



Mapas de indução em área urbana: o caso do Córrego Neblina em Araguaína/TO

Flood maps in urban areas: the case of Córrego Neblina in Araguaína/TO

DOI: <https://doi.org/10.24979/ambiente.v19i2.1746>

Submissão: 19/02/26

Aprovação: 23/02/26

Simone Rodrigues Silva

<https://orcid.org/0000-0003-2941-8921>

Leonardo Moreira Santana

<https://orcid.org/0000-0001-5348-0659>

Adriano Frutuoso da Silva

<https://orcid.org/0009-0006-9586-8321>

ABSTRACT

This study aimed to map flood-prone areas in the city of Araguaína, Tocantins, focusing on the Neblina Stream through hydraulic simulations using the HEC-RAS software. Pluviometric and fluvimetric data were used to estimate maximum discharge and simulate different rainfall scenarios. The mapping integrated cartographic data and photographic records of the study area. Results showed that flood zones are mainly concentrated in residential and mixed-use areas, with risks ranging from low to high, affecting buildings and public roads. In some sectors, flow velocity exceeded 2 m/s, increasing the likelihood of structural collapse and drowning, especially among vulnerable groups. The generated maps identify critical areas and support the development of urban planning policies, civil defense strategies, and housing programs that avoid settlement in risk areas.

Hydraulic modeling proved to be an effective tool for preventing socioeconomic and environmental impacts caused by floods, supporting risk management and territorial planning in Araguaína, Brazil.

Keywords: Urban hydrodynamics. Socio-environmental vulnerability. Disaster management. Computational modeling. Spatial planning.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo mapear áreas de inundação na cidade de Araguaína/TO, com foco no Córrego Neblina, a partir de simulações hidráulicas no software HEC-RAS. Foram utilizados dados pluviométricos e fluviométricos para estimar a vazão máxima e simular diferentes cenários de precipitação. O mapeamento integrou informações cartográficas e registros fotográficos da área de estudo. Os resultados indicaram que as manchas de inundação concentram-se principalmente em zonas residenciais e mistas, com riscos variando de baixo a alto, afetando edificações e vias públicas. Em alguns trechos, a velocidade do escoamento ultrapassou 2 m/s, elevando o risco de colapso estrutural e de afogamento, especialmente entre grupos vulneráveis. Os mapas gerados permitem identificar áreas críticas e subsidiar políticas de planejamento urbano, ações da defesa civil e programas habitacionais que evitem a ocupação de áreas de risco. Conclui-se que a modelagem hidráulica é uma ferramenta eficaz para prevenir impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes de inundações, apoiando a gestão de riscos e o ordenamento territorial de Araguaína/TO.

Palavras-chave: Hidrodinâmica urbana. Vulnerabilidade socioambiental. Gestão de desastres. Modelagem computacional. Planejamento territorial

1 Introdução

O processo de urbanização no Brasil ocorreu, em grande parte, sem planejamento baseado em análises de risco e vulnerabilidade, resultando na ocupação de áreas suscetíveis a inundações, especialmente em regiões ribeirinhas sujeitas a eventos sazonais extremos (Mendes et al., 2022). Esses eventos impactam significativamente o ambiente urbano, tanto no aspecto socioeconômico quanto ambiental, tornando a gestão de inundações um tema central de pesquisa e de políticas de planejamento urbano (Primo; Rafaeli Neto, 2023).

No contexto das cidades médias brasileiras, a ocorrência de inundações urbanas está fortemente associada não apenas ao crescimento urbano desordenado, mas também às

características físicas do sítio urbano, especialmente relevo, declividade e organização da rede de drenagem. Em áreas implantadas sobre fundos de vale e superfícies de baixa declividade, a tendência à concentração de escoamento superficial e à formação de zonas naturalmente inundáveis é potencializada, sobretudo quando há supressão de vegetação ciliar e impermeabilização progressiva do solo. Esse tipo de configuração geomorfológica é recorrente em diversas cidades médias do interior do Brasil, particularmente na região Norte, onde a expansão urbana frequentemente ocorre ao longo de cursos d'água de pequeno e médio porte.

Araguaína/TO insere-se nesse contexto físico-territorial. O sítio urbano do município é marcado por relevo suavemente ondulado, com extensas áreas de baixa declividade associadas aos vales fluviais, entre os quais se destaca a bacia do Córrego Neblina, que atravessa setores densamente urbanizados da cidade. Nessas áreas, as cheias recorrentes do Córrego Neblina representam uma das principais ameaças socioambientais. Segundo registros da Prefeitura de Araguaína (2015), dezenas de famílias foram atingidas por enxurradas que invadiram residências nos setores Monte Sinai e Itapuã, provocando danos materiais e desalojamentos temporários.

Cotrim (2017) reportou o transbordamento do Córrego Neblina, que resultou na inundação de casas e na interdição de vias urbanas, gerando transtornos à população local. Esses eventos se relacionam diretamente ao processo de urbanização desordenada nas margens do córrego, marcado pela ocupação irregular e pela ausência de infraestrutura adequada de drenagem, conforme analisado por Brito et al. (2014), que destacam a intensificação dos problemas ambientais e sociais na região em decorrência da pressão antrópica sobre áreas de preservação. Além disso, Mendes e Zukowski Junior (2019) caracterizaram o regime pluviométrico do município de Araguaína, destacando a concentração sazonal das chuvas como fator determinante para a recorrência desses episódios de inundação.

