

Proposição de Metodologia para a Elaboração de Carta de Risco de Barragens de Terra e Terra-Enrocamento

Rodrigo Zorzal Velten

Walm Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, zorzal@walmengenharia.com.br

Roger Diego Nascimento Santos

Walm Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, roger.santos@walmengenharia.com.br

Letícia Haddad Rodrigues Elian

Walm Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, leticia.elian@walmengenharia.com.br

Lucas Lobato Ribeiro

Walm Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, lucas.ribeiro@walmengenharia.com.br

Mônica Aleixo Dias

Walm Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, monica.aleixo@walmengenharia.com.br

RESUMO: O trabalho objetiva apresentar uma metodologia para a elaboração de uma carta de risco de barragens de terra e/ou terra-enrocamento, baseada na mecânica dos solos tradicional, ou seja, com o uso de análises de percolação (fluxo) como ferramentas de entrada e a elaboração das análises de estabilidade que irão determinar os níveis de segurança da barragem. Os resultados obtidos mostraram que: (i) o método é adequado e prático para a determinação dos níveis de segurança de uma barragem de terra e/ou terra-enrocamento; (ii) a posição do nível d'água – NA do reservatório e a presença ou não de praia de rejeitos influencia consideravelmente nos resultados obtidos, especialmente nas análises de percolação; e (iii) os fatores de segurança que determinam os níveis de segurança normal, atenção, alerta e emergência podem ser diferentes e/ou maiores que aqueles adotados tradicionalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de Terra, Geotecnia, Carta de Risco, Mineração.

1 INTRODUÇÃO

A elaboração e a implantação de um plano de instrumentação geotécnica eficiente, eficaz, preciso e acurado tem como objetivo evitar a ocorrência de acidentes, desde pequenos até graves, em uma barragem de terra ou terra-enrocamento que objetivam armazenar e acumular água e/ou resíduos sólidos (sedimentos ou rejeitos de mineração). De acordo com Silveira (2006), toda barragem de grande porte, e mesmo algumas de pequeno porte, possuem pontos mais susceptíveis a problemas na fundação, em decorrência de

anomalias geológicas, ou então pontos de fraqueza estrutural na interface das estruturas solo/concreto ou solo/enrocamento, ou até mesmo na interface entre solos diferentes, para barragens zonadas, ou no próprio aterro homogêneo, os quais requerem, normalmente, uma instrumentação específica para a observação de seu desempenho em longo prazo.

Dentre os parâmetros a serem medidos tem-se a pressão da água nos poros, a pressão da água na rocha de fundação, as pressões totais, os recalques, os deslocamentos horizontais, as cargas e as tensões nos elementos estruturais, a temperatura, as vazões de drenagem, os

materiais sólidos carregados, entre outros. Porém, para cada barragem específica devem-se avaliar quais desses parâmetros são mais importantes a serem medidos, pois esses deverão merecer maior atenção e irão requerer um plano de instrumentação mais acurado (SILVEIRA, 2006).

Em junho de 1976 ocorreu a ruptura da Barragem de Teton, Idaho, EUA, com 92,0 m de altura, durante a fase de enchimento do reservatório. O principal evento que provocou a ruptura da barragem foi um processo de erosão interna através da trincheira de vedação na ombreira direita, a qual evoluiu rapidamente com o tempo, sem a possibilidade de paralisar o enchimento ou o lançamento de materiais que pudessem estancar o processo erosivo. Porém, segundo Silveira (2014), após avaliação do caso verificou-se que a estrutura não possuía um plano de monitoramento e instrumentação adequado, o qual deveria incluir:

- marcos superficiais para a medição dos deslocamentos verticais e superficiais;
- medidores de recalque e inclinômetros para a medição dos deslocamentos internos do aterro;
- piezômetros para a medição das pressões neutras no interior do aterro e da fundação;
- medidores de vazão;
- entre outros.

