodologia utilizada, embora não seja prática difundida, o cálculo de fatores de segurança utilizando parâmetros geotécnicos inferidos mostrou-se de grande valia para o direcionamento de esforços e recursos, a exemplo do caso em questão, o qual corroborou para o direcionamento dos recursos (limitados) para o melhoramento de outras estruturas da Barragem B2: sistema vertedor, sistema de comporta e pontos locais do talude de montante e à jusante, em vez de investimento apenas nos taludes de montante.

Embora as práticas de engenharia de barragens e geotecnia sempre recomendem (de forma correta) ensaios de campo e laboratório, e, sabendo que esses, quando bem utilizados, otimizam o custo de projetos e embasam decisões assertivas, em situações como a em questão, o uso de modelos geotécnicos com parâmetros inferidos (em primeiro momento) é de grande valia. Modelos geotécnicos conceituais, associados a inspeções de campo, podem direcionar esforços e otimizar o uso de recursos, podendo, inclusive, direcionarem para áreas de maior interesse a ensaios de campo e laboratório. Cabe observar que a legislação para estruturas desse porte não é taxativa quanto à avaliação geotécnica, sendo práticas comuns as inspeções visuais e as avaliações qualitativas, ainda normalmente realizadas por profissionais alheios às práticas de engenharia geotécnica. Vide o exemplo em estudo, no qual modelos simples corroboraram para a grande economia de recursos.

No caso da Barragem Renascer B2, a avaliação dos modelos e a inspeção de campo reposicionaram a prioridade de intervenção e o uso de recursos, passando a ser prioridade a intervenção no sistema vertedor e descarregador de fundo, assim melhorando o controle do nível d'água e impedindo eventuais esvaziamentos rápidos, devido ao estado de conservação do descarregador de fundo. Ao mesmo tempo, optou-se por locar recursos nas outras barragens do PE Renascer.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Divisão de Qualificação de Assentamentos da Secretaria Estadual de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

Gomes, C. L. R. (2003) *Retroanálise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção de Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 146 p.

Meier, A. L., & Tabalipa, L. K. (2019). Avaliação de uma Metodologia de Retroanálise para Obtenção de Parâmetros Médios de Resistência dos Solos em Taludes. In: *Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*. ABFE. São Paulo. SP.

Priebbernow, H. M. (2019). *Um olhar “poliocular” sobre a agricultura familiar camponesa: a multifuncionalidade da agricultura no Assentamento Renascer–Canguçu/RS*. Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 203 p.