No cenário internacional, pesquisas recentes demonstram a relevância da modelagem hidráulica para análise de eventos extremos em áreas urbanas, como no caso de Douala (Camarões), onde inundações em 2020 foram analisadas por meio de simulação bidimensional no software HEC-RAS (Iroume et al., 2022). De forma semelhante, trabalhos realizados no Brasil reforçam o uso do HEC-RAS associado a dados de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento como instrumento eficaz para o mapeamento de riscos (Mantovani et al., 2024; Cruz et al., 2023).

Essas experiências internacionais evidenciam o avanço das metodologias de modelagem hidrodinâmica e sua importância para o entendimento dos impactos de eventos extremos em áreas urbanas. No entanto, também reforçam a necessidade de estudos locais, capazes de adaptar e validar esses modelos em realidades socioambientais específicas, como a de Araguaína, inserida no contexto da Amazônia Legal. Nesse sentido, a investigação aqui proposta contribui para ampliar a compreensão sobre a aplicabilidade dessas abordagens em cidades médias brasileiras, caracterizadas por crescimento urbano acelerado e infraestrutura limitada de drenagem.

A vulnerabilidade, entendida como a suscetibilidade de indivíduos e estruturas diante de determinados eventos, e o risco, definido como a probabilidade de que eventos danosos atinjam áreas vulneráveis, são conceitos-chave para compreender a magnitude dos impactos das inundações (Zainal; Abu Talib, 2024; Costabile et al., 2021). Os mapas de risco, ao integrarem informações hidrológicas, hidráulicas e socioespaciais, constituem ferramentas estratégicas para a prevenção de danos socioeconômicos e ambientais (Mendes et al., 2022). Abordagens recentes destacam ainda a importância de soluções baseadas na natureza e da integração de perspectivas socioambientais para reduzir impactos e aumentar a resiliência urbana (Zhou et al., 2024).

Apesar dos avanços na literatura sobre inundações urbanas, observa-se uma lacuna de estudos aplicados a cidades médias do estado do Tocantins, como Araguaína. Nesse sentido, a presente pesquisa busca preencher essa lacuna por meio da aplicação do modelo HEC-RAS, de modo a gerar cenários de precipitação, identificar manchas de inundação e delimitar áreas críticas. Diante desse contexto, este estudo se orienta pelas seguintes questões de pesquisa: quais áreas urbanas de Araguaína/TO são mais vulneráveis às inundações do Córrego Neblina? Como diferentes cenários de precipitação impactam a extensão das manchas de inundação e a velocidade do escoamento? Em que medida os mapas gerados podem subsidiar políticas públicas de planejamento urbano e ações da defesa civil?

O objetivo geral é mapear as áreas de inundação na área urbana de Araguaína/TO, com ênfase no Córrego Neblina. Especificamente, pretende-se delimitar as manchas de inundação sob cenários de diferentes intensidades de chuva, estimar profundidades e velocidades de escoamento nas zonas críticas, relacionar os padrões de risco ao uso e ocupação do solo e fornecer subsídios técnicos ao planejamento urbano e à gestão de riscos no município.

2 Metodologia

O estudo foi desenvolvido com o objetivo de mapear áreas de inundação na região do Córrego Neblina, localizada na cidade de Araguaína/TO, considerando a relevância econômica da cidade e os riscos potenciais decorrentes de eventos de precipitação intensa. A área de estudo compreende a bacia do Rio Lontra, a montante da CGH Corujão, com área drenante de 45.777,09 ha, caracterizada por diferentes usos e ocupações do solo, como áreas urbanizadas, vegetação nativa e corpos d'água. A área encontra-se inserida no perímetro urbano regulamentado pela Lei Complementar nº 051, de 02 de outubro de 2017 (Plano Diretor de Araguaína), que define zonas residenciais, mistas e especiais de uso e ocupação do solo. Para a caracterização espacial foram utilizadas informações cartográficas fornecidas pela Secretaria Municipal de Planejamento e Habitação, em formato DXF, contemplando hidrografia, curvas de nível e perímetro urbano, complementadas com registros fotográficos coletados in loco.

Para fins de análise espacial e sistematização dos impactos das inundações, a área de estudo foi subdividida em trechos denominados “articulações”, que correspondem a setores específicos ao longo do vale do Córrego Neblina. Essas articulações coincidem com os quadros destacados nos mapas (retângulos vermelhos apresentados nas Figuras 2 a 6) e representam as unidades espaciais de referência utilizadas para a quantificação das áreas inundadas e dos impactos sobre edificações, vias públicas e demais elementos da infraestrutura urbana.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado como base topográfica foi obtido a partir da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 30 m. A escolha desse produto se deveu à sua ampla utilização em estudos hidrológicos e hidráulicos em bacias de médio porte, à sua disponibilidade gratuita e à inexistência de dados altimétricos de maior resolução espacial (como LiDAR) para a área de estudo. Reconhece-se que, para áreas urbanas, essa resolução impõe limitações na representação de microformas do relevo e de elementos antrópicos, o que pode introduzir incertezas na delimitação fina das manchas de inundação. No entanto, considerando a escala da bacia analisada e o objetivo do trabalho de identificar padrões espaciais de inundação e zonas críticas em nível urbano, o SRTM mostra-se adequado e compatível com a abordagem adotada, conforme demonstrado em estudos semelhantes (Huțanu et al., 2020; Bruno et al., 2022; Xu et al., 2023). As curvas de nível fornecidas pela Secretaria Municipal de Planejamento foram utilizadas

como referência para verificação de coerência altimétrica e apoio à interpretação geomorfológica do terreno.