Assim, ainda segundo este autor, após uma análise detalhada do caso, conclui-se que, mesmo que a barragem apresentasse um bom plano de instrumentação provavelmente não teria sido possível evitar a ruptura da barragem porque a evolução do processo de erosão regressiva (piping) foi muito rápida; entretanto, se a barragem apresentasse um plano de instrumentação e monitoramento adequado conforme o proposto anteriormente teria sido possível estabelecer um plano de alerta e de evacuação a jusante, os quais provavelmente teriam evitado a morte de pessoas e, consequentemente, atenuado significativamente os danos causados a jusante.

Logo, um plano de monitoramento e instrumentação acurado e preciso é fundamental para a avaliação de desempenho de uma barragem de terra e de terra-enrocamento, pois a

partir dele é possível prever anomalias presentes na estrutura e, consequentemente, evitar a ruptura da barragem ou reduzir a gravidade dos acidentes provocados pela ruptura de uma barragem, uma vez que através dos resultados obtidos em um bom monitoramento é possível avisar com antecedência à população a jusante da estrutura do risco eminente de acidente.

Entretanto, a implantação de instrumentos de auscultação em uma barragem e a leitura dos mesmos fornecem apenas valores medidos, que se não forem bem tratados e analisados podem não ter utilidade para a operação da barragem. Assim, o engenheiro civil/geotécnico ou geólogo responsável pela estrutura deve utilizar essa informação e interpretá-la adequadamente, englobando uma avaliação da estrutura como um todo e não somente o dado presente em um único instrumento isolado, caso contrário o monitoramento da barragem será ineficaz. Dessa forma, a forma adequada de se tratar e interpretar os dados de monitoramento medidos é a partir de uma carta de risco, pois esta tem a função de fornecer limites de segurança e, a partir deles, avalia-se em qual nível de segurança se encontra a estrutura.

A carta de risco deve, obrigatoriamente, fazer parte do Manual de Operação de uma barragem, pois este documento apresenta não apenas a forma apropriada de se monitorar uma barragem específica, como também deve conter os seus níveis de segurança de operação. Assim, o objetivo principal da carta de risco é determinar e informar qual a variação de leitura que os instrumentos presentes na barragem podem apresentar para os níveis de operação estabelecidos e, a partir daí, fornecer diretamente ao responsável da estrutura o nível de segurança que a barragem se encontra. Para isso, a avaliação e a determinação da carta de risco de uma barragem pode ser feita da seguinte forma:

- Piezômetros e indicadores de nível d'água: os níveis de segurança fornecidos por esses instrumentos são estabelecidos a partir de análises de estabilidade, podendo também ser utilizadas análises de percolação;
- Marcos superficiais, medidores de recalque e inclinômetros: os níveis de

segurança fornecidos por esses instrumentos são estabelecidos a partir de análises de tensão x deformação; e

- Medidores de vazão: os níveis de segurança fornecidos por esses instrumentos podem, em geral, serem estabelecidos por análises de percolação.

Logo, a partir das análises de estabilidade, de percolação e de tensão x deformação é possível obter os níveis de segurança de uma barragem. Em contrapartida, antes de se iniciar esses estudos, é fundamental a definição do critério adotado para o estabelecimento dos níveis de segurança que comporão a carta de risco da barragem, uma vez que não há uma normatização que defina esses critérios.

Portanto, o presente trabalho objetiva apresentar uma metodologia para a determinação dos níveis de segurança que considerem a pressão neutra gerada no maciço e na fundação de uma barragem (piezômetros e indicadores de nível d'água) e, a partir dos valores e resultados obtidos, elaborar a carta de risco de barragens de terra e/ou terra-enrocamento (seção mista). A metodologia proposta foi baseada na mecânica dos solos tradicional, em que se utilizam as análises de percolação (fluxo) como ferramentas de entrada, e desta prossegue-se para a elaboração das análises de estabilidade que irão determinar os níveis de segurança da estrutura em estudo.

