

BASE HIDROGRÁFICA DE PERIGO POTENCIAL ASSOCIADO AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS SOB EFEITO CASCATA

Stefany Gonçalves Lima¹ ; Rodrigo Cauduro Dias de Paiva²

Palavras-Chave – Rompimento de Barragens, Efeito Cascata, Metodologia Simplificada.

INTRODUÇÃO

Barragens são construções de elevada importância para a sociedade e possíveis rompimentos dessas estruturas acarretam em potenciais danos que envolvem não só perdas econômicas, mas também de vidas humanas e prejuízos ambientais a jusante do barramento (BRASIL, 2010b). Ainda que esse tipo de situação não seja frequente, a chance de acontecimentos de acidentes com essas estruturas não é inexistente.

A probabilidade de ocorrência de danos a jusante dessas estruturas aumenta quando a vulnerabilidade é associada a um perigo eminente (KOHLENER et al., 2004). Ainda, os efeitos provocados no rompimento dessas estruturas se intensificam em rios que possuem reservatórios em cascata, pois o rompimento ocasionado em uma das barragens situada mais a montante pode apresentar um grande perigo para todo o sistema a jusante. Esse fenômeno é entendido como efeito dominó e o mesmo resulta em uma imensa onda de cheia que se propaga ao longo do tempo (COLLISCHONN, 1997).

Quando se trata de questões relacionadas a rompimentos de barragens, devido à importância de prevenção de desastres naturais referida no Decreto N° 7.257/2010 (BRASIL, 2010a), torna-se necessária a criação de mapas de perigo em âmbito nacional com vistas a auxiliar no gerenciamento desses desastres (WMO, 2016). No entanto, o desenvolvimento desses mapas utilizando abordagens mais sofisticadas apresentam impasses de execução devido às dificuldades existentes principalmente pela limitação de dados, ferramentas computacionais ou necessidade de estimativas rápidas de perigo.

Dadas as circunstâncias, metodologias simplificadas podem ser abordagens facilitadoras que permitem estabelecer, então, a identificação de trechos afetados, os tempos médios disponíveis para alerta da população e a magnitude das cheias ocasionadas por esses eventos em situações de impossibilidade de utilização de métodos mais detalhados, como é o caso da complexidade envolvida na análise de diversos cenários de rompimentos de barragens em cascata. Contudo, essas abordagens não eliminam a necessidade de estudos mais detalhados.

Posto isso, esse trabalho se constituiu em explorar a temática de mapeamento de perigo através do desenvolvimento de uma metodologia simplificada a fim de obter, facilmente, resultados para situações envolvendo rompimentos hipotéticos de barragens sob efeito cascata. Esses resultados servirão como uma primeira estimativa acerca do perigo potencial mediante à ocorrência de acidentes abrangendo rompimentos de barragens.

METODOLOGIA

A metodologia simplificada para atenuação da vazão proposta nesse trabalho é preliminar, ou seja, ainda se encontra em desenvolvimento. Ela compreende 6 (seis) etapas que foram aplicadas inicialmente na Região Hidrográfica do Guaíba, abrangendo uma área de aproximadamente 85000 km², correspondente a 30% da área total do estado do Rio Grande do Sul.

Etapa I: Estimativa das vazões de ruptura

Para esse trabalho as vazões máximas de ruptura foram estimadas a partir da equação empírica de Singh e Snorrason (1982) (PIERCE et al., 2010).

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. stefglima@gmail.com

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. rodrigocpaiva@gmail.com

Etapa II: Proposta de nova metodologia

Normalmente, os processos de atenuação de uma onda de cheia são representados adequadamente pelo modelo de difusão. Adicionalmente, para a equação de difusão pode ser proposta uma solução analítica, o que tem como vantagem a estabilidade numérica. Para representar os processos envolvidos na atenuação da vazão de cheia proveniente de um rompimento de barragem, assim como para as demais soluções analíticas desse tipo, implica-se que sejam assumidas simplificações e aproximações que resultem em estimativas rápidas, conservadoras e facilmente reproduzíveis acerca do perigo potencial quando da ocorrência de acidentes envolvendo rompimentos de barragens sob efeito cascata.

Considerando então que a defluência do reservatório decorrente de um evento de rompimento de barragem pode ser representada por um hidrograma triangular simétrico (MASCARENHAS 1990), o comportamento da onda de cheia ao longo de uma distância x e um tempo t pode ser expresso pela segunda derivada em relação a x que representa a curvatura da vazão no espaço.