As séries históricas de precipitação e vazão foram obtidas junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), considerando três estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Lontra: PCH Lajeado Ribeirão Lontra, PCH Lajes Corujão Jusante e Ponte Rio Lontra. Os dados, com cobertura de aproximadamente 30 anos, possibilitaram o cálculo da vazão máxima, a análise de hidrogramas e curvas de permanência, além da regionalização da contribuição específica da bacia.

A vazão de cheia foi estimada por meio do método I-Pai Wu, cuja formulação representa um aprimoramento do método racional clássico, ao incorporar efeitos de armazenamento da bacia e de distribuição espacial da precipitação. A escolha desse método deve-se às características da bacia, de porte médio e com urbanização heterogênea, e à necessidade de empregar uma abordagem sintética compatível com a disponibilidade e a consistência dos dados históricos, evitando incertezas associadas à aplicação direta de métodos estatísticos de análise de extremos. O método é expresso por:

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A^{0,9} \cdot K \quad (1)$$

Em que Q é a vazão máxima (m³/s), C o coeficiente de escoamento, I a intensidade da precipitação (mm/h), A a área da bacia (km²) e K o coeficiente de distribuição espacial da chuva.

O coeficiente de escoamento (C = 0,5) foi adotado com base em valores médios para áreas urbanas parcialmente impermeabilizadas, conforme Telles e Barbosa (2018) e Costabile et al. (2021). Considerou-se como evento de referência uma precipitação de pico de 137,8 mm, registrada em 25/04/1997, com duração de 2 h e tempo de retorno de 100 anos, resultando em vazão máxima estimada de 168,36 m³/s, posteriormente adotada como 170 m³/s nas simulações hidráulicas.

A modelagem hidráulica foi realizada no HEC-RAS versão 6.3, desenvolvida pelo Hydrologic Engineering Center (USACE, 2021), adotando simulações unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D) em regime permanente e variável. A escolha do modelo 2D deve-se à sua capacidade de representar com maior precisão a distribuição espacial da lâmina d'água e da velocidade de escoamento, capturando a heterogeneidade típica das áreas urbanas. Diferentemente dos modelos 1D, o HEC-RAS

2D permite análises contínuas do escoamento superficial e integração direta com sistemas GIS, o que amplia a precisão cartográfica e a utilidade dos resultados para a gestão territorial. Como condição de contorno a montante foi imposta a vazão de projeto estimada pelo método I-Pai Wu, enquanto a jusante foi adotada condição de nível normal, definida a partir da declividade média do trecho final do canal.

A parametrização do escoamento considerou coeficientes de Manning específicos para diferentes tipos de cobertura do solo, incluindo leito do rio, áreas urbanizadas, vegetação e solos expostos, adotando-se, respectivamente, valores da ordem de 0,030–0,035 para o leito natural, 0,020–0,030 para áreas urbanizadas, 0,035–0,045 para áreas com vegetação densa e 0,025–0,035 para solos expostos ou com vegetação rala, conforme Costabile et al. (2021) e Bruno et al. (2022). As seções transversais do canal e as dimensões de pontes foram levantadas in loco (comprimento, largura e altura do tabuleiro) e inseridas no modelo, assegurando consistência nos cálculos hidráulicos. A escolha desses coeficientes baseou-se em Costabile et al. (2021) e Bruno et al. (2022). Reconhece-se que a rugosidade constitui um dos parâmetros de maior sensibilidade na modelagem hidráulica, influenciando diretamente os níveis d'água e as velocidades simuladas.

A calibração do modelo foi conduzida por meio da comparação espacial entre as manchas simuladas e registros fotográficos de eventos anteriores (2015 e 2017), além de relatos técnicos e de moradores, buscando-se ajustar principalmente os coeficientes de rugosidade e os parâmetros hidráulicos de modo a obter maior compatibilidade entre as áreas simuladas e observadas. A validação seguiu o critério de sobreposição espacial das manchas de inundação, admitindo variação inferior a 10% entre as áreas modeladas e observadas, conforme metodologia proposta por Huțanu et al. (2020).

Para a geração dos mapas de inundação foi adotado o intervalo de profundidade de 0 a 1,5 m, compatível com critérios de risco utilizados na literatura (Lei et al., 2021; Rodríguez et al., 2024) e corroborado por relatos de moradores sobre eventos passados. Profundidades superiores a esse limite foram consideradas críticas, pois representam cenários de elevado risco de colapso estrutural e afogamento. O risco hidrodinâmico foi avaliado a partir da combinação entre profundidade (H) e velocidade do fluxo (V) em m^2/s . Valores superiores a 2 m/s e $H \times V > 7 m^2/s$ indicam potencial

colapso de edificações, enquanto velocidades acima de 1,5 m/s aumentam significativamente o risco de afogamento, critérios adotados conforme Lei et al. (2021) e Costabile et al. (2021).

A elaboração dos mapas das manchas de inundação foi realizada no ArcGIS 10.8, destacando áreas residenciais, comerciais, mistas e de preservação ambiental, além dos impactos sobre vias públicas, calçadas e áreas pavimentadas. Essa abordagem metodológica integrativa ao combinar dados hidrológicos, modelagem hidráulica 2D e análise espacial em ambiente GIS buscou assegurar maior confiabilidade na identificação de zonas de risco, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento urbano e a mitigação de desastres em Araguaína/TO.