2 A CARTA DE RISCO E SUA IMPORTÂNCIA

Conforme relatado anteriormente, a carta de risco de uma barragem tem como meta fornecer os níveis de segurança da instrumentação presente na estrutura e, partir do cruzamento das informações obtidas na carta de risco e dos dados coletados no monitoramento sistêmico da estrutura, verificar em qual nível de segurança a barragem se encontra como um todo. Assim, quando uma barragem apresenta uma carta de risco que foi elaborada adequadamente, os níveis de segurança são confiáveis e, conseqüentemente, ter-se-á tempo suficiente para adequar a estrutura para o nível de segurança desejável, ou, na pior das situações,

evitar que um acidente de grandes dimensões ocorra, o qual poderia resultar em danos sociais e ambientais e, principalmente, perda de vidas humanas.

Entretanto, na literatura técnica especializada não há uma metodologia consolidada para a elaboração de cartas de risco de barragem que apresente quais leituras a instrumentação hidráulica deve apresentar para a verificação da condição de segurança da mesma. Em geral, as empresas responsáveis por barragens de terra ou terra-enrocamento para mineração, para acumulação de água/rejeito ou para geração de energia elétrica e as empresas projetistas elaboram cartas de risco para estes instrumentos a partir da superfície freática que resulte em Fatores de Segurança (FS) padrões que podem estar relacionados aos seguintes níveis de segurança:

- nível normal: quando o FS da barragem é maior ou igual a 1,50;
- nível de atenção: quando o FS está acima de 1,30 mas abaixo de 1,50;
- nível de alerta: quando o FS está acima de 1,10 mas abaixo de 1,30; e
- nível de emergência: quando o FS está abaixo de 1,10.

Assim, para a determinação desses níveis de segurança, em geral são realizadas apenas análises de estabilidade, em que a posição da superfície freática é estabelecida e/ou inferida manualmente, sem o auxílio de análises de percolação. Além disso, nestas análises, em geral, estabelece-se apenas uma única superfície freática para o conjunto como um todo, ou seja, não é feita a separação da superfície piezométrica gerada pelo maciço daquela gerada pelo sistema de drenagem interna e gerada pela fundação, as quais podem ser diferentes. Porém, em função de algumas variáveis como os parâmetros de resistência adotados para os materiais que compõem a barragem e sua fundação e a forma da superfície freática, pode ocorrer do talude de jusante de uma barragem estar totalmente saturado e o FS obtido na análise de estabilidade estar acima de 1,50, conforme o exemplo apresentado na Figura 1, que apresenta um exemplo de análise de estabilidade do talude de jusante em que é feita a simulação de uma barragem com

saturação total da porção inferior do talude, mas com $FS=1,54$, que indicaria um nível de segurança normal. No entanto, caso ocorra uma situação dessa a estrutura estará propensa a sofrer ruptura por erosão regressiva (*piping*), e a carta de risco indicou uma condição normal de operação da estrutura.

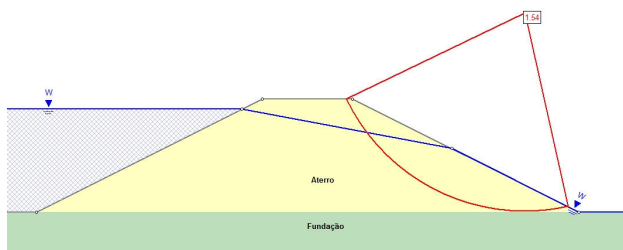


Figura 1. Análise de estabilidade do talude de jusante da barragem com FS acima de 1,50, porém com saturação completa do talude de jusante.

