



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Modelagem Hidrodinâmica na determinação de eventos extremos de vazão no baixo rio São Francisco

Anderson Nascimento do Vasco¹; Diogo dos Santos Gonçalves Bahia²; Fábio Brandão Britto³; Inajá Francisco de Sousa⁴

¹ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Departamento de Agroecologia, Instituto Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, anderson.vasco@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7031-3745> (autor correspondente)

² Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, dsgbahia@yahoo.com.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9193-2222>

³ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Departamento de Agroecologia, Instituto Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, fabio.britto@ifs.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5705-5374>

⁴ Doutor em Recursos Naturais, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE, CEP: 49100-000, inajafrancisco@academico.ufs.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6732-0963>

Artigo recebido em 16/03/2026 e aceito em 04/05/2026

RESUMO

Eventos extremos de vazão no Baixo São Francisco (BSF), frequentemente associados à operação do complexo de barragens, representam uma ameaça crescente devido à intensa ocupação das várzeas. Este estudo aplicou a modelagem hidrodinâmica unidimensional (HEC-RAS), acoplada a um Modelo Digital de Elevação (MDE) de 10 m gerado a partir de imagens ALOS PALSAR, para mapear áreas susceptíveis a inundações sob diferentes cenários de vazão (de 1.400 a 9.000 m³ s⁻¹). A análise de frequência, utilizando dados históricos de quatro estações fluviométricas, indicou a distribuição de Gumbel como a mais adequada para estimar vazões extremas, sendo a máxima de 9.107 m³ s⁻¹ associada ao período de retorno de 100 anos. Os resultados revelaram um padrão heterogêneo de vulnerabilidade ao longo do trecho estudado. Os municípios de Propriá/Telha (Área 1) destacou-se como o principal foco de risco, com inundações significativas atingindo a zona urbana consolidada para vazões acima de 5.000 m³ s⁻¹. Em contraste, as sedes urbanas de Neópolis (Área 2) e das cidades próximas à foz (Área 3) mostraram-se naturalmente mais resilientes devido à topografia elevada ou a microrelevos, com impactos restritos a infraestruturas lineares e áreas rurais. Conclui-se que a metodologia empregada é eficaz para identificar áreas de risco, fornecendo subsídios essenciais para um planejamento territorial diferenciado e ações de gestão de desastres no BSF.

Palavras-chave: Risco de Inundação; HAC-RAS; ALOS PALSAR; Áreas ribeirinhas.

Hydrodynamic Modeling in the Determination of Extreme Flow Events in the Lower São Francisco River

ABSTRACT

Extreme flow events in the Baixo São Francisco (BSF), often associated with the operation of the dam complex, pose a growing threat due to intense occupation of the floodplains. This study applied one-dimensional hydrodynamic modeling (HEC-RAS), coupled with a 10m Digital Elevation Model (DEM) generated from ALOS PALSAR images, to map areas susceptible to flooding under different flow scenarios (from 1,400 to 9,000 m³ s⁻¹). Frequency analysis, using historical data from four streamflow gauges, indicated the Gumbel distribution as the most suitable for estimating extreme flows, with a maximum flow of 9,107 m³ s⁻¹ associated with a 100-year return period. The results revealed a heterogeneous pattern of vulnerability along the studied stretch. The municipalities of Propriá/Telha (Area 1) stood out as the main risk hotspot, with significant flooding reaching the consolidated urban area for flows above 5,000 m³ s⁻¹. In contrast, the urban centers of Neópolis (Area 2) and towns near the river mouth (Area 3) showed greater natural resilience due to elevated topography or microreliefs, with impacts restricted to linear infrastructure and rural areas. It is concluded that the employed methodology is effective for identifying risk areas, providing essential inputs for differentiated territorial planning and disaster management actions in the BSF.

Keywords: *Flood Risk; HAC-RAS; ALOS PALSAR; Riverine Areas.*

Introdução

Eventos climáticos extremos, particularmente inundações, têm aumentado em frequência e intensidade nas áreas urbanas em escala global, acarretando impactos socioeconômicos cada vez mais severos (Wang et al., 2021; Rohde, 2023). No contexto brasileiro, as inundações configuram-se entre os desastres naturais mais recorrentes e danosos, gerando prejuízos significativos tanto socioeconômicos quanto ambientais (Saito et al., 2019; Vieira e Vinagre., 2022). Essa problemática é historicamente agravada no trecho do Baixo São Francisco (BSF), entre Alagoas e Sergipe, não apenas pela dinâmica natural do rio, mas, sobretudo, por profundas alterações antrópicas em seu regime fluvial (Vasco et al., 2019; França et al., 2021).

A ocupação desordenada das várzeas, áreas naturalmente sujeitas a transbordamentos, expõe de forma sistemática populações e infraestruturas a riscos. Os impactos das enchentes na bacia do São Francisco são imediatos e visíveis, resultando na destruição de habitações, comércio e vias de transporte, o que impõe um pesado ônus social e econômico a comunidades frequentemente já vulneráveis (Maillard et al., 2022). Esse cenário de risco é amplificado pela realidade urbana nacional, onde 84% da população reside em cidades, muitas vezes em ocupações não planejadas em áreas de risco (IBGE, 2023), e pela combinação entre políticas de uso do solo inadequadas e a crescente frequência de extremos climáticos.

Um fator determinante na atual configuração de risco foi a implantação do complexo de barragens no rio, culminando com a Usina Hidrelétrica (UHE) de Xingó. Este sistema promoveu uma drástica regularização fluvial que, se por um lado reduziu a frequência de cheias sazonais, por outro alterou radicalmente o fluxo natural, os processos de sedimentação e a conectividade com as planícies de inundação (Martins et al., 2011; Vasco et al., 2017).

Essa regularização do rio gerou uma falsa percepção de segurança, fomentando uma intensa expansão urbana e agropecuária em áreas anteriormente reconhecidas como inundáveis (Souza & Oliveira, 2019). Contudo, essa condição é abruptamente rompida durante eventos extremos, decorrentes de precipitações intensas na cabeceira da bacia ou da necessidade operacional de abertura das comportas da UHE Xingó, podendo resultar em impactos catastróficos em áreas agora densamente ocupadas.

