

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ESTIMATIVA DA ÁREA INUNDADA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE TABATINGA, MACAÍBA-RN

Maxelane Melo da Silva Júnior¹ ; Joana Darc Freire de Medeiros²

Abstract: The aim of the study was to estimate the flooded area resulting from the hypothetical collapse of the Tabatinga dam, located in the municipality of Macaíba-RN. The simplified methodology proposed by the National Water and Sanitation Agency (ANA) was used, which integrates topographic and hydrological data and geoprocessing tools in ArcGIS software. Using the Digital Elevation Model (DEM), technical data on the dam and satellite images, the flood wave propagation was simulated by calculating the maximum flow, hydraulic damping, delimiting cross-sections and calculating the maximum water level. The results indicated that the flood zone would be approximately 13 km², directly affecting the urban area of Macaíba, including neighborhoods, the shopping center and public structures such as schools and access roads. The methodology applied proved to be effective for risk analysis and emergency planning, and was notable for the simplicity and accessibility of the data required. It is concluded that the adoption of emergency plans and land-use planning based on technical criteria are fundamental to minimizing the impacts of flooding and promoting the safety of the population.

Resumo: O estudo teve como objetivo estimar a área inundada resultante do rompimento hipotético da barragem de Tabatinga, localizada no município de Macaíba-RN. Utilizou-se a metodologia simplificada proposta pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a qual integra dados topográficos, hidrológicos e ferramentas de geoprocessamento no software ArcGIS. A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), dados técnicos da barragem e imagens de satélite, foi realizada a simulação da propagação da onda de cheia por meio de cálculos de vazão máxima, amortecimento hidráulico, delimitação de seções transversais e cálculo do nível máximo da lâmina de água. Os resultados indicaram que a mancha de inundação teria aproximadamente 13 km², atingindo diretamente a zona urbana de Macaíba, incluindo bairros, o centro comercial e estruturas públicas como escolas e vias de acesso. A metodologia aplicada demonstrou ser eficaz para análise de risco e planejamento emergencial, destacando-se pela simplicidade e acessibilidade dos dados exigidos. Conclui-se que a adoção de planos de emergência e o ordenamento territorial baseado em critérios técnicos são fundamentais para minimizar os impactos de inundações e promover a segurança da população.

Palavras-Chave – mancha de inundação; SRTM; MDE; modelagem hidráulica; geoprocessamento.

1) Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN, Lagoa Nova, Natal, RN 59078-970, tel: (84) 3215-3723, maxelane.melo.083@ufrn.edu.br

2) Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN, Lagoa Nova, Natal, RN 59078-970, tel: (84) 3215-3723, joana.medeiros@ufrn.br

INTRODUÇÃO

As inundações provenientes do rompimento de barragens são consideradas eventos, dentre todos os desastres naturais do mundo, que têm grande potencial de causar danos na sua área de ocorrência. Estes eventos são consideravelmente raros, porém, provocam impactos devastadores quando ocorrem, podendo interferir em muitas esferas, como por exemplo, social e ambiental, afetando diretamente comunidades inteiras de pessoas, a fauna, a flora e até mesmo os cursos dos corpos hídricos (Balbi, 2008). No século XX, foram registrados mais de 200 acidentes graves com barragens em todo mundo, resultando na morte de mais de 8.000 pessoas e milhares de desabrigados (Balbi, 2008).

De acordo com Almeida (2001), os principais impactos que podem ser ocasionados pelo rompimento de uma barragem, são: 1. Inundação do vale a montante da barragem pelo reservatório; 2. Eventual transferência de populações; 3. Alteração do regime natural das cheias; 4. Alterações nas vazões no vale resultantes da operação das barragens; 5. Ameaça de uma eventual falha de segurança na barragem e da consequente ruptura total ou parcial da estrutura. Muitas das vezes as causas desses acontecimentos estão associadas a ações humanas ou a causas naturais, que podem ocorrer de maneira conjunta ou não, que concomitantemente irá potencializar as consequências (Mascarenhas, 1990). As principais causas de rompimento incluem falhas estruturais, negligência na manutenção, erros de projeto, excesso de chuvas (galgamento) e piping (Melo et al., 2023), indicando a fragilidade das estruturas existentes e a carência de fiscalização eficiente.