Com isso, conclui-se que a obtenção inadequada ou errônea do FS de uma barragem pode não indicar que a estrutura esteja realmente estável e segura; além disso, a partir desse exemplo prático o engenheiro civil/geotécnico ou o geólogo responsável pela estrutura pode levantar os seguintes questionamentos:

- Uma carta de risco na qual uma situação como essa é apresentada pode ser considerada confiável?
- Qual outra ferramenta ou análise poderia ser acoplada a análise de estabilidade para se chegar a uma carta de risco mais fidedigna, confiável e eficaz?
- As pressões atuantes na fundação, no sistema de drenagem interna e no maciço da barragem resultam em uma única superfície freática e/ou piezométrica? Poder-se-ia separar as superfícies piezométricas provenientes para cada um desses três elementos existentes da barragem na análise efetuada?
- As análises e estudos realizados para a elaboração da carta de risco consideraram as diferenças entre piezômetro e indicador de nível d'água?
- Pode ocorrer de uma barragem romper por erosão regressiva (*piping*), mas o

Fator de Segurança – FS obtido em análises de estabilidade estar acima de 1,50?

Portanto, se uma carta de risco foi obtida a partir de análises inadequadas e as variáveis estudadas não forem confiáveis e/ou não retratarem as condições reais de contorno, possivelmente o valor indicado pela instrumentação pode não corresponder ao nível de segurança estabelecido pela carta de risco. Consequentemente, pode ocorrer de o cruzamento dos dados obtidos pela instrumentação e a carta de risco indicar que uma barragem esteja no nível de atenção, mas na verdade ela estaria no nível de alerta ou, na pior das hipóteses, estaria no nível de emergência ou na iminência da ruptura. Logo, caso a barragem rompa, não se terá tempo suficiente para alertar as autoridades e as comunidades a jusante da barragem, resultando em acidentes muito graves.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia para a determinação dos níveis de alerta ou segurança para a instrumentação hidráulica (piezômetros e/ou indicadores de nível d'água) de uma barragem de terra ou terra-enrocamento (seção mista) e, a partir daí, estabelecer uma carta de risco confiável e adequada para o monitoramento da estrutura.

A metodologia proposta para a elaboração da carta de risco de uma barragem consiste em quatro etapas descritas nos subitens que seguem:

3.1 Etapa A: Elaboração de Análises de Percolação

Esta primeira Etapa da metodologia abrange a elaboração de análises numéricas de percolação ou de fluxo para obtenção da superfície freática e avaliação do desenvolvimento das poropressões na seção geotécnica instrumentada em análise.

Dessa forma, deverão ser realizadas análises de percolação que considerem as

seguintes situações:

- o pleno funcionamento do sistema de drenagem interna, em que são considerados nos estudos e nas análises efetuadas os coeficientes de permeabilidade adotados em projeto; e
- o mau funcionamento (colmatação progressiva) do sistema de drenagem interna, em que os valores do coeficiente de permeabilidade de todo o sistema de drenagem interna (filtro vertical e tapete drenante) são reduzidos proporcionalmente em 10, 100, 1.000 e 10.000 vezes, ou até que sejam atingidos valores próximos daquele adotado para o aterro da barragem (situação de total ausência de drenos internos).

As análises de percolação são necessárias para avaliar a forma das superfícies (linhas) equipotenciais, pois elas são fundamentais para a determinação dos níveis piezométricos. Além disso, a partir da superfície freática e/ou piezométrica resultante das análises de percolação na condição normal e com a simulação de mau funcionamento da drenagem interna, é possível verificar qual o nível de colmatação do sistema de drenagem interna é necessário para se atingir os níveis de segurança adotados.

3.2 Etapa B: Elaboração de Análises de Estabilidade para os Resultados Obtidos nas Análises de Percolação da Etapa A

Após a realização das análises de percolação da Etapa A, ou seja, para todas as superfícies freáticas obtidas na simulação de pleno funcionamento e de colmatação progressiva do sistema de drenagem interna de uma barragem, deve-se realizar análises de estabilidade para cada resultado obtido nas análises de percolação da Etapa A, de modo a verificar se é possível obter os Fatores de Segurança que delimitam os níveis padrões de segurança previamente citados neste trabalho.