3 Resultados e discussão

O estudo da bacia do Rio Lontra e do Córrego Neblina permitiu mapear o uso e ocupação do solo e estimar o risco de inundação em diferentes áreas urbanas. A área de contribuição da Bacia do Rio Lontra a montante da CGH Corujão possui 45.777,09 ha, que influencia diretamente a vazão máxima do reservatório e sua cota máxima. Conforme apresentado na Tabela 1, a área é composta por corpos d'água, ocupação urbana, vegetação densa, cerrado ralo e áreas suprimidas, o que indica que grande parte do território apresenta cobertura natural, reduzindo a impermeabilização do solo, embora haja regiões urbanizadas que concentram o escoamento superficial.

Tabela 1: Uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Lontra.

OCUPAÇÃO	ÁREA (HA)
Lago	215,978
Ocupação Urbana	477,188
Vegetação densa	6.830,241
Cerrado Ralo	9.621,951

Fonte: Autores, 2020.

Os dados da Tabela 1 indicam que, embora ainda exista uma participação expressiva de áreas com vegetação densa na bacia do Rio Lontra, há também uma extensa porção de áreas suprimidas e setores urbanizados, o que evidencia um processo de transformação progressiva da cobertura

natural. As áreas com vegetação preservada ainda desempenham papel relevante na manutenção da infiltração e na regulação do escoamento superficial. Em contrapartida, as áreas suprimidas e urbanizadas apresentam menor capacidade de infiltração, favorecendo o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, a intensificação dos picos de vazão e do potencial de inundação nos trechos a jusante. Esse padrão confirma que mesmo proporções relativamente moderadas de supressão vegetal e impermeabilização podem gerar impactos expressivos na hidrodinâmica de bacias urbanas e periurbanas, conforme apontado por Huțanu et al. (2020) e Pimenta et al. (2025).

A distribuição do uso e ocupação do solo evidencia a predominância de vegetação natural e áreas suprimidas, contrastando com núcleos urbanos mais densos e vulneráveis. Esse padrão demonstra que a ocupação urbana tende a se concentrar em zonas de menor declividade e maior exposição ao escoamento superficial, reforçando o risco de inundação em setores específicos do Córrego Neblina.

A análise espacial das manchas de inundação sobre o mapa de uso e ocupação do solo mostra que os trechos com maior concentração de áreas urbanizadas coincidem com as zonas de maior extensão e profundidade de alagamento. Nessas áreas, observa-se maior convergência do escoamento superficial e menor capacidade de dissipação do fluxo, resultando em ampliação local da lâmina d'água e aumento da frequência de transbordamentos. Em contraste, setores com maior presença de vegetação natural apresentam, de modo geral, menor extensão de áreas inundadas e menores valores de profundidade simulada.

Esse padrão indica que a urbanização atua como fator de concentração dos fluxos pluviais e de amplificação dos processos de inundação em trechos específicos da bacia. Do ponto de vista do planejamento urbano, os resultados sugerem que a manutenção e a ampliação de áreas verdes, bem como a adoção de sistemas de drenagem urbana sustentável, poderiam contribuir para a atenuação dos picos de escoamento. Essa interpretação é coerente com os achados de Huțanu et al. (2020), que destacam a importância de dados topográficos de alta resolução para a identificação de áreas críticas de escoamento, e com os resultados obtidos por Pimenta et al. (2025) em Ananindeua (PA), onde a análise multicritério no Sistema de Informação Geográfica (SIG) evidenciou o papel combinado do uso do solo, das variáveis ambientais e da infraestrutura urbana na determinação da suscetibilidade a enchentes.

No Córrego Neblina, a área urbanizada é de 1.532,307 ha, dentro de uma área total de contribuição de 1.814,189 ha, conforme Tabela 2. A Figura 1 ilustra o mapa de uso e ocupação do solo, evidenciando a distribuição das zonas urbanizadas, vegetação e corpos d'água. Áreas densamente urbanizadas apresentam menor capacidade de infiltração, aumentando a vulnerabilidade a inundações, enquanto zonas com vegetação de cerrado e mata ciliar promovem maior absorção da água da chuva. Esse contraste evidencia que a localização das áreas verdes é estratégica para redução de risco em zonas críticas, corroborando Huțanu et al. (2020). Resultados próximos foram identificados por Matana Júnior et al. (2021), ao caracterizar áreas suscetíveis em Passo Fundo (RS), demonstrando que, em cidades médias, a combinação entre impermeabilização e declividade reduzida intensifica a vulnerabilidade.

Tabela 2: Uso e ocupação do solo do Córrego Neblina.

OCUPAÇÃO	ÁREA (HA)
Corpos D'água Continental	6,085
Mata de Galeria/Mata Ciliar	102,26
Capoeira	25,779
Cerrado	30,206
Agropecuária	115,697
Solo Exposto	1.852
Área Urbanizada	1.532,31

Fonte: Autores, 2021.

Essa distribuição espacial revela a predominância de superfícies impermeáveis e confirma a tendência de expansão urbana sobre áreas suscetíveis, o que intensifica o escoamento superficial e amplia o risco de inundação. As áreas de mata ciliar e cerrado ainda presentes atuam como zonas de amortecimento, mas encontram-se fragmentadas, reduzindo sua capacidade de retenção hídrica. Essa configuração espacial é compatível com resultados observados em outras cidades médias, como Passo Fundo (RS), analisada por Matana Júnior et al. (2021), onde a urbanização em fundos de vale intensificou a suscetibilidade a inundações, e também com padrões descritos em estudos internacionais de planícies fluviais urbanizadas, como o caso da planície do rio Jijia, no nordeste da Romênia, investigado por Huțanu et al. (2020).