No Brasil estão listadas 160 barragens que tiveram pelo menos um ou mais acidentes e incidentes, totalizando 166 eventos, onde 40% deles foram documentados com informações técnicas detalhadas, 40% com pouca cobertura técnica e o restante (20%), têm apenas registros de natureza jornalística (Mello et al., 2021). Mello et al. (2021) também fala que o nordeste brasileiro, é uma das regiões com menor representação em relatórios técnicos, o que não necessariamente reflete uma realidade de segurança, mas sim a carência de investigações e registros sistemáticos. Pode-se citar casos recentes, como, o rompimento da barragem de Fundão (Mariana, 2015), que liberou cerca de 39,2 milhões de m³ de rejeitos, afetando o rio Doce e diversas comunidades. Outro desastre foi a barragem do Córrego do Feijão (Brumadinho, 2019), cuja ruptura resultou em mais de 270 mortes (Silva; Silva, 2020).

O impacto causado pelo rompimento de barragens no Brasil, como a ruptura das barragens Camará (PB), em 2004, e Algodões (PI), em 2009, fomentou a discussão sobre a necessidade de um ordenamento jurídico no tema e em 2010 o Brasil promulgou a Lei nº 12.334/2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Esta legislação é um marco na gestão de riscos, onde exige a elaboração de Planos de Ação de Emergência (Oliveira, 2018). Para planejar corretamente as ações emergências a serem implementadas, torna-se necessário avaliar a área de inundação e, a partir dessa informação, basear o desenvolvimento e elaboração dos PAEs.

Conforme Balbi (2008), manchas de inundação são fundamentais para prever a extensão e o impacto potencial de uma ruptura de barragem, principalmente usando como base o geoprocessamento e imagens de alta resolução, essas manchas permitem a identificação de edificações, populações vulneráveis e estruturas críticas dentro da zona de impacto. Tais dados são essenciais para o planejamento urbano, evacuação e resposta rápida em situações de emergência. Segundo Martins et al. (2021), a delimitação da mancha de inundação constitui o primeiro passo na quantificação dos prejuízos provocados por eventos de cheia, pois permite identificar quais áreas urbanas são afetadas e com qual intensidade. A elaboração da mancha depende da obtenção de dois pontos com cotas altimétricas conhecidas, situados a montante e a jusante do trecho analisado, além do uso de modelos digitais de elevação (MDE), como forma de modelar a topografia da bacia e

determinar áreas submersas. Neste sentido, o objetivo geral deste estudo é determinar a mancha de inundação ocasionada pelo rompimento hipotético de uma barragem.

MATERIAL E MÉTODOS

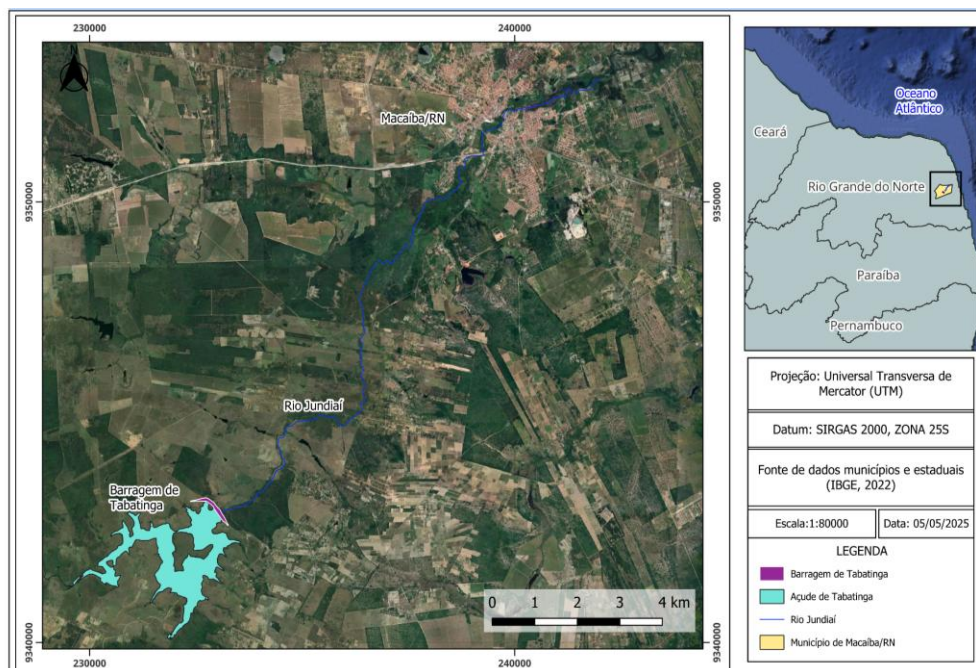
Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido na Barragem de Tabatinga (Figura 1), localizada no Município de Macaíba, integrante da região metropolitana de Natal e 5º município mais populoso do Estado (IBGE, 2022). A barragem, construída em 2009, possui uma capacidade de armazenamento de 89.835.677,53 m³ e É do tipo terra homogênea (Rio Grande do Norte, 2025).

