SIMULAÇÃO DO ROMPIMENTO HIPOTÉTICO DE BARRAGEM UTILIZANDO O SOFTWARE FLOW-3D E COMPARAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO

Mailon Roversi, Leonardo Romero Monteiro

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, *softwares* de simulação de fenômenos físicos têm se consolidado como ferramentas essenciais em diversas áreas da Engenharia. Esses recursos além de poderem verificar situações próximas às reais, também são adequadas para verificar situações hipotéticas, complementando estratégias como a utilização de modelos físicos reduzidos e possibilitando análises de maior escala de forma ágil, eficiente e detalhada (Carvalho *et al*., 2015). Entre essas ferramentas, destaca-se o FLOW-3D (Flow Science, 2026), *software* de dinâmica dos fluidos computacional fundamentado nas equações de Navier-Stokes e na equação da continuidade, possibilitando a simulação de escoamentos multifásicos.

O caso analisado foi o rompimento hipotético da Barragem do Saldo, localizada em São Francisco de Paula, no Rio Grande do Sul, utilizando o *software* projetado especificamente para modelagem hidráulica o FLOW-3D HYDRO (Versão 2025R1, Flow Science, 2025). Buscou-se representar o processo de propagação da inundação e comparou-se a mancha de inundação simulada com os dados previamente fornecidos por uma universidade parceira.

DESENVOLVIMENTO

A partir dos dados fornecidos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a partir de uma parceria de desenvolvimento científico, o primeiro passo consistiu na caracterização da barragem e do rio a jusante por meio do *software* QGIS (QGIS Development Team, 2025), permitindo analisar o Modelo Digital de Terreno (MDT) da região, além da mancha de inundação previamente obtida. Também foram fornecidos, em planilhas, dados referentes ao volume de água associado ao escoamento pela barragem, com intervalos de tempo de 30 segundos.

Em seguida, o MDT do trecho analisado foi importado para o FLOW-3D, onde foi construída a representação computacional da região para a simulação do rompimento hipotético da barragem. Para a configuração do modelo, foram necessárias algumas simplificações e adaptações geométricas. A barragem foi aproximada por um trecho em formato de anel, buscando uma representação adequada da estrutura; parte do trecho a jusante, próximo à barragem, foi preenchida para evitar problemas numéricos associados às elevadas velocidades do escoamento; regiões nas quais a mancha de inundação fornecida ultrapassava os limites do MDT disponível foram delimitadas por paredes; e o trecho correspondente ao rompimento foi representado com geometria retangular, ver Figura 1a.

Para a realização da simulação, foram utilizadas as equações da continuidade e da quantidade de movimento para o cálculo da pressão e da velocidade, com aproximação numérica em diferenças finitas de segunda ordem. O cálculo do fluxo de quantidade de movimento próximo às paredes foi realizado utilizando o tratamento de fronteira imersa denominada de FAVOR, disponível no *software*. A reconstrução da superfície livre foi realizada pelo método de células cortadas (*cut-cell*), utilizando a configuração padrão com tratamento da fração de volume com tolerância de limpeza de 0,05. Também foi adotado um passo de tempo mínimo de $1 \cdot 10^{-10}$ s, tolerância FAVOR de 0,01 e tolerâncias *gap* igual a zero (configurações necessárias para a simulação). A temperatura de referência adotada no modelo foi constante de 20°C, os resultados da simulação foram registrados em intervalos de 1 s e foram utilizadas tamanhos de células de diferentes dimensões, aumentando-se

gradativamente o tamanho da malha ao longo do domínio, com células 3 m na região próxima a barragem, para um maior nível de detalhamento, e de 10 m nas regiões mais a jusante.