Além de considerar os efeitos hidrodinâmicos das forças de pressão, gravidade e atrito, também se incluiu o armazenamento de água na planície. Com isso, assumiu-se que existe uma relação linear entre o armazenamento de água na planície e a vazão fazendo com que a relação de atenuação possa ser expressa efetuando a correção dos termos de difusividade hidráulica e celeridade da onda de cheia, resultando na seguinte equação de atenuação da vazão (Equação 1):

$$\frac{Q(x)}{Q_0} = \left(\frac{1}{1 + \frac{3 \left(\frac{W_t}{W_{cc}} \right)^2 Q_0^3}{W_{cc} S c_{cc}^3 V^2} x} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

onde $Q(x)$ é a vazão imediatamente a jusante ao trecho analisado (m^3/s); Q_0 é a vazão no trecho analisado (m^3/s); W_t/W_{cc} é a relação entre a largura da planície e a largura do canal principal (adimensional); c_{cc} é a celeridade no trecho analisado (m/s); W_{cc} é a largura do canal na seção analisada (m); S é a declividade do trecho analisado (m/m); V é o volume acumulado até a seção analisada (m^3) e x é o comprimento do trecho analisado (m).

Etapa III: Estimativa do tempo de propagação da onda de cheia

Nessa etapa foram realizadas simplificações a partir de amostras na razão entre a largura da planície de armazenamento (W_t) e a largura do canal (W_{cc}) de acordo com as declividades encontradas ao longo dos trechos de drenagem. Com isso, utilizando a equação de Manning é possível estimar a profundidade d'água (h), velocidade (v) e celeridade (c), sendo a última equivalente a 5/3 da velocidade (TUCCI, 1998).

As vazões foram propagadas e acumuladas sob efeito cascata, e para a realização de todo o processo de cálculo foram implementados algoritmos utilizando o *software* MATLAB.

Etapa IV: Estimativa das vazões máximas de regionalização

Nessa etapa foram estimadas as vazões máximas de regionalização para a região utilizando a equação obtida no trabalho de Crespo (1982).

Etapa V: Estimativa do período de retorno das vazões de ruptura

Para estimar os períodos de retorno das vazões de ruptura foi utilizada a distribuição de extremos através do cálculo da variável reduzida de Gumbel (Crespo, 1982) que pôde ser calculada com base na extrapolação da curva de frequência utilizando a relação $Q(x)/Q_{BAR}$. A partir de então, é possível calcular o período de retorno (TR) correspondente para cada trecho.

Etapa VI: Elaboração dos mapas de perigo

Os mapas de perigo foram elaborados no *software* QGIS v. 3.22.6.

RESULTADOS

Foram estimadas vazões de ruptura atenuadas pela equação de atenuação proposta nesse trabalho. Ao analisar a Figura 1, é possível notar que a região do Alto Jacuí apresenta a maior vazão acumulada em cascata. Nesse cenário, a vazão da ordem de 115 m³/s é proveniente do rompimento em cascata do conjunto de barragens que inclui a barragem Ana Maria, PCH Ernestina, UHE Passo Real, que é o maior reservatório em termos de volume na bacia analisada, Barragem Eng. José Maia Filho, Represa de Itaúba e UHE Dona Francisca.

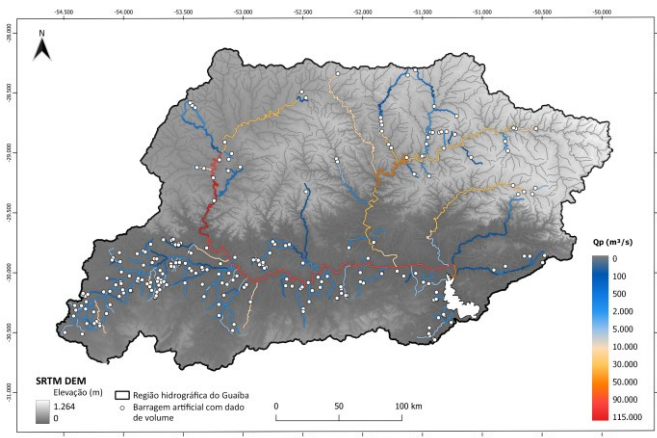


Figura 1- Vazões máximas de rompimentos hipotéticos de barragens sob efeito cascata. Fonte: autoria própria.

Tempo de propagação da onda de cheia

O efeito de armazenamento na planície de inundação considerado no modelo de difusão provocou a redução do termo de celeridade que conferiu um aumento na difusividade e retardamento da onda de cheia. Em outras palavras, em áreas que apresentam planícies de inundação observa-se uma maior atenuação da vazão de pico e um atraso no seu tempo de ocorrência.

A Figura 2 apresenta a espacialização do tempo de propagação da onda de cheia proveniente do rompimento hipotético de uma dada barragem até o próximo barramento localizado imediatamente a jusante.

