

## Análise da influência da malha computacional na simulação do rompimento de uma barragem por meio do software IBER. Estudo de caso: barragem de Barra do Braúna

*Analysis of the influence of the computational grid in the simulation of a dam failure using the IBER software. Case study: Barra do Braúna dam*

Sânzzia de Oliveira e Souza Figueira<sup>1</sup>, Thiago Jordem Pereira<sup>2</sup>, Marcos Vinícius Naves Bêdo<sup>3</sup>, Wagner Rambaldi Telles<sup>4</sup>

### RESUMO

Os problemas devido ao rompimento de barragens estão acontecendo de modo recorrente, tornando um dos temas mais discutidos na área ambiental. Desse modo, faz-se necessário análises de risco e segurança nas barragens a fim de que sejam tomadas medidas de segurança à medida que seja prevista a possibilidade de rompimentos. Sendo assim, a simulação computacional aparece como uma forma de analisar esses rompimentos com base no hidrograma de ruptura. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a influência da malha computacional na simulação da hipotética ruptura da barragem da Usina Hidrelétrica Barra do Braúna localizada no rio Pomba, no trecho envolvendo a cidade de Santo Antônio de Pádua e também, avaliar os impactos causados pela onda de cheia na referida cidade, por meio do software IBER.

**Palavras-chave:** Rompimento de Barragem. Rio Pomba. Software IBER.

### ABSTRACT

The problems due to the rupture of dams are occurring recurrently, making it one of the most discussed topics in the environmental area. Thus, it is necessary to analyze risk and safety in dams in order to measures are taken as the possibility of ruptures is foreseen. Therefore, computer simulation appears as a way to analyze these ruptures based on the rupture hydrograph. In this context, this article aims to analyze the influence of the computational grid in the simulation of the hypothetical rupture of the dam of the Barra do Brauna Hydroelectric Power Plant located on the Pomba River, in the stretch involving the city of Santo Antonio de Padua and also, to evaluate the impacts caused by the flood wave in that city, using the IBER software.

**Keywords:** Dam Failure. Pomba River. IBER Software.

<sup>1</sup> Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia.

Universidade Federal Fluminense.

E-mail: [sanzzi@id.uff.br](mailto:sanzzi@id.uff.br)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-1501-9534>

<sup>2</sup> Doutorado em Modelagem Computacional.

Universidade Federal Fluminense.

E-mail: [tjordem@id.uff.br](mailto:tjordem@id.uff.br)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-7934-028X>

<sup>3</sup> Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional.

Universidade Federal Fluminense.

E-mail: [marcosbedo@id.uff.br](mailto:marcosbedo@id.uff.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2198-4670>

<sup>4</sup> Doutorado em Modelagem Computacional.

Universidade Federal Fluminense.

E-mail: [wtelles@id.uff.br](mailto:wtelles@id.uff.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6032-3405>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um bem natural e precioso para todos os seres vivos. Sua presença não decorre somente em aspectos quantitativos, mas nos qualitativos, uma vez que há a necessidade de uma qualidade apropriada a fim de que haja a manutenção da vida. Em virtude do uso exacerbado dessa água, o homem a tem utilizado não unicamente para suprir com as suas necessidades metabólicas, porém, para outros fins, nos quais geram diversos modos de consumo e degradação (WOLKMER; PIMMEL, 2013).

Nesse sentido, Totti (2008) relata a importância da realização do gerenciamento dessas águas, principalmente nas áreas urbanas. Monte-Mor (2004), por sua vez, também diz que o mundo tem enfrentado vários desafios constantemente, onde o maior deles é o de se planejar e executar o gerenciamento dos recursos hídricos de modo adequado, a fim de que a água chegue ao alcance de toda a população, sem exceção. Em decorrência disso, no último século, muitas barragens foram construídas com o objetivo de atender a uma grande demanda de água e de energia para todos os indivíduos envolvidos.

As barragens são estruturas artificiais que apresentam como finalidade o armazenamento de água, bem como o seu abastecimento para consumo de uma população; produção da energia elétrica; controle da cheia; entre outras finalidades (MOURA, 2010). Embora apresentem um avanço em decorrência dos dados técnicos e experimentais, muitas barragens necessitam de manutenção, podendo gerar acidentes em larga escala devido ao risco estrutural e ambiental a elas proporcionado. Isso é enfatizado por Mota (2017) que explica que essas estruturas podem provocar o rompimento, deslizamento, galgamento e erosão de terras. Desse modo, Pontes (2019) relata a importância de se realizar vistorias constantemente a fim de verificar se elas apresentam danos estruturais, onde se faz necessária a presença de profissionais qualificados para que sejam analisadas medidas de reparo, como meio de se prevenir uma tragédia.

À medida que há a adequada operação de um projeto, como por exemplo, o controle de cheias, fica estabelecida a eficiência da medida estrutural, visto que a segurança de uma barragem desencadeia numa série de tarefas complexas, em virtude das diferentes barragens, bem como de legislações diversificadas existentes, conforme cada país. Para isso, faz-se necessário identificar os efeitos de ruptura e o modo como será a propagação da onda de cheia antes de compreender a maneira que uma barragem possa se romper.

Assim, há modelos matemáticos (os quais são resolvidos numericamente) e físicos que são usados, conforme cada questão proposta (MONTE-MOR, 2004).

Sendo assim, Freitas (2018) retrata que através das simulações computacionais, é possível prever a vazão de ruptura e sua brecha, segundo o tipo da barragem. Nesse sentido, para que as simulações computacionais representem de forma coerente o meio físico no qual a barragem está situada, torna-se substancial uma análise da influência da malha computacional na simulação da ruptura de tais estruturas, de maneira a investigar as consequências de tais eventos.