Apesar da crescente ameaça, persiste uma lacuna de conhecimento robusto e atualizado sobre a real extensão e dinâmica das áreas suscetíveis a inundações no BSF sob esses cenários extremos.

A maioria dos estudos concentrou-se no regime hidrológico médio pós-barragem, carecendo de análises integradas que simulem a propagação de cheias excepcionais, combinando picos de vazão naturais com os decorrentes da operação de emergência de grandes barragens (Rocha et al., 2022).

A modelagem hidrológica e hidrodinâmica consolida-se como ferramenta crucial para superar essa lacuna, permitindo a compreensão dos processos extremos e a identificação de áreas vulneráveis, conforme demonstrado em estudos aplicados em diversas bacias (Sindhu et al., 2016; Anand et al., 2024; Abd-Elhamid et al., 2025).

Diante deste contexto, o presente estudo tem como objetivo aplicar a modelagem hidrodinâmica unidimensional, utilizando o software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), integrada a ferramentas de geoprocessamento, para determinar e mapear as áreas potencialmente inundáveis no Baixo São Francisco durante eventos extremos de vazão, com foco em cenários que envolvam a abertura das comportas da UHE Xingó. Os resultados visam fornecer subsídios técnicos para a minimização de impactos e para o planejamento de ações de contingência pelas comunidades ribeirinhas e órgãos gestores.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo focou no trecho do Baixo São Francisco (BSF), compreendido entre a barragem da UHE Xingó e a foz no Oceano Atlântico, abrangendo os municípios do estado de Sergipe. Esta região foi selecionada devido à sua histórica susceptibilidade a inundações, à intensa ocupação antrópica das várzeas e à sua dependência direta do regime de vazões controlado pelo operador do sistema (Figura 1).

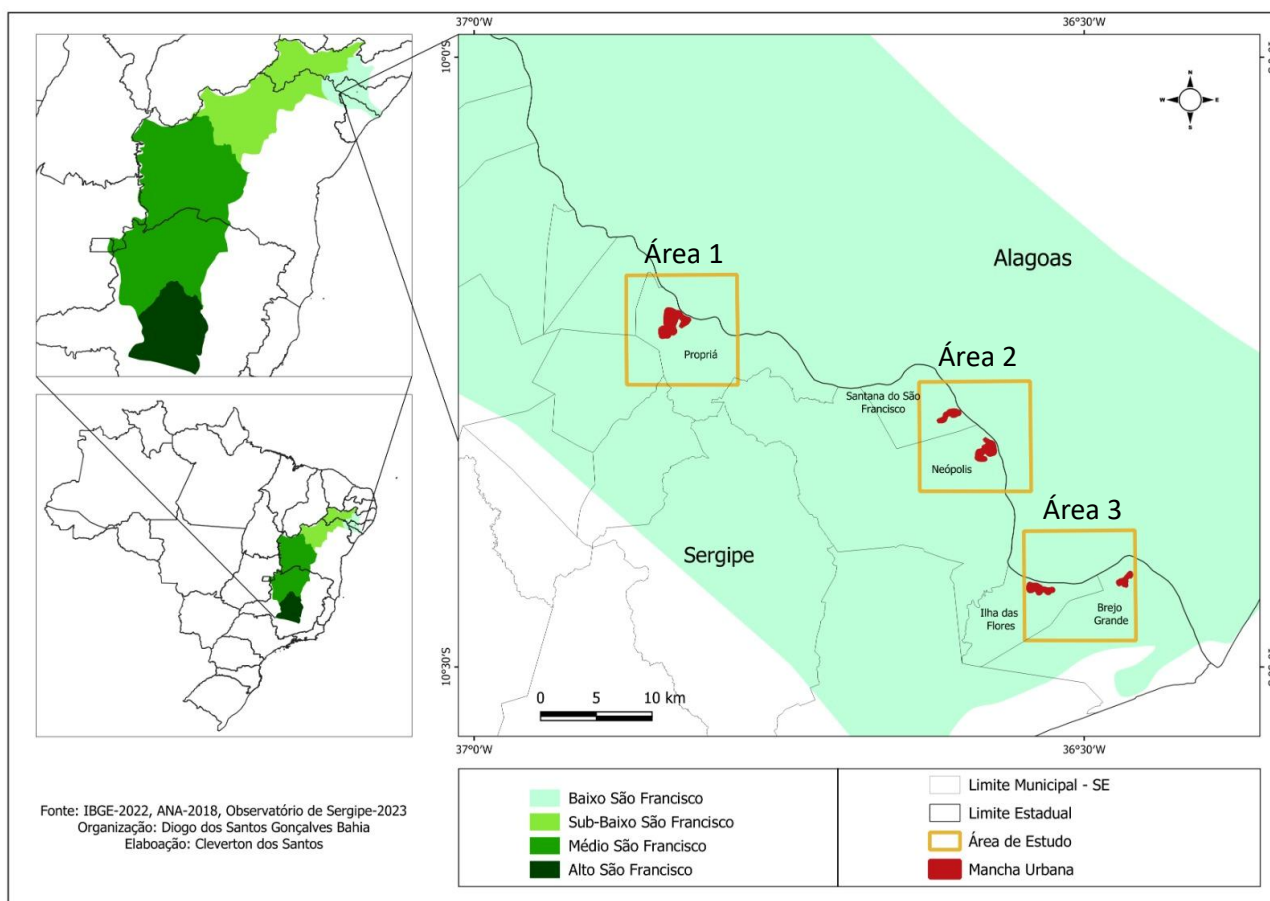


Figura 1. Localização da área de estudo com destaque para o municípios estudados.