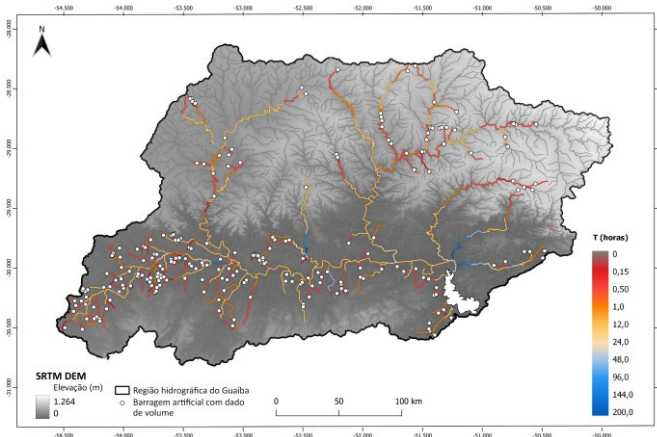


Figura 2 - Tempos de chegada da onda de cheia. Fonte: autoria própria.

Período de retorno das vazões de ruptura

Considerando o interesse em eventos extremos, adotou-se um limiar de 10000 anos para a determinação dos períodos de retorno. Contudo, cabe ressaltar que existem muitas incertezas associadas a períodos de retorno de maiores magnitudes.

A distribuição espacial dos períodos de retorno (Figura 3) demonstram áreas particularmente vulneráveis ao perigo associado às vazões de ruptura com períodos de retorno de até 10000 anos, caracterizando um evento extremo para a maioria dos cursos d'água analisados. Também é possível notar que alguns trechos próximos ao exutório do Rio dos Sinos, Rio Gravataí e em alguns tributários da Bacia Taquari-Antas, Bacia Jacuí, Bacia Pardo e Bacia Vacacaí Mirim possuem períodos de retorno de pouco menos de 1(um) ano, caracterizando uma cheia de magnitude reduzida.

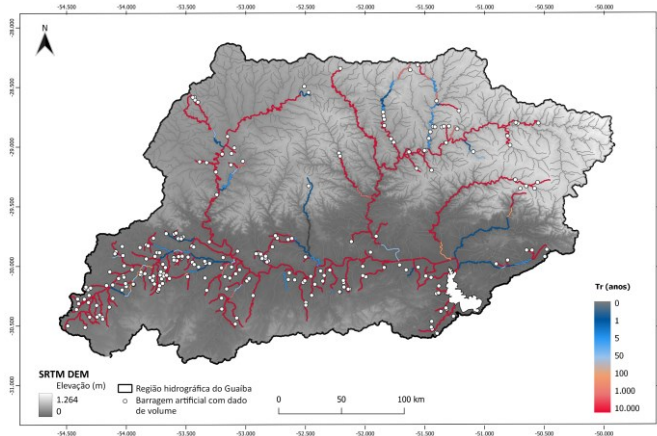


Figura 3 - Períodos de retorno das vazões de rompimento. Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

O estudo que compreende a elaboração de metodologias simplificadas, buscando analisar as consequências provenientes de rompimentos de barragens sob efeito cascata, ainda é complexo e abrange algumas incertezas. Porém, o desenvolvimento desse tipo de abordagem é útil para a realização de estimativas rápidas e conservadoras que podem ser utilizadas em estudos de ruptura de barragens, na elaboração de PAE's e em tomadas de decisões.

Os resultados obtidos para a Região Hidrográfica do Guaíba, na forma de mapas de perigo, não eliminam a necessidade de estudos mais detalhados, mas promovem uma primeira estimativa conservadora e facilmente reproduzível acerca do perigo potencial existente nos rompimentos de barragens sob efeito cascata. Contudo, ainda tem-se a necessidade de realização de análises mais criteriosas a respeito dos erros envolvidos na determinação dos parâmetros que foram pré-estabelecidos nesse trabalho, pois a variabilidade dos mesmos pode implicar significativamente no comportamento da equação de atenuação das vazões de ruptura.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam reconhecer a Agência Nacional de Águas - ANA pelo financiamento concedido para publicação desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. *Decreto N° 7.257, de 4 de agosto de 2010*. Regulamenta a Medida Provisória N° 494 de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil. Brasília, DF, 2010.
- BRASIL. *Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010*. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Brasília, DF, 2010b.
- COLLISCHONN, W. (1997). “*Análise do Rompimento da Barragem de Ernestina*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- CRESPO, C. E. J. (1982). “*Regionalização de vazão máxima do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*”. Dissertação (Mestrado em Energia e Sustentabilidade), Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina.
- KOHLER, A.; Jülich, S.; Bloemertz, L. (2004). “*Risk Analysis – a basis for disaster risk management*”. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn.
- MASCARENHAS, F. C. B. (1990). “*Modelação matemática de ondas provocadas por ruptura de barragens*”. Tese (Doutorado em Engenharia). Coppe/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- PIERCE, M. W. et al. (2010). “*Predicting Peak Outflow from Breached Embankment Dams*”. Journal of Hydrologic Engineering. p. 338-349.
- TUCCI, C.E.M. 1998. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: 680pp.
- WMO - World Meteorological Organization. “*Integrated flood management tools series: the role of land-use planning in flood management*”. Genebra, Suíça, 2016.