Diante desse contexto, nesse trabalho, foi adotado o software de simulação hidrodinâmica IBER, o qual é capaz de simular a ocorrência de eventos extremos e identificar os pontos críticos em um escoamento, por meio de uma solução numérica dada pelo Método dos Volumes Finitos, tendo como objeto de estudo a barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Barra do Braúna, localizada no estado de Minas Gerais, com intuito de analisar o rompimento hipotético da referida barragem, bem como suas consequências para a cidade de Santo Antônio de Pádua, estado do Rio de Janeiro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

A área de estudo na qual foram analisados cenários envolvendo a influência da malha computacional em uma ruptura hipotética da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Barra do Braúna está situada na região que se estende entre os limites dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, abrangendo a cidade de Santo Antônio de Pádua, dentro da bacia hidrográfica do rio Pomba, com uma área de drenagem de 8.616 km<sup>2</sup>, a qual abrange trinta e cinco municípios mineiros e três municípios fluminenses.

Mais precisamente, a Usina Hidrelétrica Barra do Braúna, objeto de estudo deste trabalho, situa-se no rio Pomba e o eixo de sua barragem localiza-se entre as cidades mineiras de Laranjal e Recreio, além de influenciar cidades fluminenses, como Santo Antônio de Pádua, Itaocara, Aperibé e Cambuci.

Em particular, o estudo tem como foco a cidade de Santo Antônio de Pádua, pois o município tem convivido, nos últimos anos, com diversos problemas decorrentes da elevação das águas do rio Pomba, provocando inúmeras enchentes as quais alagam quase todos os seus bairros, fazendo com que milhares de pessoas sejam afetadas. Ainda que

existam outros municípios na proximidade da barragem, a escolha dessa municipalidade deve-se ao fato da mesma ser a primeira cidade que se encontra a jusante da barragem e que possui o rio Pomba passando dentro de seus limites, dividindo-a ao meio.

Santo Antônio de Pádua apresenta cinco pontes localizadas na sua área urbana, ligando uma margem a outra do rio Pomba. Dentre elas, três são destinadas à passagem de veículos e duas à passagem de pedestres. Além dessas cinco pontes citadas há, ainda, uma ponte que se encontra no distrito de Paraoquena, chamada ponte Paraoquena-Campelo, que dista-se a 19,30 km da UHE Barra do Braúna. Há, também, outras duas pontes situadas no trecho do rio Pomba que compreende a represa e a cidade mencionada, mais especificamente, nos distritos de Cisneiros e Itapiruçu, respectivamente, pertencentes ao município de Palma, estado de Minas Gerais.

Para este estudo, tomou-se como base o trabalho de Daru et al. (2013), onde diversos cenários são analisados, envolvendo o rompimento hipotético da barragem da UHE Barra do Braúna, sendo consideradas, pelos referidos autores, sete dentre as oito pontes citadas ao longo do trecho entre a referida barragem e o município de Santo Antônio de Pádua, conforme descrito na Tabela 1.

**Tabela 1.** Pontes construídas sobre o rio Pomba utilizadas no estudo de Daru et al. (2013).

<b>Número da Ponte</b>	<b>Nome da Ponte</b>	<b>Distância da Barragem (km)</b>	<b>Localização (UTM WGS84 23S)</b>
Ponte 01	Cisneiros	5,974	773143,403; 7626548,468
Ponte 02	Itapiruçu	8,954	774530,326;7624890,031
Ponte 03	Paraoquena-Campelo	23,360	784268,138; 7620655,88
Ponte 04	Badih Cricalla	31,407	789371,786; 7617911,681
Ponte 05	Abel da Silva Malafaia	34,929	791782,059; 7615496,07
Ponte 06	Raul de Moraes Veiga	35,305	792016,947; 7615189,114
Ponte 07	Paulino Padilha	36,252	792395,971; 7614420,389

Neste trabalho, embora as informações trazidas na Tabela 1 inserirem a Ponte 05 (Abel da Silva Malafaia), a mesma não será levada em consideração, pois se encontra muito próxima à Ponte 06, assim como também não permite o fluxo de veículos.

## **2.2. Formulação Matemática e Solução do Problema Proposto**

A melhor maneira de entender como é realizado o processo de escoamento superficial nas bacias e rios é analisar os cenários de intervenção, bem como prever vazões, dentre outros aspectos. Esses estudos são importantes quando há a verificação dos processos de inundações e estiagens.

Assim, a propagação da vazão nos cursos d'água caracteriza-se por meio de duas equações, denominadas equações de Saint Venant, também nomeadas equações de escoamento não permanente unidimensional (FAN; PONTES; PAIVA, 2014).

Nesse sentido, as equações de Saint Venant são definidas, simultaneamente, por meio das equações da Continuidade, como representada na Eq. (1), e da Quantidade de Movimento, Eq. (2):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gAS_0 - gAS_f \quad (2)$$

em que  $x$  e  $t$  refere-se às variáveis espacial e temporal, respectivamente,  $A$  à área de fluxo total,  $Q$  à vazão,  $q$  à entrada lateral por unidade de área,  $g$  à aceleração da gravidade,  $h$  à profundidade do rio,  $S_0$  à declividade do fundo, e  $S_f$  ao atrito, sendo:

$$S_0 = - \frac{\partial z_0}{\partial x} \quad (3)$$

$$S_f = - \frac{Q|Q|n^2}{A^2R^{4/3}} \quad (4)$$

onde,  $z_0$  é a elevação do fundo do rio,  $R$  é o raio hidráulico e  $n$  o coeficiente de rugosidade de Manning.