Aquisição e Processamento de Dados Espaciais

Para a caracterização topográfica da área, foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de imagens de radar do satélite ALOS PALSAR, com resolução espacial original de 12,5 m, obtidas gratuitamente entre 2010 e 2011, diretamente do site na NASA (National Aeronautics and Space Administration) (NASA, 2020). O processamento foi realizado em Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde as cenas foram reprojetadas para o sistema UTM (SIRGAS 2000) e recortadas conforme o limite de interesse utilizando shapefiles oficiais. A resolução foi refinada para 10 m e foram aplicadas correções para tratar ruídos, como pixels sem dados (substituídos por null values e valores altimétricos negativos em áreas costeiras). Esta correção foi realizada através da ferramenta GRASSr.reclass, utilizando regras específicas e pontos de controle de marcos geodésicos para reclassificar os valores, garantindo a precisão e continuidade do modelo final, essencial para as subsequentes análises hidrodinâmicas.

Estimativa de Vazões Extremas

A definição dos eventos hidrológicos de entrada para o modelo hidrodinâmico foi baseada em análise de frequência. Utilizou-se a série histórica de vazões máximas anuais de quatro postos fluviométricos a jusante de Xingó, (Piranhas Cod 49330000, Pão de Açúcar Cod 49370000, Traipu Cod 49660000 e Propriá Cod 49705000) obtida da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023). O software SisCAH foi empregado para ajustar várias funções de distribuição de probabilidade à série histórica, incluindo Gumbel, Log-Normal II e III, Pearson III e Log-Pearson III (ISLAM & SARKAR, 2020). O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (a 95% de confiança) indicou a distribuição de Gumbel como a mais adequada para a série em questão. Foram então estimadas as vazões máximas associadas aos períodos de retorno (T) de 10, 20, 30, 50 e 100 anos, representando eventos de baixa a alta severidade.

Modelagem Hidrodinâmica com HEC-RAS

A modelagem da propagação da inundação foi realizada com o software HEC-RAS versão 5.0.7, desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers, amplamente reconhecido para simulações de fluxo em rios (Anand et al., 2024). As seguintes etapas foram realizadas, configuração do projeto no sistema métrico e ajuste de convenções regionais (separador decimal, formato de data). Utilizou-se o módulo RAS Mapper como ambiente integrado de Sistema de Informação

Geográfica (SIG) para construção do modelo (Figura 2).

A base geométrica do modelo foi estabelecida a partir de um MDE com resolução de 10,0 m. No RAS Mapper, digitalizou-se a geometria hidráulica, incluindo o eixo principal do rio, linhas de margem e seções transversais, com posterior interpolação para refinar a representação do terreno. O principal parâmetro hidráulico, o coeficiente de rugosidade de Manning, foi definido uniformemente como 0,035 para todas as seções, ajustado manualmente no editor de geometria do software. Como não houve levantamento batimétrico específico, a geometria do canal foi derivada integralmente do MDE via interpolação numérica das seções (Figura 3).

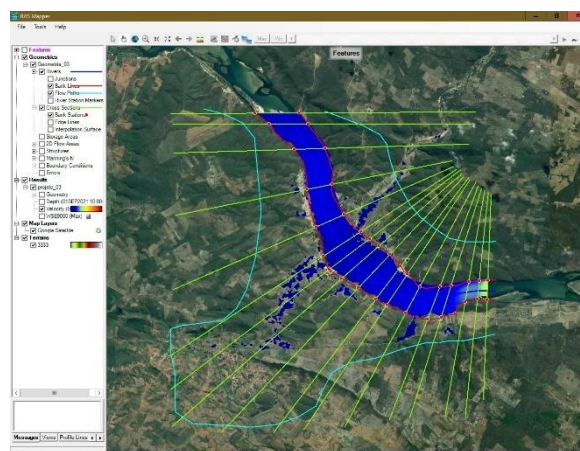


Figura 2. Seções Transversais utilizando o RAS Mapper

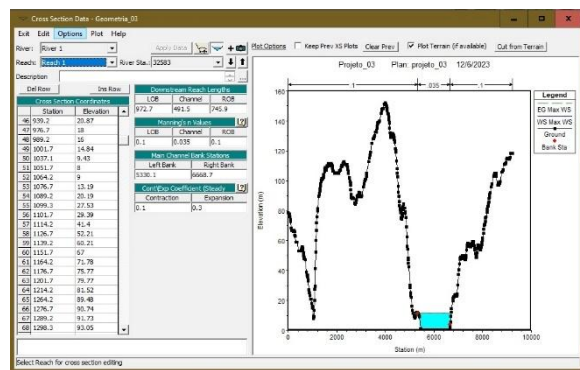


Figura 3. Dados de seção transversal

Cenários de Simulação

Para a simulação de regime não permanente, configuraram-se as condições de contorno. A montante, definiu-se um hidrograma de vazão constante de $5.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, correspondente a um evento real de liberação de água da UHE Xingó em 2022, utilizado para ajuste inicial do modelo. A jusante, adotaram-se condições análogas devido à ausência de uma curva cota-vazão específica. O plano de simulação foi então processado, gerando resultados como manchas de

inundação, perfis longitudinais e variáveis hidrodinâmicas, analisados e visualizados diretamente nas ferramentas do HEC-RAS e do

RAS Mapper, cumprindo o objetivo de espacializar as áreas de risco.

Resultados e discussões

A análise integrada dos resultados obtidos neste estudo permite uma compreensão abrangente da dinâmica de vazões extremas e do comportamento das inundações no Baixo São Francisco (BSF), elucidando tanto os processos hidrológicos e estatísticos envolvidos quanto suas concretas implicações espaciais e socioambientais.

A discussão foi construída em três eixos principais: (1) a análise do regime de vazões extremas pós-barramento e o desempenho das distribuições estatísticas; (2) a validação e o desempenho do modelo hidrodinâmico; e (3) a interpretação dos padrões de inundação e a exposição das áreas urbanas ribeirinhas.