A barragem está situada na sub-bacia do Rio Jundiá, afluente do Rio Potengi e foi construída com a principal finalidade de controle de cheias na cidade de Macaíba, sendo também utilizada para armazenamento de água. O município de Macaíba sofreu repetidamente com inundações severas, que afetaram a infraestrutura local e a economia, especialmente no centro comercial (Araújo et al., 2024; Gurgel, 2017). Os eventos de inundação ocorriam devido à combinação de fatores como precipitações intensas, marés altas que elevam o nível do rio, impermeabilização do solo urbano e ocupação irregular das margens fluviais (Guedes; Amaral, 2017). A falta de planejamento urbano contribuiu para o adensamento populacional em áreas de risco, intensificando os impactos das cheias. A construção da Barragem de Tabatinga foi uma resposta a décadas de reivindicações populares (Araújo et al., 2024).

De acordo com estudos de percepção ambiental, os moradores da área urbana de Macaíba associam a construção da Barragem à redução ou eliminação das enchentes, demonstrando alívio e satisfação com os benefícios trazidos. Muitos relataram ter vivenciado diversos eventos de alagamento antes da obra e consideram a barragem uma conquista para a segurança da cidade (Guedes; Amaral, 2017).

Figura 1 – Localização da Barragem de Tabatinga – Macaíba/RN.



Determinação da Mancha de Inundação

Para a simulação da mancha de inundação derivada do rompimento hipotético da barragem de Tabatinga, foi utilizado o método de geração de manchas para classificação de barragens quanto ao dano potencial associado (DPA) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017). O método utilizado é bem mais simples que outros, por ser necessário uma menor quantidade de dados para construir o polígono resultante, que será a “mancha” de inundação. Os dados de entrada necessários para a aplicação da metodologia incluem:

- Modelo Digital de Elevação (MDE): foi utilizado o MDE da área do SRTM obtido no acervo digital da ANA (ANA, 2017);
- Dados da Barragem: características como volume do reservatório, altura da barragem, cota do talvegue e cota de coroamento. Estes dados foram obtidos na ficha técnica da barragem (SEMARH, 2025);
- Imagens de Satélite: imagens de satélite são utilizadas como referência para a digitalização do traçado do rio e a identificação de feições na área de estudo. No presente estudo foi utilizada a imagem "World Imagery", disponível no ArcMap, que é fornecida pelo Esri Living Atlas (ANA, 2017).

A metodologia para geração de manchas de inundação é composta de várias etapas, as quais serão detalhadas a seguir:

Etapa 1: Preparação do rio. Esta etapa foca na definição e preparação da área do rio que será considerada na análise de inundação, ou seja, definirá sua extensão (D_{max}) em função do volume do reservatório (V_{max}). Utilizou-se a Equação 1, válida para volumes de reservatório entre 0 e 1000 hm³ (ANA, 2017).

$$D_{max} = 8,870 * 10^{-8} V_{max}^3 - 2,602 * 10^{-4} V_{max}^2 + 2,648 * 10^{-1} V_{max} + 6,73 \quad (1)$$

O traçado do rio será digitalizado manualmente no ArcGIS, com base nas imagens de satélite e no MDE e, na sequência, foi suavizado automaticamente para eliminar curvas acentuadas e minimizar cruzamentos entre as seções transversais.

Etapa 2: Verificação da adequação do limite determinado, analisando a ocupação e a geomorfologia do vale a jusante da barragem. Nesta etapa a extensão calculada anteriormente foi revisada e ajustada, tendo como objetivo garantir que a área de modelagem fosse representativa para os efeitos relevantes da possível inundação.