Também, para a solução numérica, é utilizado o software IBER, que tem como base um modelo matemático dado pelas equações de Saint Venant utilizado com o objetivo de simular o fluxo em rios e regiões estuarinas. Sendo assim, na solução numérica presente nesse software, é usada a esquematização baseada no Método dos Volumes Finitos (MVF)

de forma bidimensional no domínio físico, o que permite a integração tanto do modelo digital do terreno, quanto a construção da malha de cálculo.

### 2.2.1. Obtenção dos dados da região de interesse

Para obter os dados topográficos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), bem como suas derivações locais, foi utilizado o projeto TOPODATA, o qual estabelece os dados de topografia de uma certa região, registrando a altimetria, tomando como referência o nível do mar.

Em se tratando deste trabalho, em particular, foram utilizados dados oriundos do projeto TOPODATA que englobam o trecho do rio Pomba que abrange a região que envolve a represa Barra do Braúna, bem como a cidade de Santo Antônio de Pádua, como destacada em vermelho, representada na Figura 1.



Figura 1. Região topográfica demarcada.

Fonte: Adaptado de INPE (2023).

Cabe ressaltar, que no decorrer deste trabalho, alguns ajustes foram feitos dos dados de topografia que caracterizam o leito principal do rio Pomba, uma vez que ele apresenta, a jusante da barragem, uma pequena profundidade da lâmina d'água em razão das várias pedras em seu curso.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo como base validar e ajustar o modelo desenvolvido baseando-se no software IBER, várias simulações foram realizadas com as variações dos parâmetros estabelecidos

a fim de se obter a melhor configuração da malha espacial no que se refere à aplicação do Método dos Volumes Finitos com malhas não-estruturadas composta por elementos triangulares. Para isso, foi delimitada a região de estudos que se estende desde o reservatório da UHE Barra do Braúna até o município de Santo Antônio de Pádua, representada na Figura 2.



**Figura 2.** Região de estudos, bem como a localização da barragem e cidade de Santo Antônio de Pádua.

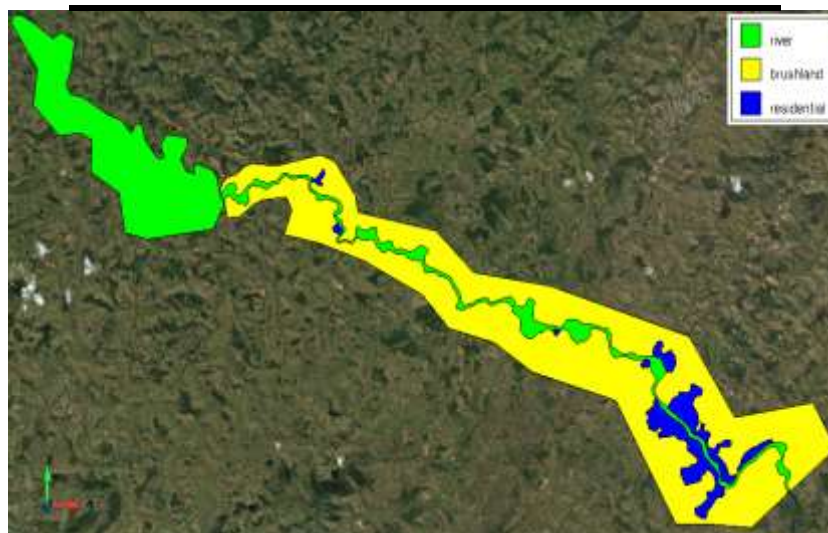
Após, foram inseridas as condições de contorno e hidrodinâmica. Uma vez que não foram levadas em consideração as condições de contorno de entrada, foi definida somente uma condição de saída localizada no contorno à jusante à cidade de Santo Antônio de Pádua, pois a intenção é de verificar a onda de cheia advinda do volume d'água presente no reservatório da UHE Barra do Braúna, inserida frente ao rompimento de sua barragem.

Ademais, em razão das características das simulações realizadas, com os dados oriundos do trabalho de Daru et al. (2013), foi adotado como condição inicial um valor de elevação do nível d'água no reservatório de 154,5 m, em relação ao nível do mar, ao passo que às outras superfícies foi atribuída profundidade em 0 m, pois em períodos de seca no rio Pomba, principalmente nessa região, há uma profundidade baixa.

Depois, as informações sobre o coeficiente de rugosidade, conforme o uso do solo na área de estudos foram inseridas, sendo considerados cinco tipos de regiões, como mostradas na Tabela 2 e representadas na Figura 3.

**Tabela 2.** Coeficientes de rugosidade de Manning usados na simulação para a região de interesse.

<b>Coefficiente de Rugosidade de Manning</b>	<b>Valores</b>
Reservatório, barragem e rio	0,025 s/m <sup>3</sup>
Planície	0,050 s/m <sup>3</sup>
Área urbanizada	0,150 s/m <sup>3</sup>



**Figura 3.** Caracterização das superfícies da região de estudos de acordo com o uso e ocupação do solo.

Após a atribuição do coeficiente de rugosidade para cada uma das superfícies da região de estudo, é necessário definir os elementos de cada superfície para, depois, construir a malha computacional. Em particular, para essa simulação base, no reservatório e planície foram utilizados elementos triangulares de tamanho 200 m. Já, no rio foram adotados elementos de tamanho igual a 100 m. Enquanto na área urbanizada e barragem, os elementos de tamanho iguais foram de 50 m e 10 m, respectivamente.