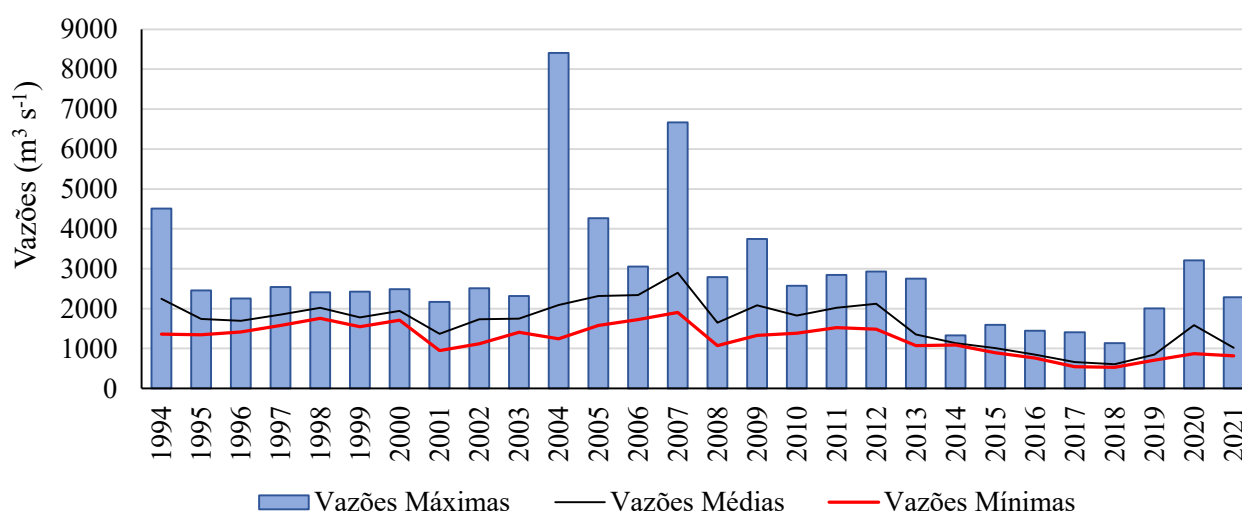


Figura 4. Valores médios das vazões para as quatro estações fluviométricas estudadas no Baixo Rio São Francisco no período de 1994 a 2021.

Regime de vazões extremas e distribuições estatísticas

A série histórica de vazões máximas anuais a jusante da UHE Xingó (1994-2022) evidencia o efeito regulador do complexo de barragens sobre o rio São Francisco (figura 4). A supressão de picos de cheia natural, com apenas dois eventos superando $6.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em quase três décadas, confirma a regularização do regime fluvial descrita na literatura (Vasco et al., 2017, Vasco et al., 2019). Apesar desse cenário, o risco não é suprimido, mas sim reconfigurado. Os eventos extremos tornam-se intrinsecamente ligados às decisões operacionais dos reservatórios, a exemplo da abertura de comportas sob forte precipitação a montante, como ocorrido em 2022. Essa dinâmica corrobora a tese de que a regularização dos rios induz a uma falsa sensação de segurança, o que estimula a ocupação das áreas de várzea (SOUZA & OLIVEIRA, 2019). Consequentemente, a vulnerabilidade dessas ocupações emerge de forma

aguda justamente diante de tais manobras operacionais de exceção.

A análise de frequência, determinada pelo SisCAH, revelou alterações importantes sobre a aplicabilidade das distribuições de probabilidade na estimativa de vazões de projeto. O desempenho distinto das distribuições Gumbel e Log-Pearson III para diferentes tempos de retorno (TR) é um resultado significativo. A superioridade da Gumbel para TRs mais longos (30, 50 e 100 anos) alinha-se com a tradição de sua aplicação em estudos de máximas anuais no Brasil (CAMPOS et al., 2014), frequentemente justificada pela assimetria positiva das séries hidrológicas. Sua simplicidade e robustez, confirmadas por estudos como o de De Souza Costa, Avelar & Beijo (2020), a tornam uma ferramenta confiável para a projeção de eventos extremos no BSF.

Por outro lado, o melhor ajuste da Log-Pearson III para TRs mais curtos (10 e 20 anos) sugere que a série de vazões máximas pós-barramento pode apresentar características estatísticas que, para eventos mais frequentes, são

melhor capturadas por uma distribuição de três parâmetros. Este resultado é semelhante a estudos internacionais, como os de Bhat et al. (2019) e Kumar (2019) em rios Indianos, que também encontraram maior confiabilidade na Log-Pearson III para análise de frequência de cheias. Essa dualidade ressalta a importância de não adotar um modelo probabilístico de forma inquestionável. A escolha deve ser guiada por testes de aderência, considerando que a alteração antrópica do regime hídrico pode modificar a natureza estatística da série temporal, um aspecto que merece investigação mais aprofundada.

O fato de as demais distribuições (Log-Normal II e III, Pearson III) não terem apresentado um ajuste competitivo, com intervalos de confiança mais amplos, indica que elas são menos adequadas para representar o comportamento dos extremos na bacia em estudo. A vazão máxima estimada de $5601,87 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $9.107,39 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para um TR de 10 e 100 anos pela distribuição de Gumbel (Estação Traipu) estabelece um parâmetro hidrológico crucial para o planejamento de obras de proteção e sistemas de alerta. É imperativo destacar que esta vazão, embora teoricamente associada a um evento longo, pode ser deflagrada por uma combinação de fatores operacionais e climáticos a qualquer momento, destacando a natureza não estacionária dos riscos em bacias intensamente reguladas.

Validação e o desempenho do modelo hidrodinâmico

A confiabilidade de qualquer modelagem hidrodinâmica está intrinsecamente ligada à sua capacidade de reproduzir eventos reais. Neste estudo, a validação do modelo HEC-RAS foi realizada in loco, utilizando a vazão de $5.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ registrada em janeiro de 2022. Conforme ilustra a Figura 5, a coordenada coletada em campo — que delimita o alcance máximo do transbordamento — coincide com o limite da mancha de inundação simulada. A alta aderência entre o nível d'água observado e o calculado evidencia que o modelo gerou resultados representativos e aderentes à realidade local. Diante do desempenho satisfatório, aliado à viabilidade de aplicação em extensas áreas de estudo, à gratuidade e à facilidade de aquisição dos dados, consolidou-se a escolha do Modelo Digital de Elevação (MDE) originado do sensor ALOS PALSAR.