Etapa 3: Cálculo da vazão máxima associada à ruptura da barragem. Para calcular a vazão máxima (Q_{max}) que saíra da barragem a medida que a brecha de ruptura aumenta, foi utilizada a Equação 2, decorrente de trabalhos conduzidos pelo USACE - Mapping, Modeling, and Consequences Production Center – MMC, feita com base nos resultados de estudos de ruptura de 145 barragens sob a jurisdição do USACE norte americano (ANA, 2017).

$$Q_{max} = 0,0039 V_{max}^{0,8122} \quad (2)$$

Etapa 4: Obtenção da altimetria de pontos ao longo das seções transversais. Com base no MDE com resolução de 30 metros, foi realizada uma análise do perfil topográfico de cada seção transversal. A definição das seções perpendiculares foi feita de forma automática, utilizando ferramentas de criação de Hatches (Route) do ArcMap. Foram geradas 21 seções de 4.000 metros de largura. Cada seção possui 80 pontos de altimetria, são numeradas e foram ajustadas para evitar cruzamentos e garantir a representatividade do terreno.

Etapa 5: Cálculo das vazões de pico em cada uma das seções transversais ao longo do vale. À medida que a onda de rompimento se propaga para jusante, ocorre um amortecimento do hidrograma, caracterizado pela redução da vazão de pico e alargamento da onda (ANA, 201). Para reservatórios com capacidade de armazenamento superior a 6,2 hm³, como a Barragem de Tabatinga, o amortecimento da vazão é calculado pela Equação 3:

$$Q_x = Q_{max} \cdot 10^{-0,01243x} \quad (3)$$

Onde:

Q_x - vazão máxima na seção x (m³/s) ;

x - distância da barragem (km).

Etapa 6: Cálculo hidráulico. Para estimativa a capacidade de transporte e a altura da lâmina de água em cada seção transversal foi utilizada a equação de Manning-Strickler (Equação 4).

$$\frac{Q_x}{\sqrt{j}} = K_s \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (4)$$

Onde:

j - a inclinação da linha de energia;

K_s - o coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler, valor admitido de 15 m^{1/3}s⁻¹;

A - a área da seção de escoamento (m²);

R - o raio hidráulico da seção de escoamento (m).

Etapa 7: Criação da superfície envoltória da onda de ruptura. A mancha de inundação foi obtida ligando as alturas máximas da onda de ruptura calculadas em cada seção, com isto foi gerada a superfície envoltória no ArcMap.

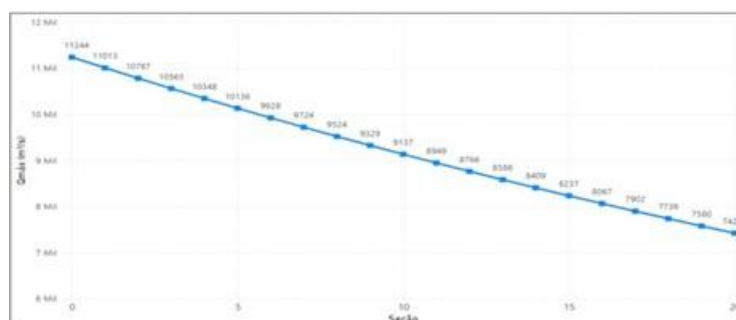
Etapa 8: Adoção de correções para adequação às condições locais. Na sequência, a mancha gerada foi ajustada manualmente para corrigir inconsistências e aumentar a verossimilhança.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vazão de Ruptura e Amortecimento da Onda de Cheia

A vazão máxima associada à ruptura da barragem foi de 11.244 m³/s. As vazões de pico de cada seção (Figura 2) mostram a diminuição das vazões ao longo de cada seção transversal, como esperado com o avanço da inundação, com uma maior diminuição no início do trecho, logo na saída da barragem e uma leve redução no amortecimento nas seções finais.