Por fim, foram inseridos todos os dados relacionados à ruptura hipotética da barragem. Através do software IBER, é possível introduzir os parâmetros de ruptura, onde uma deformação da malha é feita e com isso, há a formação da brecha, bastando estabelecer um ponto a montante e outro a jusante da barragem e, assim, fazer com que a água saia através da passagem. Desse modo, considerou-se o tempo inicial do processo um instante de tempo 0 s, bem como o instante para iniciar a formação da brecha de ruptura na barragem, enquanto a ruptura total (final) ocorreu após o início de sua formação, num dado instante de tempo de 3.600 s (1 hora), dotado de uma geometria definida com largura média de 91,5 m. Além disso, as simulações contemplam um período de 24 horas, ou seja, 86.400 s, com intervalo de tempo de 900 s para a gravação dos resultados obtidos.

#### 4.1. Variação da Malha Espacial

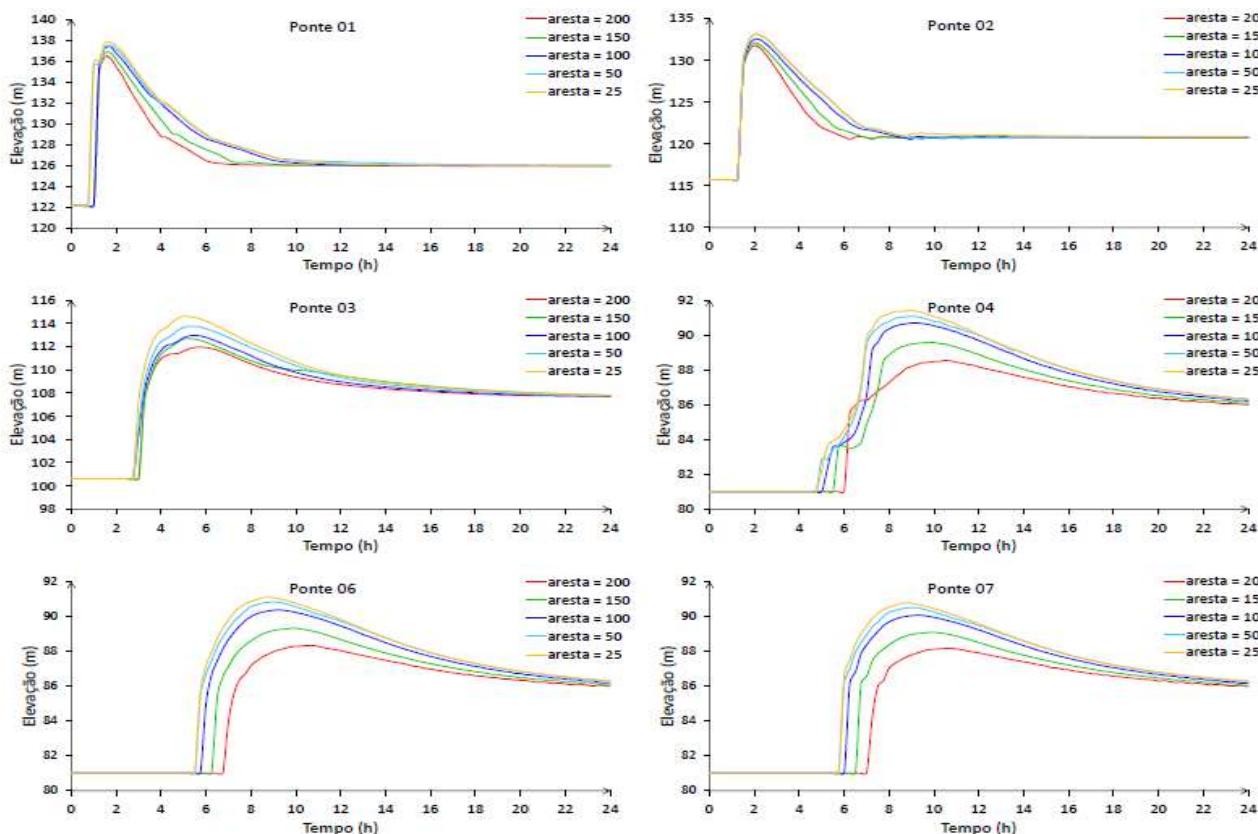


Com o objetivo de realizar investigações a fim de verificar o resultado do modelo para diferentes malhas, é possível, a partir do melhor parâmetro e da configuração de malha, atuar na calibração e validação do modelo como modo de ajustá-lo segundo dados reais e também, poder verificar sua capacidade de representar o fenômeno de interesse, bem como fazer a simulação dos eventos críticos e investigação de cenários diferentes, o que avalia-se sua capacidade de representar os impactos gerados na região urbana.

#### 4.1.1. Variação da Malha no Reservatório

Para esse cenário, foram realizadas 5 simulações, considerando elementos de malha com tamanho de 200 m, 150 m, 100 m, 50 m e 25 m. Nas outras superfícies, a malha permaneceu constante e inalterada, ou seja, planície (elementos de 200 m), rio (elementos de 100 m), área urbanizada (elementos de 50 m) e barragem (elementos de 10 m).

Na variação da malha do reservatório, verifica-se que o tempo necessário para a água decorrente do rompimento da barragem alcançar as pontes 01 e 02 na malha com volumes de tamanho 200 m, foi de, aproximadamente, uma hora a uma hora e meia. A partir da ponte 03, esse tempo aumentou à medida que a elevação diminuía. Verifica-se, também, que os resultados obtidos para os volumes de tamanho 50 m e 25 m não obtiveram variações significativas entre si, como representada na Figura 5.