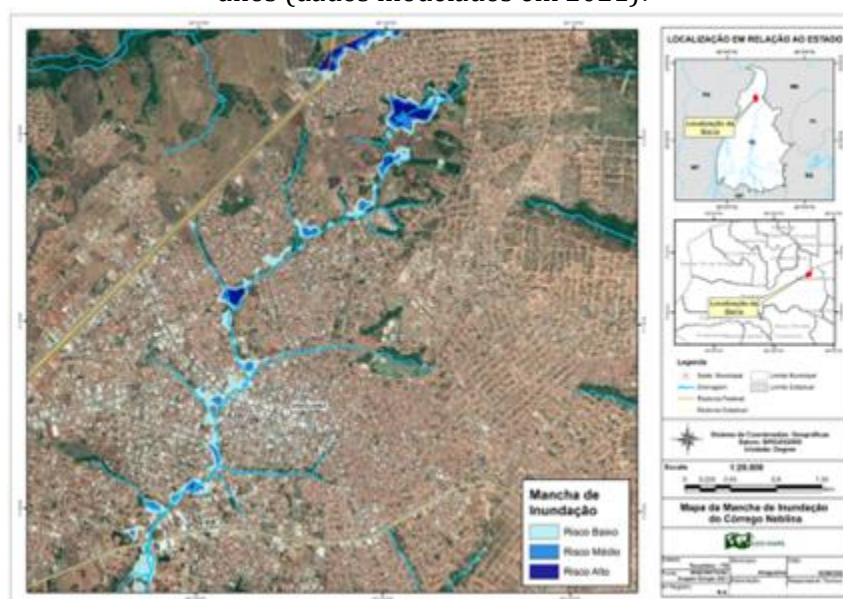
Cota da Base (m)	202,00
Tempo de Retorno (anos)	100,00
Coeficiente de <i>Runoff</i> (C)	0,50
Tempo de Concentração (min)	119,22

Fonte: Autores, 2022.

Os resultados da Tabela 3 demonstram que o método aplicado é coerente com estudos hidrológicos de bacias urbanizadas de médio porte. A convergência entre os valores estimados e simulados reforça a adequação do modelo e sua capacidade preditiva para eventos extremos em Araguaína, corroborando trabalhos de Bruno et al. (2022), Urbani, Graciosa e Brambila (2023) e Araújo et al. (2019), que demonstram a importância da calibração topográfica em modelos digitais de elevação (DEM) para a delimitação precisa de áreas inundáveis.

A partir da modelagem hidrodinâmica, verificou-se que, em períodos de chuvas intensas, a lâmina d'água no Córrego Neblina pode atingir altura média de 1,20 m. Essa calibração mostrou-se consistente com relatos de moradores, reforçando a importância da integração entre ciência cidadã e modelagem computacional, como discutido por Rodríguez et al. (2024) e confirmando o potencial das abordagens 1D-2D acopladas para representar a propagação do escoamento superficial (Yan et al., 2024; Guo, Guan e Yu, 2021).

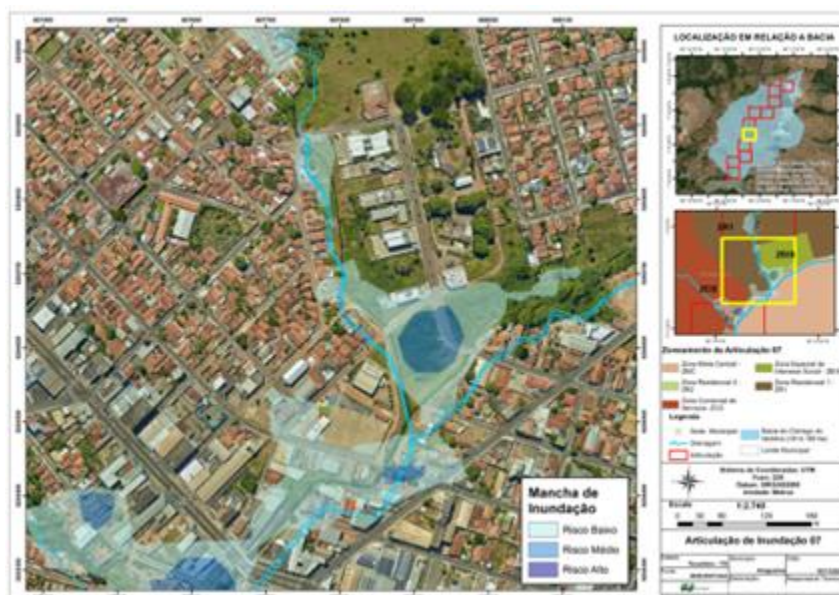
Figura 2: Mancha geral de inundação do Córrego Neblina sob evento de precipitação de 100 anos (dados modelados em 2021).



Fonte: Autores, 2021.