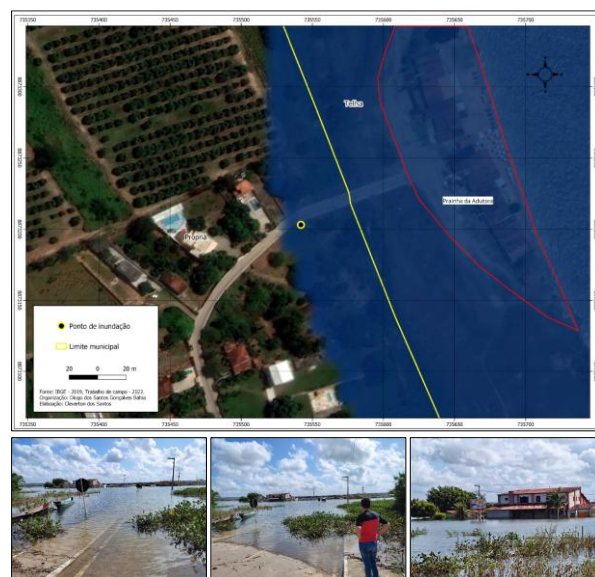


Figura 5. Comparação entre modelagem hidrodinâmica realizada e ponto limite de inundação real coletado em campo

Padrões de Inundação e Exposição das Comunidades Ribeirinhas

A análise das três áreas de estudo no BSF revela um panorama heterogêneo, porém com padrões claros, sobre a vulnerabilidade às inundações no BSF. Os resultados refutam a ocorrência de eventos catastróficos generalizados e apontam para riscos localizados e específicos, o que é, na verdade, mais valioso para um planejamento territorial eficiente.

A análise das áreas de estudo 1, 2 e 3 revela um gradiente de vulnerabilidade e padrões de inundação distintos, diretamente influenciados pela interação entre a topografia local, a ocupação do solo e a dinâmica fluvial no Baixo São Francisco. Esta discussão foca nessas três áreas para evidenciar os contrastes e os riscos específicos que cada uma apresenta.

A Área 1 destaca-se como a zona de maior risco e exposição socioeconômica identificada no estudo. A conurbação entre Propriá (alta densidade demográfica de $276,35 \text{ hab km}^{-2}$) e Telha, desenvolvida às margens do rio, materializa o cenário crítico de ocupação de planícies de inundação (Figura 6).

Para a vazão regularizada ($1.400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), o modelo não indica inundações na malha urbana, corroborando a percepção de segurança. Com $3.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (TR < 10 anos), inundações começam a aparecer em zonas rurais baixas, historicamente utilizadas para cultivo de arroz e piscicultura – usos do solo adaptados à inundação periódica, em um cenário similar ao observado por Junior, Kobiyama

& Corseuil (2023) em áreas de plantio a jusante de barragens.

O cenário de $5.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (TR ~10 anos), validado in loco durante o evento de janeiro de 2022, mostra a água invadindo áreas urbanas periféricas e locais. A completa inundação da "Prainha da Adutora" em Telha, documentada em campo, confirma a precisão do modelo e expõe a vulnerabilidade de infraestruturas de lazer e possíveis habitações em áreas rebaixadas.

No extremo de $9.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (TR 100 anos), a mancha de inundação expande-se significativamente, ameaçando uma porção considerável da área urbana consolidada de Propriá junto ao rio. A situação assemelha-se à descrita por Coelho et al. (2022) no rio Paraíba do Sul, onde áreas urbanas também sofrem recorrentemente com eventos simulados. A densidade demográfica elevada transforma aqui um evento hidrológico em um potencial desastre social e econômico concentrado.

Em nítido contraste, a Área 2 exemplifica como a topografia atua como fator primordial de resiliência. Apesar da presença de sedes municipais e povoados próximos ao rio, como Neópolis, a modelagem indica que mesmo a vazão extrema de $9.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ causa impactos mínimos nas zonas urbanizadas. As simulações mostram que as inundações se restringem a áreas não edificadas e a trechos muito próximos à margem do canal principal (figura 7).

A explicação reside na configuração topográfica "montanhosa" mencionada no texto. As comunidades históricas se estabeleceram em terraços fluviais ou colinas, naturalmente protegidos das cheias. Este é um padrão de ocupação tradicional que, mesmo não sendo um planejamento formal, respeitou os limites impostos pela dinâmica fluvial natural, anterior à regularização. Portanto, o risco principal nesta área não é para a população consolidada, mas

potencialmente para infraestruturas lineares (estradas costeiras) ou eventuais expansões urbanas que venham a descer para as cotas mais baixas.

Próxima à foz, a Área 3 apresenta um comportamento hidrodinâmico peculiar, regido por uma planície muito plana e de baixa altitude (figura 8). Conforme os resultados, esta configuração faz com que grandes extensões do território se tornem inundáveis para vazões a partir de $5.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com a inundação se tornando bastante expressiva para $9.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Contudo, e de forma crucial, as sedes municipais de Ilha das Flores e Brejo Grande mantêm-se como "ilhas" de relativa segurança em meio à mancha de inundação simulada. Isto sugere que esses núcleos urbanos se estabeleceram em micro-relevos ligeiramente mais elevados. O risco, portanto, é difuso: afeta extensas áreas rurais, pastagens, ecossistemas naturais e, sobretudo, a conectividade viária regional, com estradas sendo facilmente cortadas. O impacto é mais paisagístico e econômico (pecuária, agricultura) do que de perda massiva de habitações no curto prazo, a menos que a ocupação se expanda para as áreas planas circunvizinhas.

A análise conjunta das Áreas 1, 2 e 3 demonstra que não existe um padrão único de vulnerabilidade no Baixo São Francisco. A Área 1 demanda ações urgentes de gestão de risco: planejamento territorial restritivo, sistemas de alerta granular (por bairro) e planos de evacuação. A Área 2, por sua resiliência inerente, requer políticas de manutenção deste quadro, impedindo a ocupação das baixadas próximas ao rio. Já a Área 3 necessita de um planejamento voltado para a resiliência de infraestruturas (estradas elevadas, sistemas de drenagem) e a preservação das funções ecológicas das áreas inundáveis.