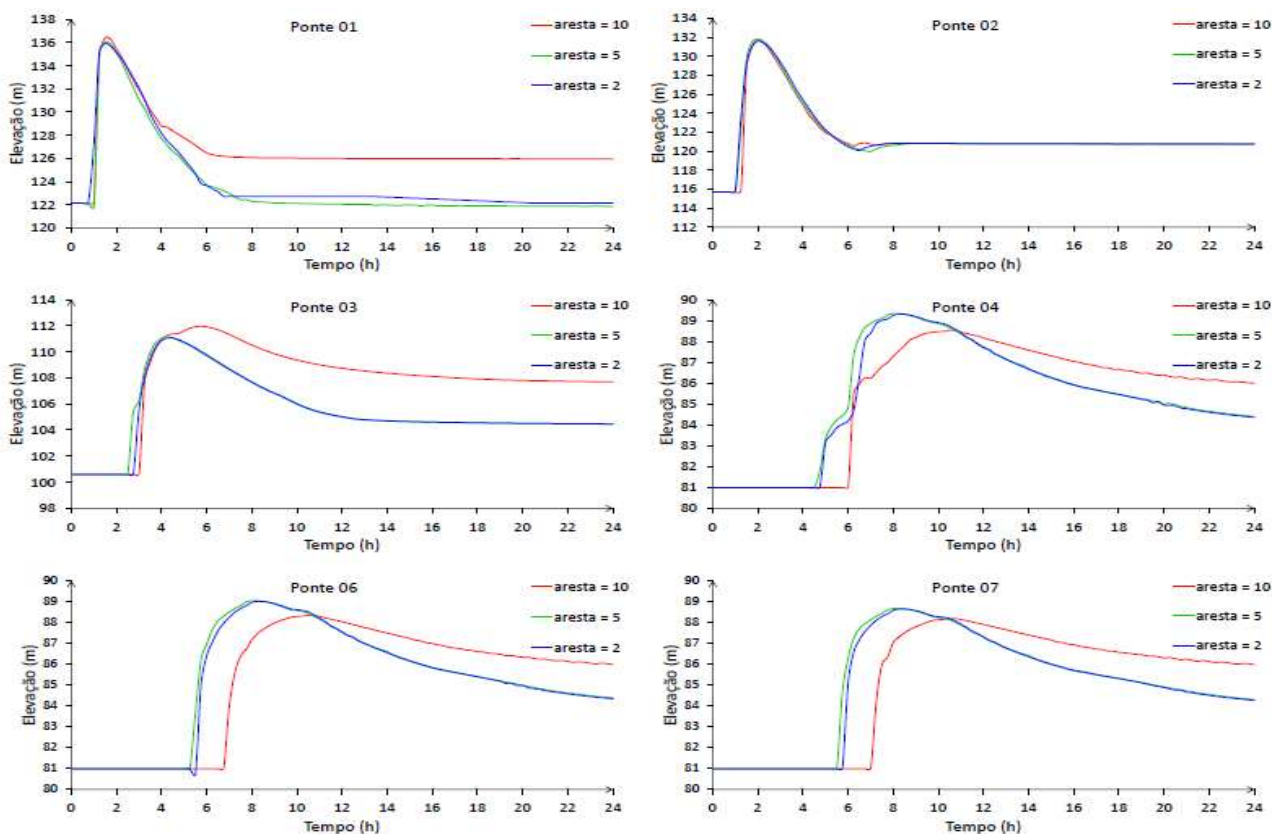


**Figura 5.** Perfis das elevações da lâmina d'água nas 6 pontes com base na variação da malha espacial no reservatório.

#### 4.1.2. Variação da Malha na Barragem

Na sequência, foi realizada a variação da malha espacial na barragem onde a mesma ocorreu no comprimento do volume triangular que representa o elemento da malha, sendo considerados os seguintes tamanhos: 10 m, 5 m e 2 m. Nas demais superfícies, a malha permaneceu constante e inalterada, ou seja, reservatório (elementos de 200 m), planície (elementos de 200 m), rio (elementos de 100 m) e área urbanizada (elementos de 50 m).

Já, na variação da malha espacial na barragem, representada na Figura 6, houve uma mudança ao comparar as pontes 01 a 07, uma vez que nas pontes 01 e 02, o tempo necessário para a chegada da água foi de, aproximadamente, uma hora a uma hora e meia. Em contrapartida, a partir da ponte 04, há uma demora na chegada da onda de cheia para a malha de tamanho 10 m, quando comparado às duas outras malhas. Ademais, os resultados utilizando a malha com volumes de tamanhos 5 m e 2 m não apresentaram variações significativas.