Após a configuração do modelo, foi realizada a simulação do processo de rompimento e propagação da onda de inundação. A simulação foi conduzida até o instante de tempo de t = 6.000 s (100 minutos), para acompanhar a evolução temporal da área atingida foram analisados os instantes de tempo t = 1.000 s, 2.000 s, 4.000 s e 6.000 s. Para a avaliação dos resultados, foi considerado o último instante de tempo simulado t = 6.000 s, no qual a mancha de inundação obtida numericamente foi comparada com a mancha de inundação fornecida.

RESULTADOS

Os resultados permitiram acompanhar tanto a evolução temporal da mancha de inundação decorrente do rompimento hipotético da barragem, bem como quantificar a área inundada. A comparação entre os resultados simulados e os dados previamente fornecidos possibilitou avaliar a capacidade do modelo computacional em representar a propagação do escoamento e a área potencialmente atingida pela inundação.

No instante t = 6.000 s, considerando o trecho compreendido entre a crista da barragem e aproximadamente 1 km a jusante, foi obtido uma área de 382.839,985 m² para a mancha de inundação fornecida e 218.032,914 m² para a mancha simulada. A diferença entre os valores resulta em erro relativo de 43,048%, calculado em relação à área da mancha fornecida. Esse procedimento foi repetido para os demais trechos, considerando intervalos de aproximadamente 1 km, permitindo quantificar a diferença entre as áreas fornecidas e simuladas ao longo do trecho total analisado. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Na Figura 1b, é possível visualizar a evolução temporal entre a mancha de inundação fornecida e a mancha obtida na simulação para os instantes de tempo analisados. Essa comparação permite observar a evolução espacial da inundação ao longo da simulação e identificar as regiões em que os resultados numéricos apresentam maior ou menor correspondência com os dados fornecidos. A análise dos diferentes instantes também possibilita avaliar o comportamento da propagação da inundação durante o período simulado, desde os estágios iniciais até o instante final de t = 6.000 s.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do FLOW-3D possibilitou a realização de uma simulação computacional do rompimento hipotético da Barragem Salto, permitindo analisar a evolução temporal e espacial da mancha de inundação. A metodologia adotada permitiu representar as principais características da região estudada a partir dos dados fornecidos, sendo necessárias adaptações geométricas para adequar o modelo às condições de simulação.

A comparação entre a mancha de inundação simulada e a fornecida permitiu quantificar as diferenças entre os resultados e avaliar a representação da propagação do escoamento pelo modelo. A análise das áreas inundadas ao longo dos trechos avaliados fornece uma medida objetiva da correspondência entre os resultados simulados e os dados de referência. Dessa forma, o trabalho evidencia a aplicação da modelagem computacional como ferramenta de apoio à análise de rompimentos hipotéticos de barragens. Para a continuação deste trabalho tende-se a aperfeiçoar a modelagem computacional para a redução dos erros encontrados.

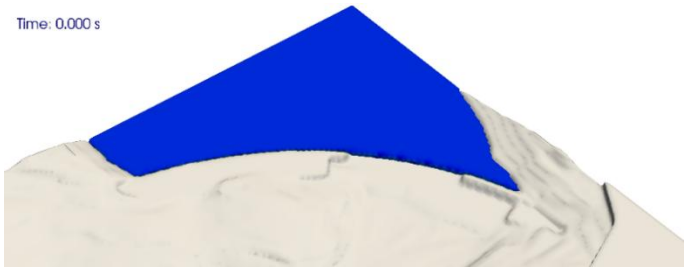
Palavras-chave: rompimento de barragem; FLOW-3D; dinâmica dos fluidos computacional; mancha de inundação; simulação numérica.

