



ESTUDOS DE DAM BREAK

Olavo Tozete Tercini¹ ; Arthur Bucciarelli Andreetta² & Euclides Cestari Junior³

Palavras-Chave - Dam Break, Equações Empíricas, PAE

INTRODUÇÃO

No âmbito de segurança de barragens, é de extrema relevância o conhecimento do vale a jusante das obras, para definir o possível dano potencial associado que a construção e existência dessas estruturas podem causar no caso de rompimento, em termos sociais, econômicos e ambientais.

Assim, os estudos de rompimento hipotético de barragens, internacionalmente conhecido como estudo de Dam Break, permite um melhor conhecimento da possível área afetada, caso a barragem venha a romper.

O Dam Break pode ser realizado através de softwares computacionais, ou por meio da literatura, embasada em teorias e estudos de caso de ruptura de diversas barragens espalhadas pelo mundo.

De modo geral, o estudo de Dam Break, seja pelo uso da tecnologia ou aplicação da literatura, irá definir a brecha de ruptura de acordo com o material construtivo, calcular o tempo e a vazão de ruptura a partir das características técnicas, e gerar o hidrograma de ruptura para propagação das ondas de inundação.

Desse modo, é possível elaborar os mapas de inundação do vale a jusante, onde, com o auxílio de imagens aéreas da região, pode-se identificar os possíveis impactos causados e, portanto, determinar o dano potencial associado que essa barragem apresenta ao meio em que está inserida.

METODOLOGIA

Os estudos de ruptura “Dam Break” pode então ser embasado em equações empíricas, modelos fisicamente embasados ou aproximações por modelos probabilísticos (FERC, 2014). Segundo Ramos e Viseu (1999), os resultados da escolha do modelo de simulação utilizado são influenciados pelo método numérico utilizado, pelas condições iniciais e de contorno assumidas e pela quantidade de dados de entrada utilizados.

De acordo com Brasil (2005), para a utilização das equações empíricas, através de modelos simplificados unidimensionais, é possível distinguir duas etapas para a elaboração do Dam Break:

- Definição do hidrograma de ruptura, a partir da ruptura total ou parcial da estrutura, pelas características da brecha de ruptura produzida;
- Simulação da propagação da onda de cheia, através da modelagem hidráulica, obtendo os seguintes parâmetros: vazão, lâmina d’água, tempos de chegada e risco hidrodinâmico.

Existem muitas equações empíricas de diversos autores que estimam parâmetros de brecha, tempo e vazão de ruptura, a partir de estatísticas de rompimentos de barragens (FERREIRA e ANDRZEJEWSKI, 2015). As tabelas 1 a 3 apresentam algumas destas equações e seus autores.

¹) Afiliação: Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda. Avenida Atlântica, 1659 – Box 33 Ilha Shopping, Ilha Solteira – SP | (18) 3742-2680 | olavo@geometrisa.com.br

²) Afiliação: Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda. Avenida Atlântica, 1659 – Box 33 Ilha Shopping, Ilha Solteira – SP | (18) 3742-2680 | arthur@geometrisa.com.br

³) Afiliação: Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda. Avenida Atlântica, 1659 – Box 33 Ilha Shopping, Ilha Solteira – SP | (18) 3742-2680 | euclides@geometrisa.com.br



Tabela 1 – Equações empíricas para tempos de ruptura

AUTOR	TEMPO DE RUPTURA
SINGH, 1989	$0,25 h \leq t_{rup} \leq 1,0 h$
USBR, 1988	$t_{rup} = 0,011 B_{bre}$
USBR, 1989 - Aterro de terra bem construída	$0,5 h \leq t_{rup} \leq 3 h$
USBR, 1989 - Aterro de terra	$0,1 h \leq t_{rup} \leq 0,5 h$
USBR, 1989, Aterro de estêreis de minas	$t_{rup} \leq 0,2 h$
FROELICH, 1987	$t_{rup} = 0,007 \left(\frac{V_{res}}{H_{bre}^2} \right)^{0,5}$
FROELICH, 1995	$t_{rup} = 0,00254 \left(\frac{V_{hid}^{0,53}}{H_{bre}^{0,9}} \right)$
Von THUN e GILLETTE, 1990 - Aterros com materiais resistentes	$t_{rup} = 0,02H_{hid} + 0,25$
Von THUN e GILLETTE, 1990 - Aterros com materiais erodíveis	$t_{rup} = 0,015H_{hid}$
Von THUN e GILLETTE, 1990 - Aterros resistentes	$t_{rup} = \frac{\bar{B}_{bre}}{4H_{hid}}$
Von THUN e GILLETTE, 1990 - Aterros facilmente erodíveis	$t_{rup} = \frac{\bar{B}_{bre}}{4H_{hid} + 6,10}$
HARTFORD e KARTHA, 1995	$t_{rup} = 1/30 H_{barr}$