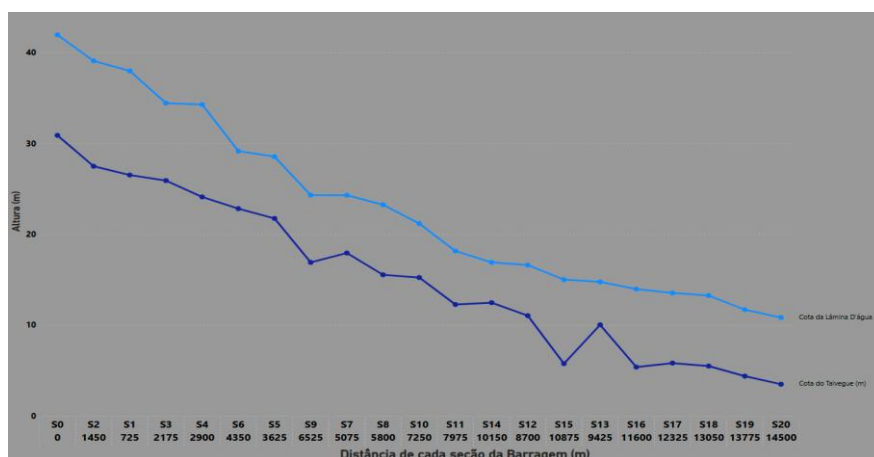
Figura 2 - Decaimento das vazões ao longo das seções.



Capacidade de Transporte e Mancha de Inundação

A partir das vazões de pico em cada seção transversal, foi possível estimar o nível máximo da onda de ruptura em cada uma das seções transversais e, com base no MDE, foram obtidas as cotas do talvegue no perfil transversal (Ntv), ou seja a cota do rio, e usando o nível de água em cada seção, foram obtidas as cotas da superfície livre de cálculo no perfil transversal (Nsl) (Figura 3).

Figura 3 - Cota da lâmina do escoamento em relação ao rio.



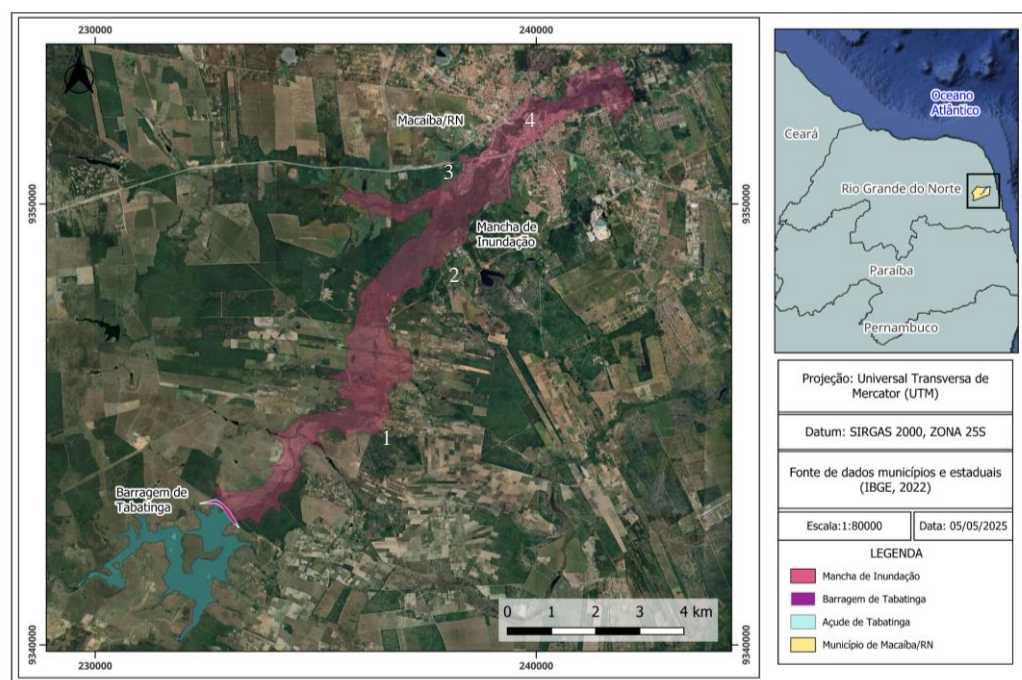
Área Inundada

A ruptura da barragem de Tabatinga geraria uma mancha de inundação com aproximadamente 13 km² e atinge diretamente a cidade de Macaíba (Figura 4). No trecho inicial, logo a jusante da parede, a inundação gerada não vai afetar áreas edificadas, onde a onda terá aproximadamente 3,3

km de caminho livre e sem população diretamente afetada. O primeiro impacto em áreas edificadas ocorre na Comunidade Riacho do Sangue, com uma altura do escoamento entre 6 e quase 7 metros. A da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ/UFRN) também seria atingida, com alturas da cheia de quase 6 metros.