ANEXOS

Tabela 1. *Comparação entre as áreas das manchas de inundação.*

Trecho	Fornecida (m²)	Simulada (m²)	Erro (%)
1	382.839,985	218.032,914	43,048
2	151.315,351	112.728,407	25,501
3	168.779,71	122.200,529	27,598
4	240.403,559	171.530,656	28,649
5	219.316,009	86.500,656	60,559
6	247.014,79	104.151,872	57,836
7	338.954,704	247.567,881	26,961
8	125.212,197	65.025,015	48,068
9	291.283,333	191.189,57	34,363
10	475.360,127	263.235,005	44,624
11	103.919,101	62.768,211	39,599
12	100.797,466	32.964,338	67,296
13	74.007,428	12.144,737	83,590
Total	2.919.203,76	1.690.039,791	42,106

a)



b)

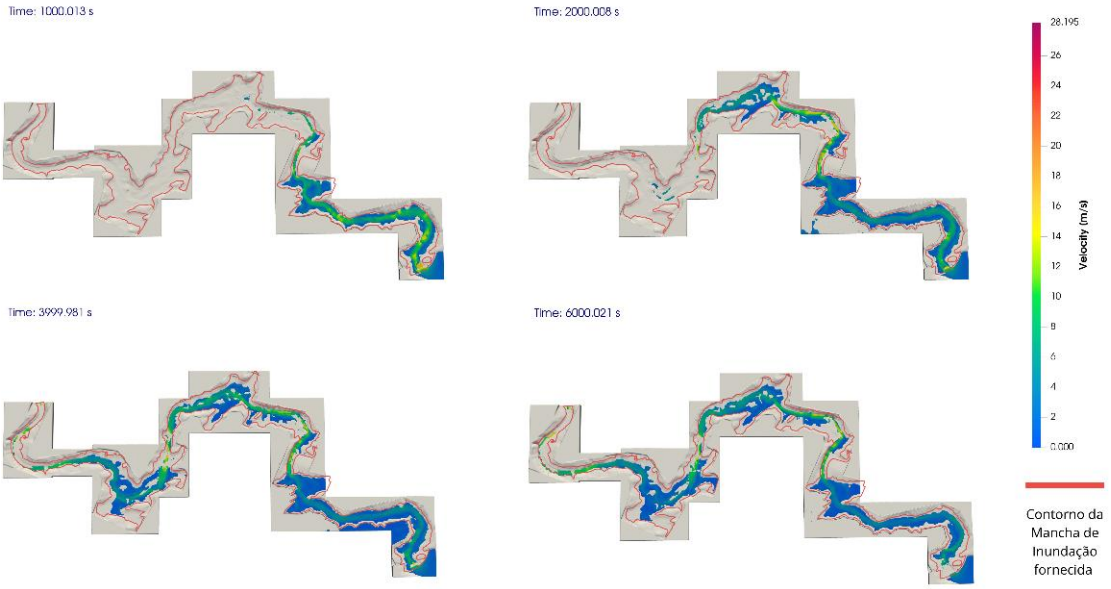


Figura 1. a) *Representação simplificada da barragem hipoteticamente rompida em t = 0 s* b) *Comparação da mancha de inundação fornecida com a simulada em t = 1.000 s, 2.000 s, 4.000 s e 6.000 s.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, N. J. S. ; NASCIMENTO, E. O. ; ALMEIDA, E. M. P. ; FIGUEIRA, K. S. ; GÒES, J. F. . **Importância da Modelagem Computacional na Engenharia**. 2015. Disponível em: https://www.ufopa.edu.br/anaisdajornada/3/resumo/97/importancia-da-modelagem-computacional-na-engenharia. Acesso em: 18 set. 2026.

FLOW SCIENCE, Inc. **FLOW-3D**. Santa Fe, NM: Flow Science, Inc., 2026. Disponível em: https://flow3d.com. Acesso em: 18 set. 2026.

FLOW SCIENCE, Inc. **FLOW-3D HYDRO** (Versão 2025R1). Santa Fe, NM: Flow Science, Inc., 2025. Disponível em: https://www.flow3d.com/products/flow-3d-hydro/. Acesso em: 18 set. 2026.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System** (Versão 3.44 LTR). Zenodo, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.15437672. Disponível em: https://qgis.org/download/. Acesso em: 18 set. 2026.