Ressalta-se que caso a superfície freática obtida na análise de percolação para a simulação de colmatação do sistema de drenagem interna resultar em saturação da face do talude de jusante, ela deverá ser

desconsiderada para a análise de estabilidade. Esse resultado pode ser um indicador de ocorrência de erosão regressiva (*piping*), que é um fenômeno que pode provocar ruptura da barragem independentemente se o Fator de Segurança está adequado ou não.

3.3 Etapa C: Elaboração de Análises de Estabilidade para Superfícies Freáticas e/ou Piezométricas Obtidas Manualmente

Caso os resultados obtidos nas Etapas A e B resultarem em saturação de parte do talude de jusante pela superfície freática gerada nas análises de percolação, conforme apresentado na Figura 1, e/ou não for atingido os fatores de segurança que determinam os níveis de segurança padrões já apresentados (FS=1,50; FS=1,30; e FS=1,10), parte-se para esta Etapa da metodologia (Etapa C).

Nesta etapa, deve-se estabelecer conjuntamente e em uma mesma análise de estabilidade superfícies (linhas) freática e/ou piezométrica diferente para a determinação dos níveis de segurança a partir dos FS's padrões. Dessa forma, deve-se estabelecer uma superfície (linha) freática para o maciço da barragem e uma superfície (linha) piezométrica que represente as pressões atuantes no sistema de drenagem interna e na fundação.

Caso deseje-se aumentar a precisão dos estudos, pode-se também separar a superfície piezométrica do sistema de drenagem interna daquela gerada pela fundação. Em ambos os casos, essas superfícies (linhas) devem ser traçadas manualmente, simulando uma elevação das mesmas.

Posteriormente, depois de estabelecido quais superfícies freáticas e piezométricas obtida nas análises de estabilidade se referem a cada um dos níveis de segurança padrões, devem-se comparar essas superfícies freáticas e piezométricas com aquelas obtidas e apresentadas nas análises de percolação da Etapa A. Assim, será possível verificar em qual nível de colmatação do sistema de drenagem interna obtido na primeira Etapa está mais próxima das superfícies determinadas nesta Etapa C, e que resultaram nos Fatores de

Segurança padrões já apresentados e classicamente utilizados.

Ressalta-se apenas que, da mesma forma que na Etapa B, nesta Etapa as superfícies freática e piezométrica também não devem tangenciar e/ou saturar o talude de jusante da barragem. Para que isso não ocorra recomenda-se que, durante o traçado manual dessas superfícies (linhas), as mesmas estejam limitadas até uma linha imaginária que saia do pé da barragem e passe por um ponto que esteja distante em 1,50 m na direção vertical do talude de jusante a 10,0 m de altura do pé da barragem. A Figura 2 apresenta um exemplo ilustrativo e comparativo dessa linha imaginária, considerando uma geometria usualmente adotada em talude de jusante de barragens:

- berma de 3,0 m de largura;
- bancos com 10,0 m de altura; e
- inclinação de face dos mesmos de 1,0V:2,0H.

Dessa forma, conforme apresentado na Figura 2, a linha imaginária faz um ângulo de $6,3^\circ$ com a face do talude de jusante; porém, esse ângulo entre a linha imaginária e a face do talude de jusante pode variar conforme a inclinação geral do talude de jusante ou a inclinação adotada para o banco, a altura entre bancos e a presença de bermas entre bancos, bem como a largura adotada para as bermas.

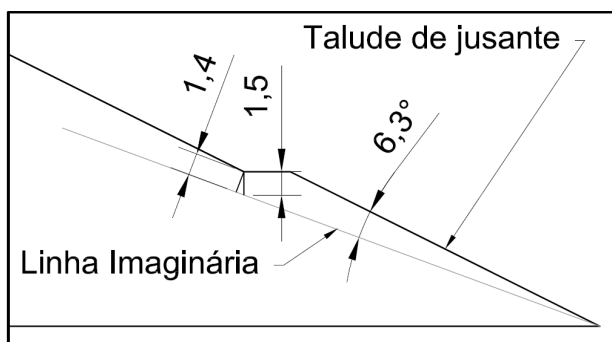


Figura 2. Obtenção da linha imaginária que limita as superfícies freática e piezométrica, obtida a partir do pé da barragem.