Na cidade de Macaíba, o bairro Augusto Severo seria completamente inundado pelo rompimento, e um trecho de aproximadamente 1,5 km da BR-226, com nível da água de quase a 5 metros. O centro da cidade será fortemente atingido, pode-se estimar que a área inundada no centro seria em torno de 1,8 km². A altura do escoamento nessas seções varia em torno de 9 e 7 metros. Isso afetaria diversas casas, o centro comercial da cidade, atingindo lojas, mercado público, supermercados, posto de gasolina, ginásio poliesportivo e até mesmo o Solar Ferreiro Torto, que é patrimônio histórico e cultural do Rio Grande do Norte (Macaíba, 2025).

Figura 4 – Mancha de inundação gerada pelo rompimento hipotético da Barragem de Tabatinga/RN: 1- comunidade Riacho do Sangue, 2 – Escola Agrícola de Jundiá, 3 – bairro Augusto Severo, 4 – Centro.



CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que o rompimento da barragem de Tabatinga geraria uma mancha de inundação de área de aproximadamente 13 km², que afetaria diretamente a população do município de Macaíba/RN, principalmente o centro da cidade.

A metodologia da ANA para delimitação de manchas de inundação utilizando o ArcMap (ArcGIS) combina dados topográficos e hidrológicos com ferramentas de geoprocessamento para identificar e mapear áreas potencialmente alagáveis, facilita análises detalhadas para estudos de risco, segurança de barragens e planejamento urbano.

O trabalho explicitou que a adoção de planos de emergência e a efetiva aplicação do planejamento urbano são fundamentais para a redução da ocupação de áreas de risco e para a proteção da população frente a desastres naturais, como inundações e rompimentos de barragens. A delimitação de manchas de inundação e a identificação de zonas vulneráveis permitem ações

preventivas e de resposta mais eficazes. Além disso, o ordenamento territorial, quando baseado em critérios técnicos e ambientais, evita a urbanização desordenada e reduz a exposição a eventos extremos. Assim, integrar gestão de risco, legislação urbanística e conscientização social é essencial para construir cidades mais seguras e resilientes.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2017). *Geração de manchas para classificação de barragens quanto ao dano potencial associado: metodologia simplificada*. Disponível em https://www.snirh.gov.br/portal/snisb/Entenda_Mais/capacitacao/Arquivos_Cursos/treinamento-sobre-metodologia-simplificada-para-definicao-da-mancha-de-classificacao-do-dano-potencial-associado-dpa-da-baragem. Acesso em 20 de maio de 2025.

ALMEIDA, A. B. (2001). Emergência e gestão do risco. In: *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*. Lisboa: Instituto Nacional da Água (INAG), 104 p.

Natal, Nov. 2000, 1, pp. 162-176

ARAÚJO, P. V. do N. et al. (2024). *A influência da barragem Tabatinga na transformação paisagística do centro urbano de Macaíba-RN*. In: XX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. João Pessoa, Out. 2024.

BALBI, D. A. F. (2008). *Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de Caso: Barragem de Peti – MG*. 2008. 337 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BRASIL (2010). *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 21 set. 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2025). *Macaíba*. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/macaiba.html>. Acesso em: 20 maio 2025.

GUEDES, J.A.; AMARAL, V. S. (2017). *Reservatório Tabatinga: a percepção de moradores da área urbana da cidade de Macaíba - RN*. Geosul, Florianópolis, v. 32, n. 63, p. 139-158, 2017.

GURGEL, T. S. (2017). *Ocorrência de cheias no município de Macaíba no estado do Rio Grande do Norte*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MARTINS, A. M. et al. *Simulação do impacto econômico e população afetada causados por cheias urbanas na cidade de Itajubá-MG*. In: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021. Anais [...]. Brasília: ABRHidro, 2021.

MASCARENHAS, F. C. B. (1990). *Modelação Matemática de Ondas Provocadas por Ruptura de Barragens*. 291 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

MELLO, F. M. et al. (2021). *Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragens e obras anexas no Brasil*. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021. 54 p.

OLIVEIRA, L. C. S. (2018) *Simulação do rompimento de barragens na bacia hidrográfica do Banabuiú-CE*. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (2025). *Ficha técnica do reservatório Tabatinga*. Natal: Secretaria dos Recursos Hídricos - SEMARH, 2025.

SILVA, E. L.; SILVA, M. A. (2020). *Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública*. Saúde em Debate, Rio de Janeiro, v. 44, n. esp. 2, p. 242–261, jul. 2020.