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Tabela 2 – Equações empíricas para brechas de ruptura

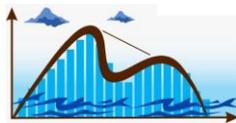
AUTOR	BRECHA DE RUPTURA
JOHNSON e ILLES, 1976	$0,5H_{barr} \leq B_{bre} \leq 3 H_{barr}$
SINGH, 1989	$2H_{barr} \leq B_{bre} \leq 5 H_{barr}$
USBR, 1989	$H_{barr} \leq B_{bre} \leq 3 H_{barr}$
FROELICH, 1987	$\bar{B}_{bre} = 0,47 k_0 \left(\frac{V_{res}}{H_{bre}} \right)^{0,5}$
FROELICH, 1995	$\bar{B}_{bre} = 0,1803 k_0 V_{hid}^{0,32} H_{bre}^{0,19}$
VON THUN e GILLETTE, 1990	$B_{bre} = 2,5 H_{hid} + C_b$

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Tabela 4 – Equações empíricas para vazões de ruptura

AUTOR	VAZÃO DE RUPTURA
KIRKPATRICK, 1977	$Q_{max} = 7,683H_{hid}^{1,909}$
HAGEN, 1982	$Q_{max} = 1,205(H_{barr}V_{res})^{0,48}$
COSTA, 1985	$Q_{max} = 19 H_{barr}^{1,85}$
	$Q_{max} = 961 V_{res}^{0,68}$
	$Q_{max} = 325 (H_{barr}V_{res})^{0,42}$
USBR, 1989	$Q_{max} = 6,14 h_0^{1,81} V_{max}^{0,061}$
MOLINARO e DIFILIPPO, 1992	$Q_{max} = 0,116 g^{0,5} h_0^{2,5} \left(\frac{V_{res}}{h_0} \right)^{0,221}$
FROELICH, 1995	$Q_{max} = 0,607 H_{hid}^{1,24} V_{max}^{0,295}$
WEBBY, 1996	$Q_{max} = 0,0443 g^{0,5} H_{hid}^{1,4} V_{hid}^{0,367}$
INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, 1996	$Q_{max} = 1,3 H_{barr}^{2,5}$
LEMPERIÈRE, 1996	$Q_{max} = H_{hid}^{0,5} (H_{hid}^2 + k V_{res}^{0,5})$
SINGH, 1996	$Q_{max} = 1,7BH_{hid}^{3/2}$

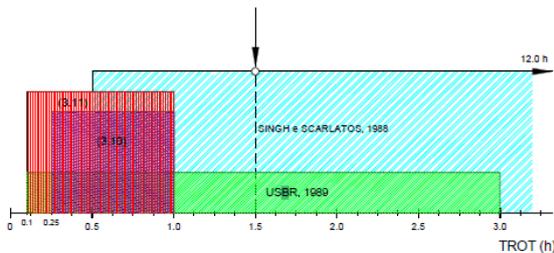
Fonte: elaborado pelo próprio autor



RESULTADOS

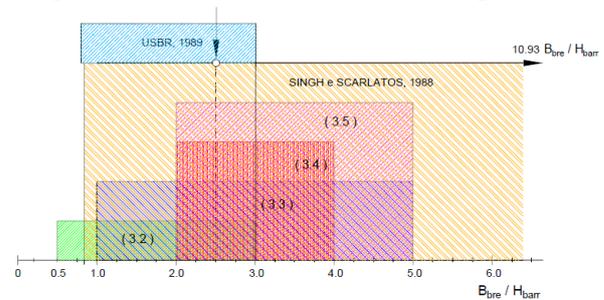
As equações da Tabela 1 foram estudadas, e então, produzido a Figura 1, que encontra a variação de $0,5 \text{ horas} < t_{rup} < 1 \text{ hora}$ como o domínio de interseção das equações (VISEU, 2006). A partir de uma análise das equações da Tabela 2, Viseu (2006) chegou até a Figura 2, onde verificou que a variação $2H_{barr} < B_{bre} < 3 H_{barr}$ representa o domínio de intersecção das equações.

