

MODELAGEM FÍSICA PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE BRECHAS EM RUPTURAS DE BARRAGENS EM CASCATA

Rubens Gomes Dias Campos¹, Aloysio Portugal Maia Saliba² e Márcio Benedito Baptista²

¹Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

² Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

E-mail: rubensengenhheiro2004@yahoo.com.br; asaliba@ehr.ufmg.br; marcio.baptista@ehr.ufmg.br

Introdução

Os hidrogramas de ruptura de barragens são função direta do volume de materiais armazenados nos reservatórios das barragens, bem como do tempo e da forma de sua liberação. Com efeito, em uma ruptura, o maciço do barramento sofre um processo de abertura, dando passagem aos volumes armazenados, sendo essa abertura conhecida como brecha. Conforme o tipo de barramento, essa brecha apresentará características distintas. Por exemplo, uma barragem de concreto pode apresentar brechas que se formam instantaneamente, por tombamento ou quebra, enquanto uma barragem de terra que rompe por galgamento terá seu maciço destruído num processo de erosão regressiva e instabilização (Saliba, 2009), e essas características vão determinar a vazão de pico e a forma do hidrograma de ruptura.

Diversos autores desenvolveram equações empíricas para determinação dos parâmetros geométricos e de formação da brecha de rupturas individuais de barragens, bem conhecidas e descritas na literatura técnica, como as equações empíricas de Froehlich (1995), Von Thun e Gillette (1990), McDonald e Langridge-Monopolis (1984) ou *Soil Conservation Service* (1985). Todavia, durante as verificações hidrológicas e hidráulicas de diversas barragens, identificou-se que são escassas as pesquisas que definam os parâmetros de formação de brecha para a ruptura de barragens em cascata, ou mesmo quanto qual a distância mínima necessária para que rupturas em cascata possam ser avaliadas individualmente.

O processo de formação de brechas pelas quais escoam os volumes armazenados nos reservatórios das barragens é um processo complexo de difícil representação por mecanismos matemáticos, pois envolve parâmetros geotécnicos não homogêneos, com variações espaciais e temporais. Adicionalmente, na ruptura de barragens dispostas sequencialmente, assume-se que a brecha na barragem de jusante resultante da ruptura da barragem a montante seguiria os mesmos processos de formação que brechas decorrentes de rupturas individuais. Nestas situações, o gatilho de ruptura é o galgamento, devido à magnitude das cheias decorrentes da ruptura.

A princípio esta premissa parece inconsistente, visto que as velocidades de escoamento no início da formação da brecha serão significativamente superiores àquelas originadas em um galgamento decorrente de uma ruptura isolada. Esta é, portanto, a hipótese motivadora desta pesquisa, que procura delimitar os parâmetros aplicáveis para os parâmetros de formação de brecha para ruptura de barragens em cascata.

No desenvolvimento desta pesquisa estão sendo utilizados modelos reduzidos para determinar os parâmetros de formação de brecha para as barragens em cascata, permitindo obter os hidrogramas de ruptura, adotados para o estudo de caso, com posterior geração de mancha de inundação, a qual será utilizada para avaliação estatística e comparações com manchas de inundação obtidas a partir da utilização de outras metodologias para determinação dos parâmetros das brechas.

Diversos são os locais com possibilidade de ruptura em cascata identificados no Brasil, como é o exemplo de barragens em cascata da Figura 1.



Figura 1.- Barragens em cascata (Fonte: Google).

Objetivo

O objetivo da pesquisa é determinar os parâmetros de formação de brecha da ruptura hipotética especificamente para o caso de barragens em cascata, definindo-se também indicativos no tocante ao distanciamento dos barramentos para consideração como estrutura isolada. Para que possam ser determinados estes parâmetros, a metodologia utiliza modelos reduzidos, procurando representar duas barragens justapostas, utilizando estudos de caso e rupturas hipotéticas, para determinar os hidrogramas resultantes de cada barramento após os eventos simulados de ruptura.

A partir dos parâmetros obtidos procede-se à simulação em programa de modelagem hidrológica para obter hidrogramas representativos das rupturas, segundo os resultados dos parâmetros de brecha obtidos nesta pesquisa, considerando os reservatórios em cascata, e, para efeito comparativo, procede-se a mesma simulação com parâmetros de brechas de outras pesquisas já realizadas (e.g. MacDonald e Langridge-Monopolis, 1984; Von Thun e Gillette, 1990; e Froehlich, 1987, 1995, 2008).

Metodologia

A metodologia desta pesquisa consiste essencialmente na elaboração e exploração dos resultados de modelos reduzidos em laboratório para representar barragens em cascata, e, a partir das rupturas destes modelos avaliar os parâmetros de largura média, altura e tempo de formação da brecha, para propor uma equação de brecha para barragens construídas em cascata.