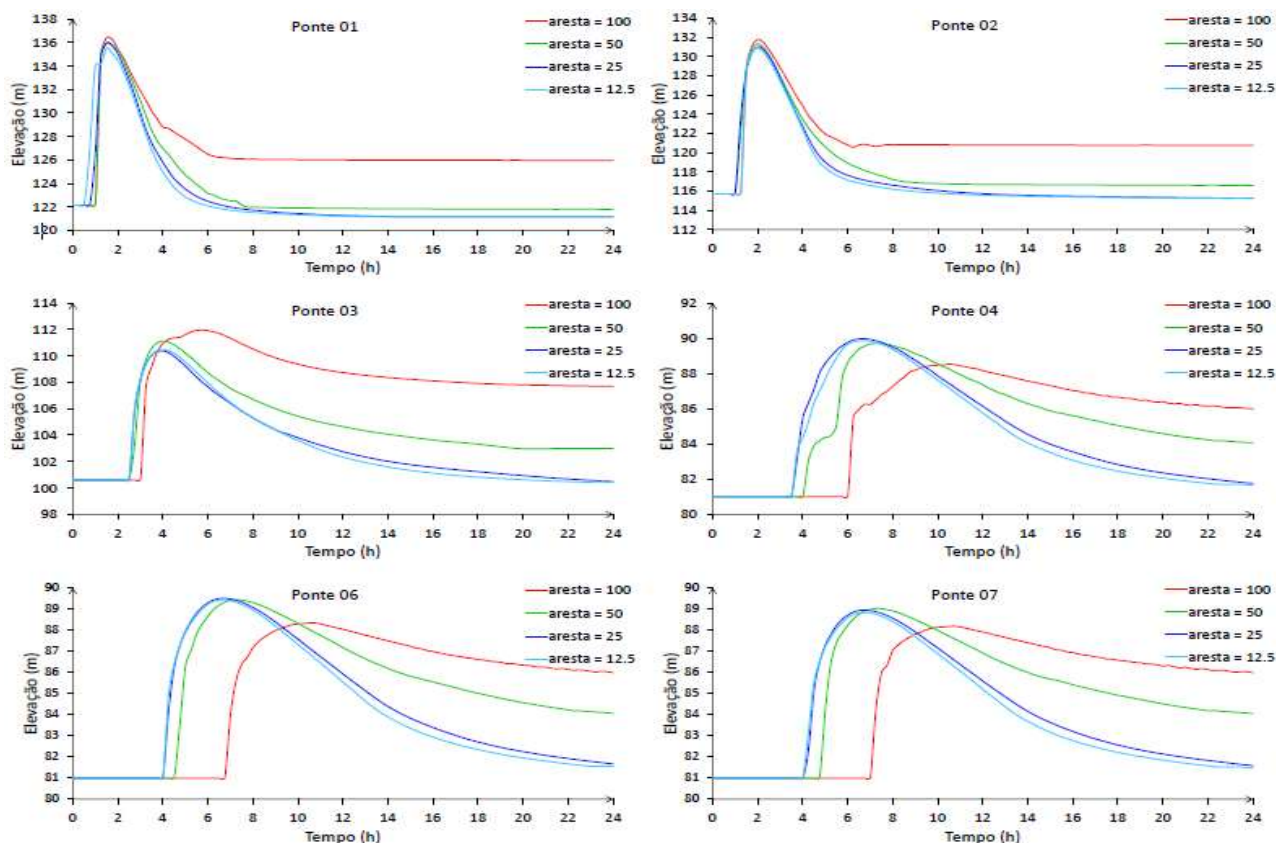
**Figura 6.** Perfis das elevações da lâmina d'água nas 6 pontes com base na variação da malha espacial na barragem.

#### 4.1.3. Variação da Malha no Rio

Na terceira etapa de investigações, foi analisada a variação da malha do rio, sendo realizadas quatro simulações com volumes de comprimento iguais a 100 m, 50 m, 25 m, e 12,5 m, respectivamente. Nas demais superfícies, a malha permaneceu constante e inalterada, ou seja, reservatório (elementos de 200 m), planície (elementos de 200 m), área urbanizada (elementos de 50 m) e barragem (elementos de 10 m).

Com base na Figura 7, é possível observar que, devido ao fato da ponte localizar-se mais perto da barragem, há pouca variação no tempo de chegada da onda de cheia gerada pelo rompimento, quando analisadas as variações dos tamanhos dos volumes e suas respectivas malhas. O mesmo caso ocorre com a ponte 02. Em contrapartida, com o refinamento da malha, o tempo real gasto pelo software para realizar a simulação aumentou em aproximadamente 1 hora. Todavia, os níveis d'água e tempo de chegada da onda não

tiveram variações consideráveis para as malhas com elementos 25 m e 12,5 m de comprimento.



**Figura 7.** Perfis das elevações da lâmina d'água nas 6 pontes com base na variação da malha espacial no rio.

#### 4.1.4. Variação da Malha na Planície

Na Variação da Malha na Planície foram realizadas quatro simulações, sendo considerados volumes triangulares de comprimento iguais a 200 m, 150 m, 100 m e 50 m, respectivamente. Nas demais superfícies, a malha permaneceu constante e inalterada, ou seja, reservatório (elementos de 200 m), rio (elementos de 100 m), área urbanizada (elementos de 50 m) e barragem (elementos de 10 m).

Assim, observa-se que, conforme mostrado na Figura 8, que a redução dos elementos da malha não gerou uma variação considerável no perfil da onda de cheia, nem no retardo do tempo de chegada da mesma nas respectivas pontes, ao levar em consideração os diferentes volumes. Isso ocorre devido a maior parte do volume de água proveniente do reservatório fluir na região onde está inserido o leito do rio.