Figura 1 – Síntese do Tempo de Ruptura



Fonte: VISEU, 2006

Figura 2 – Síntese da Brecha de Ruptura



Fonte: VISEU, 2006

Com relação a brecha de ruptura, para barragens de aterro, segundo Viseu (2006), pode-se concluir que a forma das brechas é usualmente trapezoidal, a inclinação dos lados do trapézio é da ordem de 2V:1H, a largura da brecha na soleira pode ser considerada igual a 2,5 vezes a altura total da barragem e a altura da brecha igual altura da barragem, e o tempo para formação da brecha final é de 90 minutos.

A Eletrobrás (2003), em seu manual de Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas já define outros parâmetros a serem utilizados em estudos de ruptura de barragens, conforme o tipo da estrutura que se está trabalhando, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios para simulação de cheia induzida no Brasil

Pais ou pesquisador	Tipo de barragem	Tempo de ruptura	Forma da ruptura	Profundidade da brecha	Largura da brecha
Brasil (ELETROBRÁS, 2003)	Arco	Menor do que 0,1 horas	Declividade da lateral da brecha entre zero e a declividade do vale		Comprimento da crista
	Contraforte	Entre 0,1h e 0,3h	Declividade da lateral da brecha normalmente igual a zero		Múltiplos trechos
	Gravidade	Entre 0,1h e 0,3h	Declividade da lateral da brecha normalmente igual a zero		Um ou mais trechos (usualmente menor do que metade do comprimento da crista)
	Terra e enrocamento	Entre 0,1 e 1,0h (compactada) e entre 0,1h e 0,5h (não compactada)	Declividade da lateral da brecha entre 0,25 e 1		Entre 1 e 5 vezes a altura da barragem (normalmente entre 2 a 4 vezes)

Fonte: ELETROBRÁS, 2003



CONCLUSÕES

O estudo de Dam Break é etapa fundamental no desenvolvimento da segurança de barragens, vez que será o relatório técnico de embasamento para a elaboração dos Planos de Ação de Emergência (PAE), permitindo a geração dos mapas de inundação para a identificação das áreas de risco, que visam a preservação da vida, do meio e da economia do vale a jusante de empreendimentos.

Nota-se que existem várias alternativas de execução do Dam Break, sem apresentar uma padronização técnica, pois vai depender dos recursos disponíveis para tal atividade. Salientando-se apenas, a grande importância que os dados de entrada possuem, em qualquer das alternativas a serem utilizadas, garantindo a qualidade do estudo conforme a qualidade dos dados apresentados.

É fundamental a experiência do responsável técnico pelos estudos, para adotar a melhor metodologia conforme a barragem foco do trabalho. Isso evita cálculos sub e superestimados, o que pode acarretar riscos devido a defasagem calculada, ou então, proporcionar altos custos para as medidas de prevenção a um possível e hipotético acidente.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, L.S.S. (2005). **Utilização de modelagens uni e bidimensional para a propagação de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética de barragem. Estudo de caso: barragem do Rio das Pedras – MG.** Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. 2005. 203 p.
- ELETROBRÁS (2003). **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas.** Outubro de 2003. 279 p.
- FERC. Federal Energy Regulatory Commission. **Dam Safety.** Dam Breach Analysis – DRAFT, 2014.
- RAMOS, C.M. e VISEU, T. **Zoneamento territorial: critérios para aplicação dos modelos hidrodinâmicos.** SEPTEM, Madri, 1999, 16 p.
- VISEU, T. (2006). **Segurança dos Vales a jusante de barragens: metodologias de apoio à gestão do risco.** Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa. 2006. 418 p.