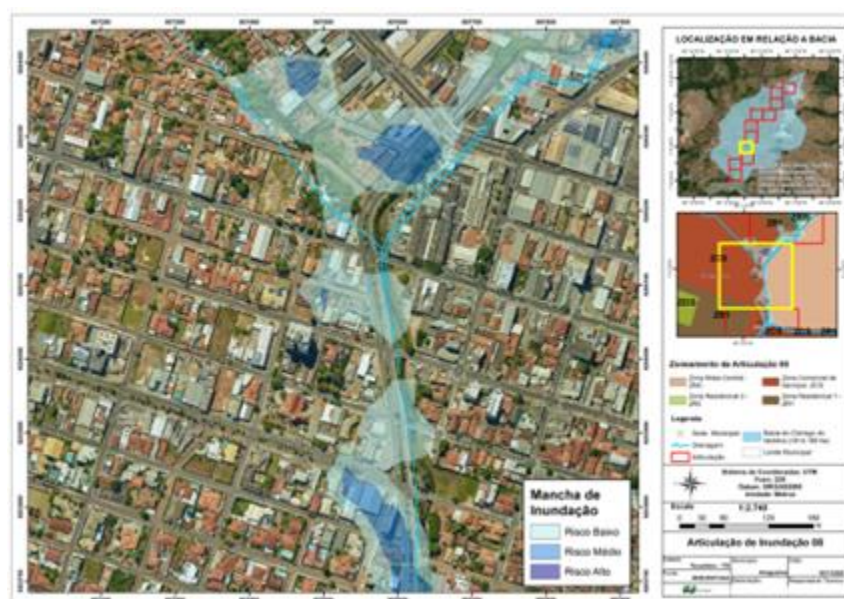
As Figuras 2 a 6 apresentam as manchas gerais de inundação, nas quais predomina a classe de risco baixo na maior parte do território, risco médio em zonas mistas e risco alto em trechos da Zona Residencial 1 (ZR-1), conforme a classificação de uso e ocupação do solo estabelecida pelo Plano Diretor de Araguaína (Lei Complementar nº 051/2017). As zonas apresentadas nos mapas correspondem ao zoneamento oficial de uso e ocupação do solo definido por essa legislação, incluindo Zonas Residenciais (ZR), Zonas Mistas (ZM) e Zonas Especiais. Esse padrão indica que a impermeabilização do solo é o principal fator de amplificação do risco, confirmando tendências observadas em Lei et al. (2021), Xu et al. (2023) e Karmakar, Sherly e Mohanty (2022), que destacam a necessidade de quantificar o risco urbano por meio de parâmetros hidráulicos combinados a dados socioespaciais.

Figura 3: Mancha de inundação – Articulação 07, Zona Mista Central de Araguaína/TO.



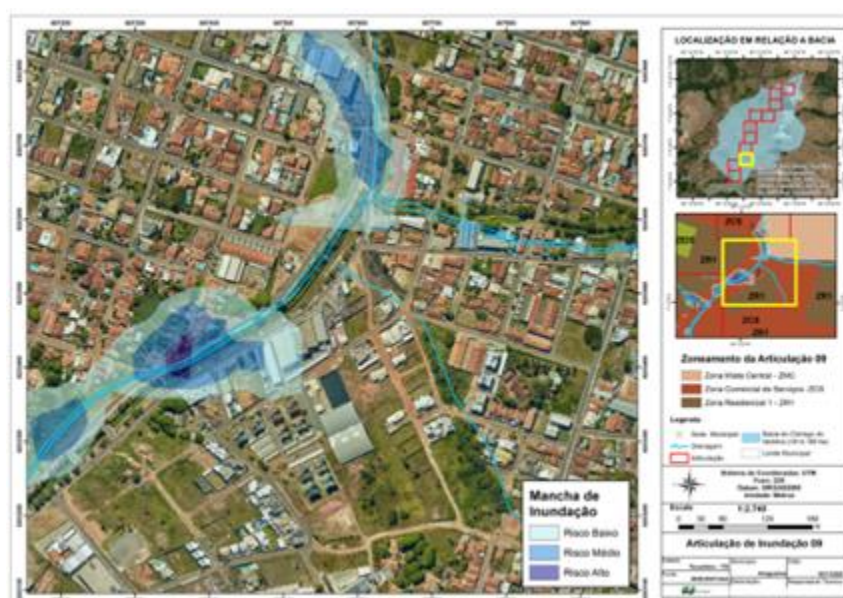
Fonte: Autores, 2021.

Figura 4: Mancha de inundação – Articulação 08, Zona Residencial 1 e 2



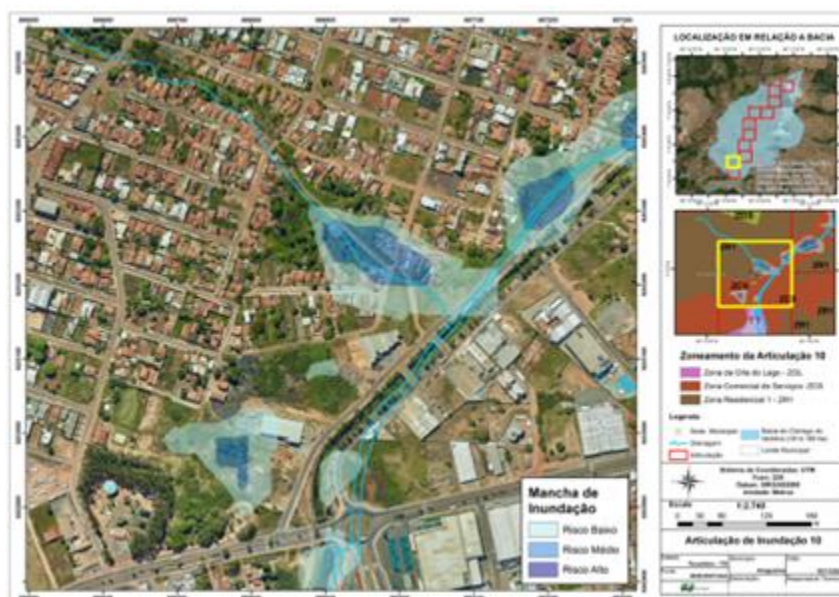
Fonte: Autores, 2021.