3.4 Etapa D: Obtenção da Carta de Risco

Nesta Etapa da metodologia devem-se avaliar os estudos feitos para assim determinar os níveis de segurança correspondente e em cada

instrumento presente na barragem.

O principal aspecto que se deve observar nos resultados nas Etapas anteriores para a obtenção da carta de risco são a forma e a posição da superfície freática, obtida a partir da análise de percolação, e a forma e a posição das superfícies freática e piezométrica, obtidas manualmente. Assim, a carta de risco estará adequada se, e se somente, essas superfícies geradas, especialmente aquelas que foram obtidas manualmente em que se simulou uma possível elevação das mesmas, estejam limitadas a linha imaginária relatada na etapa anterior, conforme exemplificado na Figura 2.

Essa verificação objetiva validar o formato das superfícies (linhas) freáticas e piezométricas obtidas nas Etapas de estudo, para assim determinar os níveis que cada instrumento deve registrar para se atingir os níveis de segurança (normal, atenção, alerta e emergência). Como consequência, a carta de risco gerada garantirá os níveis de segurança da estrutura quanto ao escorregamento e quanto ao fenômeno de erosão regressiva (*piping*), pois a aplicação das Etapas A a C e a verificação destas na presente Etapa não resultará em afloramento dessas superfícies (linhas) na porção inferior do talude de jusante, que é um possível indicador de ruptura da barragem por erosão regressiva (*piping*).

Desta maneira, têm-se duas situações distintas que são passíveis de ocorrer:

- Caso as superfícies (linhas) freáticas e piezométricas obtidas e que resultaram nos FS's padrões estejam limitadas até a linha imaginária padronizada na Etapa C, adota-se a análise de percolação que melhor representa cada um dos níveis freáticos e piezométricos estabelecidos para os níveis de segurança padrões, os quais foram obtidos ou somente pelas Etapas A e B ou pelas Etapas A, B e C. Posteriormente, adotam-se os níveis que melhor representam cada nível de segurança para a determinação das leituras do indicador de nível d'água e/ou do piezômetro. No caso do piezômetro, deve-se comparar a superfície piezométrica obtida nas análises e/ou a superfície (linha)

piezométrica obtida manualmente com as linhas equipotenciais (isolinhas) geradas na análise de percolação, pois se trata de um instrumento que mede pressão; ou

- Caso as superfícies (linhas) freáticas e piezométricas obtidas estejam limitadas até a linha imaginária, mas resultaram em FS's acima dos padronizados para os níveis de segurança, deve-se estabelecer outros Fatores de Segurança para os níveis normal, de atenção, de alerta e de emergência e retornar as Etapas B e/ou C. Esse mesmo procedimento deve ser feito caso os FS's padrões tenham sido atingidos, porém as superfícies (linhas) freática e/ou piezométrica estejam muito próximas ou tangenciando o talude de jusante, que não é uma situação de projeto desejável.

Dessa forma, caso aconteça à segunda situação os Fatores de Segurança que determinarão os níveis de segurança da barragem podem ser, por exemplo, 1,50, 1,40 e 1,30 ou até mesmo FS's acima de 1,50, que é o mínimo requerido pela norma técnica brasileira de barragens de mineração – NBR 13.028 (ABNT, 2006) – pois eles atenderão tanto a possíveis rupturas devido a escorregamento quanto ao fenômeno de erosão regressiva (*piping*).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetiva apresentar uma metodologia para a elaboração de carta de risco de barragens de terra e de terra-enrocamento (seção mista).