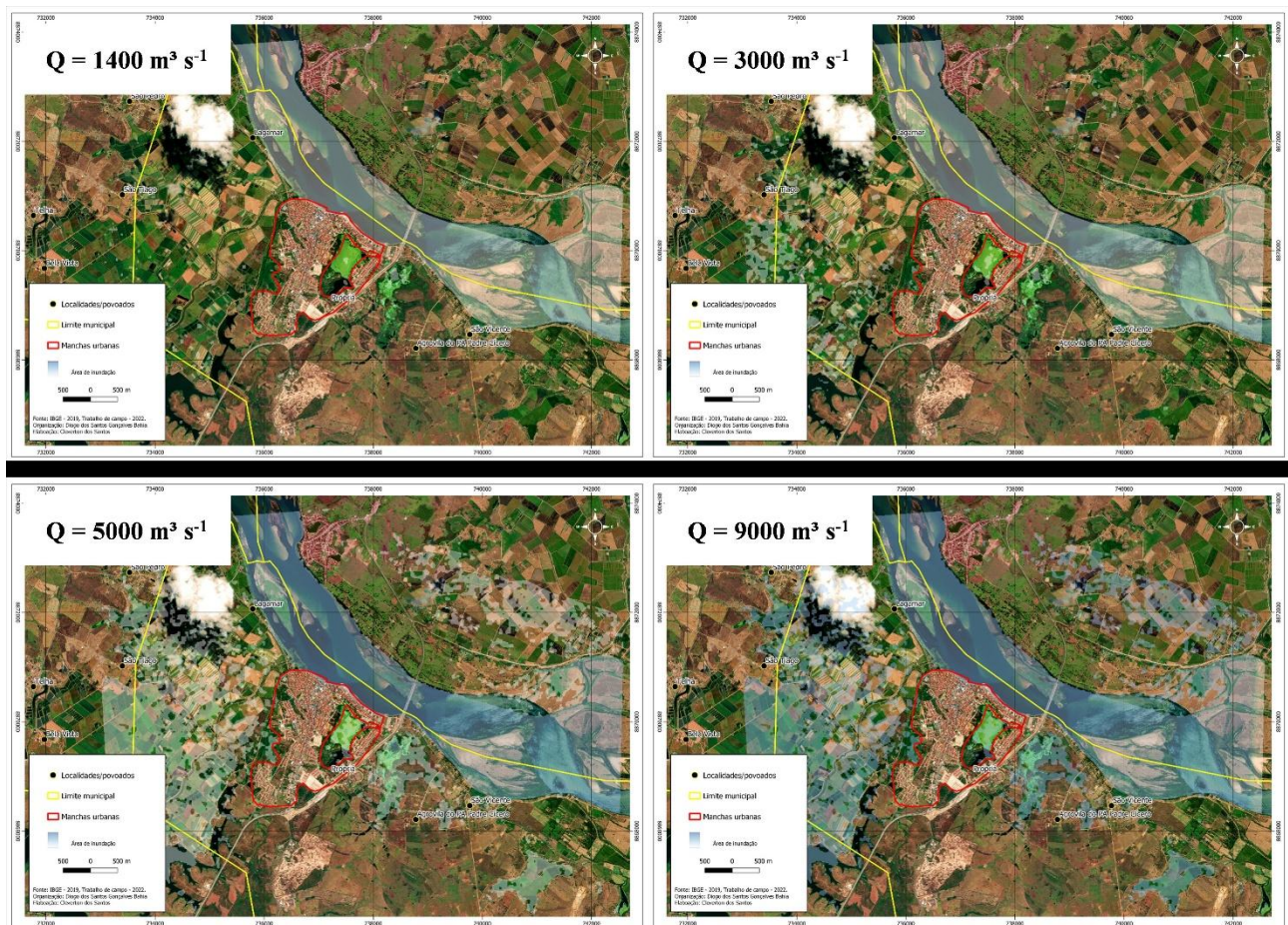


Figura 6. Manchas de inundação para a “área 1” de estudo (Município de Propriá/SE)