Figura 5: Mancha de inundação – Articulação 09, faixa de alto risco hidrodinâmico



Fonte: Autores, 2021.

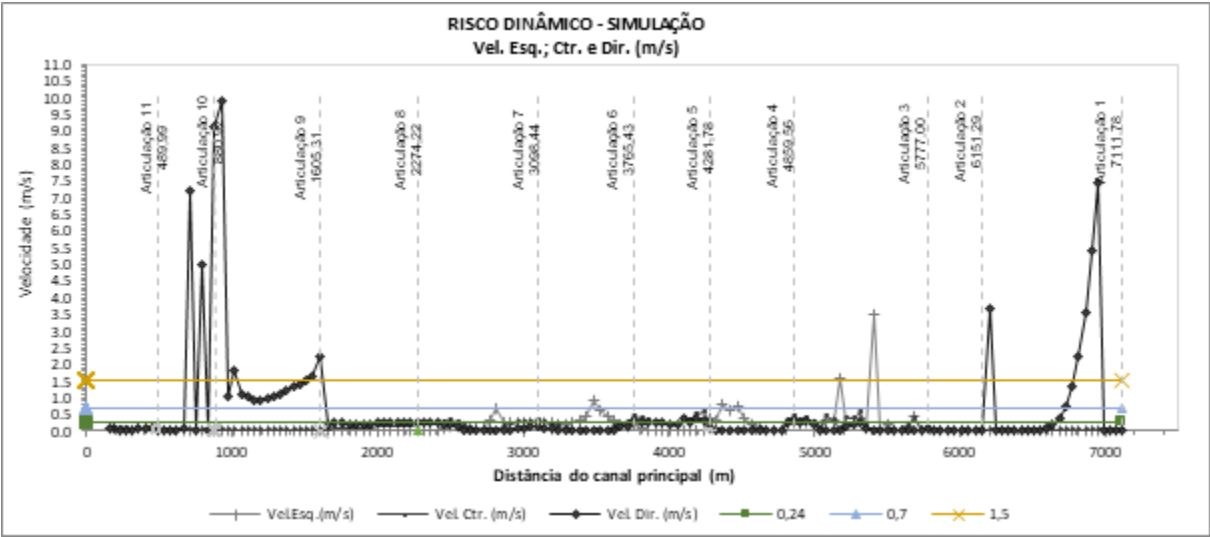
Figura 6: Mancha de inundação – Articulação 10, zona da orla do lago



Fonte: Autores, 2021.

Nas articulações 07 e 08, observam-se trechos de risco médio, enquanto a articulação 09 concentra pequena faixa de risco alto, reforçando a heterogeneidade espacial da vulnerabilidade urbana. A articulação 10 apresenta risco médio na zona da orla do lago e risco baixo nas demais áreas, indicando influência do gradiente topográfico na dispersão do escoamento. Essa variação espacial reflete o comportamento típico de bacias urbanas com dados hidrológicos escassos, conforme demonstrado por Scoti et al. (2024), que destacam o papel da modelagem integrada como alternativa viável em contextos com limitação de medições diretas.

Figura 7: Velocidade média do escoamento (m/s) no Córrego Neblina, Araguaína/TO



Fonte: Autores, 2021.

A análise hidrodinâmica (Figura 7) mostra velocidades superiores a 2 m/s em áreas pontuais e produtos $H \times V > 7 \text{ m}^2/\text{s}$, indicando risco potencial de colapso de edificações e comprometimento da estabilidade humana. Nas articulações 07 a 10, esses limites são superados, evidenciando perigo para a população e necessidade de planos de evacuação e barreiras temporárias.

Quadro 1: Síntese dos impactos das inundações nas articulações do Córrego Neblina

M anchas	Art iculações	Perí metr o (m)	Áre a (K m ²)	otal de áreas atingi das	Vias Públicas		Área de Pavime ntação (m ²)	Áre a de Cal çad a (m ²)
					Lar gur a	Compr iment o		
1	1	2.578,00	0,1419	19,00	-	-	-	-
2	2	252,37	0,00371	2,00	-	-	-	-
3		106,50	0,000692	-	-	-	-	-

4	3	1.149,00	0,04592	4,00	-	-	-	-
5		1.191,00	0,003428	4,00	-	-	-	-
6	4	262,71	0,003872	3,00	-	-	-	-
7		824,60	0,02754	16,00	6,00	323,00	1.938,00	646,00
8		270,79	0,001851	4,00	-	-	-	-
9	5	887,44	0,01898	39,00	6,50	336,00	2.184,00	1.516,89
10		241,17	0,00301	14,00	6,50	87,00	565,5	392,5
11	6	134,60	0,000818	7,00	6,50	36,00	234,00	142,00
12		118,00	0,0502	34,00	5,40	84,00	453,6	189,00
13		533,37	0,01456	19,00	7,00	150,00	1.050,00	464,00
14	7	279,26	0,003933	5,00	7,50	92,00	690,00	138,00
15		1.124,00	0,02642	10,00	6,00	320,00	2.156,40	208,00
16		188,00	0,0622	64,00	7,40	1.004,50	7.433,30	4,05
17	8	470,99	0,01072	10,00	7,30	253,00	1.856,50	564,00
18		1.202,00	0,03592	53,00	7,00	1,01	7,04	2,59
19		92,55	0,000388	2,00	-	-	-	-
20	9	1.137,00	0,0457	35,00	7,30	620,00	4.741,50	2,98