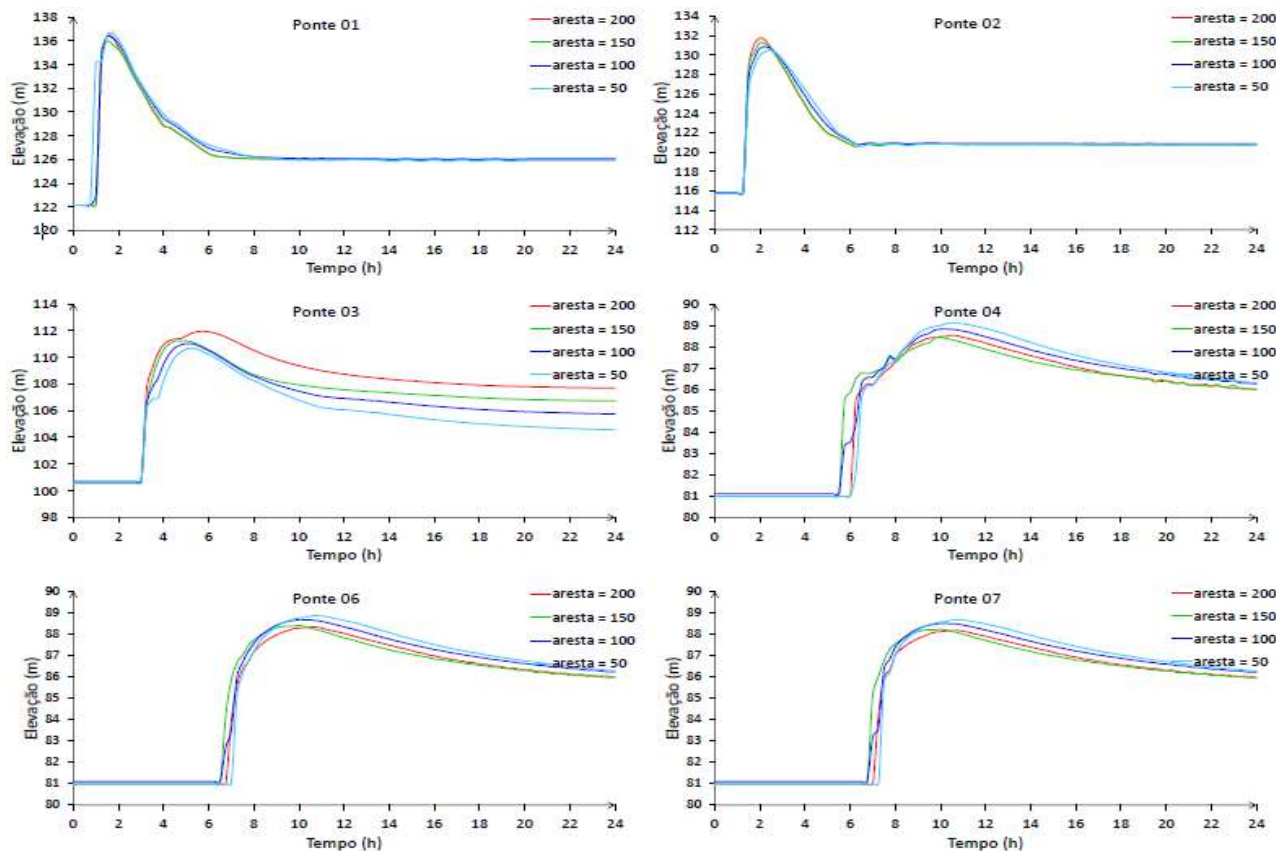


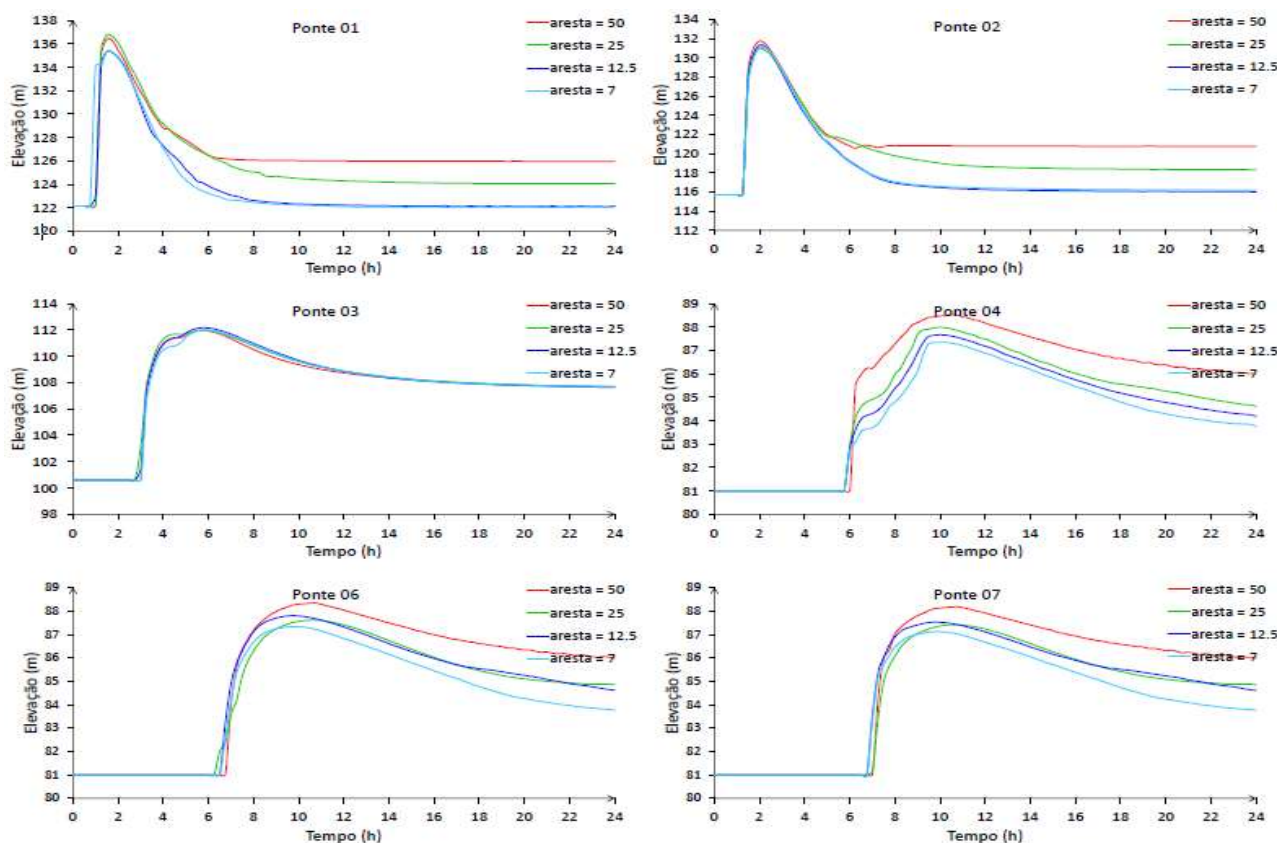
Figura 8. Perfis das elevações da lâmina d'água nas 6 pontes com base na variação da malha espacial na planície.