A realização de análises de estabilidade é uma ferramenta necessária para avaliar a estabilidade física de um talude e/ou uma barragem. No caso de barragens em especial, observa-se que o Fator de Segurança de uma barragem é influenciado pelos parâmetros de resistência adotados e a inclinação do talude, uma vez que essas variáveis podem resultar em FS alto mesmo que ocorra uma forte elevação das superfícies (linhas) freática e/ou piezométrica. Portanto, a metodologia proposta

propõe as seguintes etapas para a determinação da carta de risco para barragens:

- realização de análises de percolação como uma ferramenta essencial para a obtenção dos dados de entrada de uma carta de risco, tendo em vista que a partir dessa análise é possível avaliar a elevação da superfície freática e da poropressão interna da estrutura, conforme o sistema de drenagem interna vai sendo colmatado, além de ser possível obter as superfícies ou linhas equipotenciais para as análises realizadas, que são dados de entrada importante para se obter as leituras que piezômetros devem apresentar para registrar os níveis de segurança desejados;
- realização de análises de estabilidade considerando mais de uma superfície (linha) freática e/ou piezométrica, em que se separa a superfície piezométrica gerada pela fundação da barragem daquela gerada pelo sistema de drenagem interna, como também se separa daquela gerada pelo maciço da barragem; e
- limitação das superfícies (linhas) freática e piezométrica obtidas pelas análises numéricas ou manualmente, de forma que não ocorra erosão regressiva (*piping*).

Os resultados obtidos durante a elaboração da metodologia mostraram também que em algumas situações os fatores de segurança que determinam os níveis de segurança normal, atenção, alerta e emergência podem ser diferentes e/ou maiores que aqueles adotados tradicionalmente, em especial aqueles que separam o limite de atenção para o limite de alerta e do limite de alerta para o limite de emergência. Além disso, observa-se também que a posição do nível d'água – NA do reservatório e a presença ou não de praia de rejeitos, no caso de barragens de mineração alteadas pelos métodos de montante e de linha de centro, influencia consideravelmente nos resultados obtidos, especialmente nas análises de percolação, que conseqüentemente pode influenciar nas análises de estabilidade que irão

subsidiar a determinação dos níveis de segurança de uma carta de risco.

Essa metodologia vem sendo aplicada nos projetos e nas Avaliações de Segurança de barragens de rejeitos, de sedimentos e/ou de água elaborados pela Walm Engenharia. Os resultados obtidos nas novas cartas de risco elaboradas a partir dessa metodologia são mais realistas e menos conservador que as formas tradicionais de sua elaboração, as quais não consideravam nem as análises de fluxo e nem a diferença entre um piezômetro e um indicador de nível d'água. Além disso, este novo método de obtenção da carta de risco de uma barragem tem sido bem aceita pelas empresas que solicitaram a Walm esse tipo de estudo e/ou projeto, uma vez que possibilita avaliar a estrutura como um todo e como as leituras dos instrumentos de monitoramento podem refletir no comportamento geotécnico da barragem como um todo. Dessa forma, evita-se o tratamento isolado de um único instrumento, que pode não significar nada sem uma avaliação conjunta de todo o sistema.

Portanto, a presente metodologia visa englobar análises de percolação ou de fluxo e análises de estabilidade com os dados de instrumentação existente, de forma que o responsável pela operação de uma barragem possa avaliar com maior clareza e precisão a importância dos dados de monitoramento e o como eles podem refletir no comportamento geotécnico da barragem.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental Ltda pelo apoio na divulgação dessa metodologia, e a todos os seus clientes que subsidiaram, indiretamente, a elaboração dos estudos.

REFERÊNCIAS

- Silveira, J. F. A. (2006). Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento, *Oficina de Textos*, São Paulo, SP.
- Silveira, J. F. A. (2014). Teria Sido Possível Evitar a Ruptura da Barragem de Teton Através de um Bom

Plano de Instrumentação?, *Revista Brasileira de Engenharia de Barragens*, CBDB, Rio de Janeiro, RJ, ANO I, Nº 01, p. 23-29.

NBR 13.028 – Mineração – Elaboração e Apresentação de Projeto de Barragens para Disposição de Rejeitos, Contenção de Sedimentos e Reservação de Água (2006). *Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT*, Rio de Janeiro, RJ.