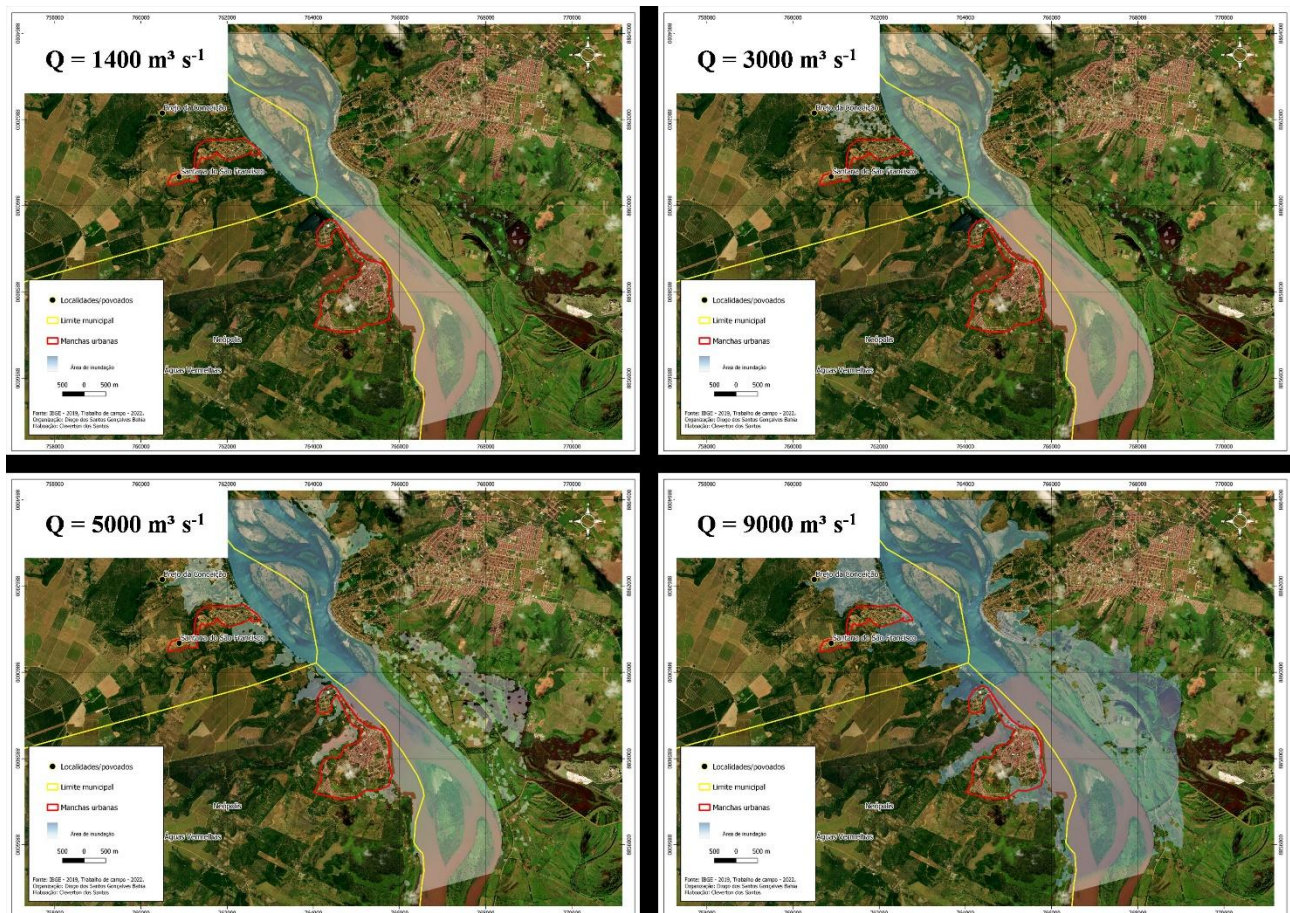


Figura 7. Manchas de inundação para a “área 2” de estudo (Municípios Neópolis).

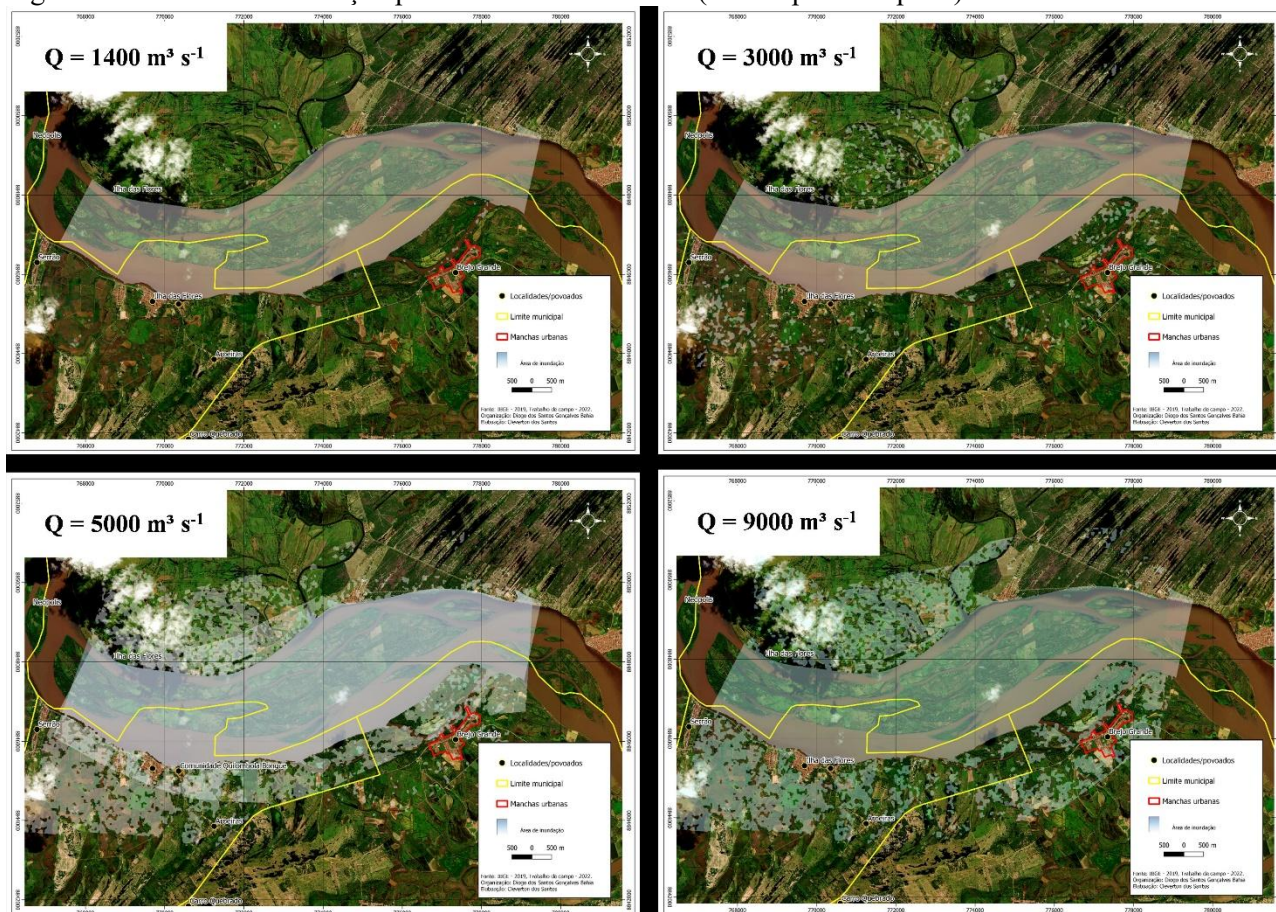


Figura 8. Manchas de inundação para a “área 3” de estudo (Município Brejo Grande).