Para que se torne possível obter uma equação de formação de brecha em barragens em cascata, e os parâmetros encontrados aplicáveis para outras barragens, propõe-se adicionalmente o desenvolvimento de modelos complementares em programa de modelagem hidráulica computacional uni e bidimensional (HEC-RAS 5.0.3) para avaliar a partir de qual distância entre barramentos estas equações não teriam mais validade, ou seja, avaliar as limitações de aplicabilidade.

Assim as etapas metodológicas propostas podem ser resumidas da seguinte forma:

- Projeto dos modelos reduzidos em laboratório para obtenção dos parâmetros característicos para representação da geometria da brecha da barragem de jusante e seu tempo de formação. Neste processo serão determinadas as escalas para permitir a obtenção de semelhança hidráulica e geotécnica;
- Construção dos modelos reduzidos projetados, utilizando-se materiais granulares sintéticos para a representação dos maciços, aos quais serão acrescentados materiais coesivos para manter a semelhança de comportamento geotécnico;
- Realização de ensaios de ruptura dos modelos reduzidos em laboratório, contemplando filmagem e medições de níveis de água e velocidades resultantes;
- Análise dos resultados dos modelos reduzidos;
- Comparação entre os parâmetros encontrados e os existentes da equação de brecha por meio de modelagem complementar em programa de modelagem hidráulica computacional bidimensional (HEC-RAS 5.0.3).

Resultados preliminares

Devido ao estágio ainda inicial da pesquisa, até a presente data foram elaborados três modelos físicos em um canal prismático de acrílico com 15,0 cm de largura e 25,0 cm de altura, nos quais foram preliminarmente identificados alguns parâmetros:

- O traço ideal a ser utilizado para elaboração do maciço utilizando material granular sintético e um aglomerante (cimento CP III) situa-se na faixa entre 1:20 e 1:50 em volume;
- Foi verificado que é necessário revestir o paramento de montante dos maciços do modelo reduzido, utilizando solo siltoso, para reduzir a infiltração pelo maciço. Como se trata de uma ruptura em cascata é necessário garantir que o segundo maciço tenha o seu reservatório cheio de água antes da ruptura da barragem de montante, para que a onda de cheia possa se propagar pelo reservatório e atingir o segundo maciço.

A Figura 2 apresenta um perfil longitudinal representativo dos três primeiros modelos construídos, onde se pode observar os dois maciços em cascata antes da simulação.

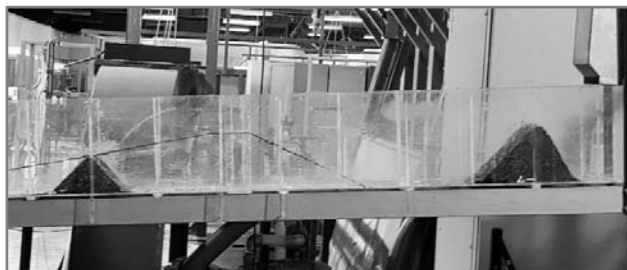


Figura 2.- Modelo desenvolvido em canal prismático.

Considerações finais

Não foram encontrados trabalhos que tratem de equações de brecha para barragens em cascata, tornando esta pesquisa uma inovação nos estudos de rupturas de barragens.

Devido a esta pesquisa estar em fase inicial, e ainda contar com experimentos laboratoriais ainda preliminares, somente foi possível obter algumas poucas conclusões a respeito da construção dos modelos. Novos resultados serão agregados ao texto final a ser enviado ao congresso.

Referências bibliográficas

- Froehlich D. C.** *Embankment-Dam Breach parameters*. In: *Proceedings of 1987 ASCE national conference on hydraulic engineering*, Williamsburg. Pg. 570–575. 1987.
- Froehlich D. C.** *Embankment dam breach parameters revisited*. In: *Proceedings of the 1995 ASCE conference on water resources engineering*. San Antonio. Pg. 887–891. 1995.
- Froehlich D. C.** *Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties*, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 134, No. 12, May, pg. 1708-1720. 2008.
- Google.** Acesso dia 01/02/2018.
- Macdonald T. C., Langridge-Monopolis J.** *Breaching characteristics of dam failures*. *Hydraulic Engineering*. ASCE 110 (5). 567–586. 1984.
- Saliba, A. P. M.** Uma nova abordagem para análise de ruptura por galgamento de barragens homogêneas de solo compactado. 2008. 179 f.. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- U.S. Soil Conservation Service.** *Simplified Dam-Breach Routing Procedure*. *Technical Release No. 66 (Third Edition)*. 134 pg. 1985.
- Von Thun J.L., Gillette D.R.** *Guidance on breach parameters*. *Unpublished internal document, US Bureau of Reclamation*, Denver, 17 pp. 1990.