#### 4.1.5. Variação da Área Urbanizada

Na quinta simulação, foram considerados apenas os efeitos decorrentes da variação da malha na área urbanizada, a saber: 50 m, 25 m, 12,5 m e 7 m. Nas demais superfícies, a malha permaneceu constante e inalterada, ou seja, reservatório (elementos de 200 m), planície (elementos de 200 m), rio (elementos de 100 m) e barragem (elementos de 10 m).

É possível verificar, na Figura 9 que, assim como nas demais simulações, nas pontes 01 e 02, a água leva, aproximadamente, entre uma hora a uma hora e meia para chegar às mesmas. Da mesma forma, a maior divergência de valores no que se refere ao pico da onda de cheia, ocorre a partir da ponte 04, enquanto, no que se refere ao período descendente da onda, apenas na ponte 03 não há mudanças consideráveis.

Vale ressaltar, também, que nas seis pontes, o comportamento dos perfis da lâmina d'água oscilam para os tempo diferentes volumes adotados. Em algumas pontes, não houve uma variação considerada significativa entre os perfis para as malhas com volumes de tamanho iguais a 25 m e 12,5 m. Já, nas demais malhas com volumes de 12,5 m e 7 m, apresentaram maior estabilidade nos resultados obtidos para a elevação da lâmina d'água.



**Figura 9.** Perfis das elevações da lâmina d'água nas 6 pontes com base na variação da malha espacial na área urbanizada.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como foco modelar e investigar o problema da ruptura hipotética da UHE Barra do Braúna de maneira a analisar a influência da malha computacional, utilizado o software IBER, o qual tem como base a solução das equações de águas rasas (equações de Saint Venant) de forma numérica, usando para esse fim, o Método dos Volumes Finitos (MVF) e uma discretização do domínio espacial com malhas não-estruturadas composta por elementos triangulares.

O critério adotado para os cálculos a respeito da propagação da onda de cheia se baseou nas fronteiras a jusante da mesma, onde foi considerado um cenário de acentuada

ruptura relacionado às conseqüentes cheias ocasionadas pelo fluxo de água oriundo do reservatório.

As simulações foram responsáveis pela variação do tamanho dos elementos da malha nas superfícies que representam o reservatório, a barragem, o rio, a planície e a área urbanizada. Assim, após vários testes realizados no que se refere à variação da malha espacial, para este trabalho, entende-se que a malha a ser adotada para futuras simulações envolvendo a ruptura hipotética da barragem de Barra do Braúna deve conter a seguinte configuração para o tamanho dos elementos, de acordo com as superfícies construídas, a saber: 25 m (reservatório), 5 m (barragem), 25 m (rio), 100 m (planície) e 12,5 m (área urbanizada).

Além disso, segundo tais simulações, verificou-se que o refinamento da malha não-estruturada implicou numa maior consistência nos resultados obtidos, o que gerou uma maior estabilidade no modelo.

## AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (G. E47/2021-SEI260003/016517/2021-R210.107/2022).

## REFERÊNCIAS

DARU, R. L.; SILVEIRA, R. M.; HAINOSZ, F. S.; BURAS, M. Propagação de ondas de ruptura e plano de ações emergenciais - UHE Barra do Braúna. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-8.

FAN, F. M.; PONTES, P. R. M.; PAIVA, R. C. D. Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 9, p. 137-147, 2014.

FREITAS, F. F. **Modelagem de brecha de barragens de terra: aplicação do modelo breach no rompimento hipotético da barragem do cipó**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Topodata – banco de dados geomorfométricos do brasil**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

MONTE-MOR, R. A. **Mapeamento de áreas inundáveis associadas à ruptura de barragens - estudo de caso: barragem de ninho da águia - mg**. 2004. Dissertação

(Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

MOTA, K. R. R. M. **Rompimento hipotético e delimitação da área de inundação da barragem salto moraes em ituiutaba/mg**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MOURA, G. N. P. **A relação entre água e energia: gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das companhias de saneamento básico do brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PONTES, M. L. B. **Simulação de rompimento de bacia de rejeito de mineração no município de barcarena/pa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental & Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

TOTTI, M. E. F. T. **Gestão das águas na bacia hidrográfica do rio paraíba do sul: governança, instituição e atores**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2008.

WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N. F. Política nacional de recursos hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Revista Sequência Caxias do Sul**, v. 34, n. 67, p. 165- 198, 2013.