Conclusão

1. A análise de frequência, utilizando o software SisCAH, demonstrou que a distribuição de Gumbel foi a mais adequada para estimar vazões máximas associadas a períodos de retorno longos (30 a 100 anos) na região, fornecendo parâmetros hidrológicos confiáveis para o planejamento.
2. A modelagem hidrodinâmica com o software HEC-RAS, baseada em um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de imagens gratuitas do ALOS PALSAR (12,5m), mostrou-se uma ferramenta eficaz e de baixo custo.
3. O modelo foi validado satisfatoriamente através da comparação com um evento real de inundação ocorrido em janeiro de 2022, no município de Telha (SE), onde a mancha simulada para 5.000 m³ s⁻¹ apresentou excelente aderência ao ponto
4. Os resultados do mapeamento para três áreas urbanas ribeirinhas revelaram um cenário heterogêneo de vulnerabilidade. De maneira geral, a maioria das sedes municipais apresenta baixa exposição imediata devido a fatores topográficos favoráveis (altitudes elevadas) ou distanciamento da calha principal.
5. A principal exceção e foco de risco concentrado foi identificada na Área 1 (Propriá/Telha), onde a ocupação intensiva às margens do rio a torna altamente suscetível a danos significativos em eventos de cheia, demandando ações prioritárias de gestão.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes pelo auxílio na publicação do artigo através do recurso Proap do Processo de nº: 88881.206093/2025-01

Referências

- Abd-Elhamid, H. F., Franzetti, L. A., Zelenáková, M., et al. (2025). Desenvolvimento de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos integrados para modelagem de inundações em Radiša captação na Eslováquia Ocidental usando HEC-HMS e HEC-RAS. *Natural Hazards*, 121, 22183–22209.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2023). *Hidroweb – banco de dados*. <http://hidroweb.ana.gov.br>
- Anand, J., Gosain, A. K., & Khosa, R. (2024). Hydrological and hydrodynamic modelling for flood management: A case study of the Yamuna River Basin in Delhi. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101960>
- Bhat, M. S., et al. (2019). Flood frequency analysis of river Jhelum in Kashmir basin. *Quaternary International*, 507, 288–294.
- Campos, A. R., Santos, G. G., Silva, J. B. L., Irene Filho, J., & Loura, D. S. (2014). Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. *Revista Ciência Agronômica*, 45, 488–498.
- Coelho, C. D., et al. (2022). Modelagem hidrodinâmica de áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. In *Anais do I Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica*.
- De Souza Costa, M., Avelar, F. G., & Beijo, L. A. (2020). Predição da vazão máxima do reservatório de Furnas (MG). *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, 7.
- França, B. T., Andrade, M. P., Ribeiro, C. B. M., & Hippert, H. S. (2021). Dinâmica do uso do solo e alterações na vazão na bacia do Rio São Francisco no início do século XXI. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 18. <https://www.abrhidro.org.br/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). *Projeção da população urbana*. IBGE.
- Islam, A., & Sarkar, B. (2020). Analysing flood history and simulating the nature of future floods using Gumbel method and log-Pearson type III: The case of the Mayurakshi River Basin, India. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 19, 43–69.
- Junior, F. M. A., Kobiyama, M., & Corseuil, C. W. (2023). Mapeamento de índice de risco de inundação de área a jusante de uma barragem em caso de rompimento. *Mercator*, 22.
- Kumar, R. (2019). Flood frequency analysis of the Rapti River Basin using log-Pearson type III and Gumbel extreme value-1 methods. *Journal of the Geological Society of India*, 94, 480–484.
- Maillard, P., et al. (2022). Challenges of defining the floodplain through the “mean ordinary flood line” approach using remote sensing in Brazil: A case study of the São Francisco River. *RBRH*, 27.
- Martins, D. M. F., Chagas, R. M., Melo Neto, J. O., & Mélo Júnior, A. V. (2011). Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 1054–1061.
- Monte, B. E. O., Costa, D. D., Chaves, M. B., Magalhães, L. O., & Uvo, C. B. (2016). Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis. *RBRH*, 21, 152–167.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2020). *ASF data search*. <https://search.asf.alaska.edu/>
- Rocha, L. H. S., Silva, D. F., Kayano, M. T., & Bonfim, O. E. T. (2022). Homogeneidade, eventos extremos e suas causas climáticas: Bacia hidrográfica do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 199–212.
- Rohde, M. M. (2023). Floods and droughts are intensifying globally. *Nature Water*, 1, 226–227.
- Saito, S. M., et al. (2019). População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. *Sociedade & Natureza*, 31. <https://www.scielo.br/j/sn/a/nsTDtH7Nc8pdHV6H3xhdJCR/>
- Sindhu, K., & Durga Rao, K. H. V. (2016). Hydrological and hydrodynamic modeling for flood damage mitigation in Brahmani-Baitarani River Basin, India. *Geocarto International*, 32. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1178818>
- Souza, S. O., & Oliveira, S. F. (2019). Mapeamento do uso e ocupação da terra do município de Petrolina (PE) – médio vale do Rio São Francisco através do NDVI de imagem Landsat 8 (OLI). *Revista Equador*, 8, 489–502.
- Vasco, A. N., Netto, A. D. O. A., & Silva, M. G. (2019). Influência de barragens nas condições eco-hidrológicas da bacia do Rio São Francisco, Brasil. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19, 556–565.
- Vasco, A. N., Netto, A. D. O. A., & Pruski, F. F. (2017). Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil. *Recursos Hídricos*, 38, 39–49.

Vieira, M. R. S., & Vinagre, M. V. A. (2022). Mapeamento de áreas de risco a inundações com imagens ALOS PALSAR: Estudo de caso em Belém (PA). *Acta Geográfica*, 16. <https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/6749>

Wang, J., Wah Yu, C., & Cao, S. J. (2021). Urban development in the context of extreme flood events. *Indoor and Built Environment*, 31, 3–6.