21	10	711,63	0,024 91	19,00	7,50	172,00	1.156,00	249,0 0
22		126,09	0,000 76	2,00	-	-	-	-
23		513,56	0,012 24	4,00	-	-	-	-
24		214,03	0,002 85	-	7,00	55,00	385,00	220,0 0
25	11	295,10	0,004 616	-	10,00	26,00	260,00	118,00
26		1.024,0 0	0,046 92	1,00	9,40	373,00	3.506,20	1.305, 50
Total		15.927, 76	0,594 058	370,00	114,3 0	3.932,51	28.617,04	6.162, 51

Fonte: Autores, 2021.

Os dados do Quadro 1 evidenciam que as áreas residenciais concentram a maior parte dos impactos, enquanto as zonas comerciais, embora menores em extensão, sofrem prejuízos econômicos mais diretos. As vias públicas atingidas refletem o colapso da infraestrutura urbana frente aos eventos de cheia, corroborando as análises de Bodoque et al. (2023) e Hora e Gomes (2009) sobre a vulnerabilidade das cidades médias brasileiras a desastres hidrológicos.

De forma integrada, a comparação entre as manchas de inundação (Figuras 2 a 6), os padrões de uso do solo (Figura 1) e os impactos observados (Quadro 1) evidencia correlação direta entre densidade construtiva e vulnerabilidade hidrodinâmica. Os resultados convergem com estudos realizados em Palmas e outras cidades médias do Tocantins (Mendes e Andrade, 2021), que também associam a urbanização acelerada e a impermeabilização à amplificação dos picos de vazão. Em consonância, Miguez et al. (2015) e Santana, Silva e Neto (2023) reforçam que a ausência de planejamento e a ocupação irregular de áreas ribeirinhas agravam a recorrência de inundações em zonas de baixa altitude.

Em síntese, a vulnerabilidade de Araguaína decorre de fatores estruturais, como a impermeabilização e a ocupação irregular, e de carências em infraestrutura de drenagem. Para políticas públicas mais eficazes, recomenda-se priorizar as áreas críticas identificadas neste estudo,

integrando dados hidrológicos, topográficos e socioeconômicos. Estratégias de mitigação baseadas em modelagem hidrodinâmica, sensoriamento remoto e aprendizado de máquina podem aprimorar o monitoramento preventivo de cheias e reduzir danos futuros (Islam et al., 2025; Yan et al., 2024; Guo et al., 2021).

5 Considerações finais

O estudo desenvolvido permitiu compreender, de forma detalhada, a dinâmica de inundação na área urbana de Araguaína/TO, com destaque para o Córrego Neblina, que apresenta elevado potencial de risco hidrológico em função da impermeabilização do solo e da ocupação irregular das margens. As simulações hidrodinâmicas demonstraram que, em eventos de precipitação intensa, a lâmina d'água pode atingir níveis capazes de gerar afogamento e comprometimento estrutural de edificações, sobretudo em áreas densamente povoadas e carentes de infraestrutura adequada. Essa constatação reforça a urgência de ações de planejamento e gestão que contemplem a redução da vulnerabilidade urbana frente a eventos extremos.

A principal contribuição deste trabalho está na aplicação integrada da modelagem hidrodinâmica em duas dimensões (HEC-RAS 2D) associada a ferramentas de geoprocessamento (ArcGIS 10.8), aplicada a um contexto urbano de cidade média da Região Norte do Brasil. Essa integração metodológica possibilitou a identificação precisa das zonas de maior suscetibilidade à inundação, oferecendo subsídios técnicos e científicos para o planejamento urbano e a gestão de riscos. Ao demonstrar a viabilidade da modelagem em um contexto de limitação de dados, o estudo contribui para o avanço da literatura brasileira sobre inundações urbanas, particularmente em regiões amazônicas, nas quais os estudos aplicados ainda são escassos.

Do ponto de vista prático, os resultados obtidos constituem uma base de informações valiosa para o poder público municipal. Os mapas de inundação e a análise das áreas críticas permitem definir estratégias prioritárias de mitigação de riscos, orientando o direcionamento de políticas públicas e investimentos em infraestrutura. As informações levantadas podem subsidiar ações de reflorestamento e recomposição de matas ciliares nas margens do Córrego Neblina, contribuindo para o aumento da infiltração e a diminuição do escoamento superficial. Além disso, as zonas identificadas como de risco elevado podem ser objeto de projetos de reassentamento gradativo de famílias, articulados a políticas habitacionais que garantam condições seguras de moradia. A

implementação de sistemas de drenagem urbana sustentáveis, como jardins de chuva e reservatórios de retenção, também se mostra essencial para reduzir o volume de escoamento e os impactos de cheias recorrentes. Paralelamente, a integração das informações hidrodinâmicas com os sistemas de alerta da Defesa Civil representa uma medida estratégica de prevenção, capaz de minimizar danos humanos e materiais.

Os resultados reforçam que as inundações urbanas em Araguaína são fenômenos multicausais, resultantes da combinação entre fatores naturais, estruturais e sociais. A impermeabilização acelerada, a ausência de planejamento territorial e a falta de drenagem adequada potencializam os efeitos das chuvas intensas, ampliando a vulnerabilidade da população. Nesse sentido, o estudo contribui não apenas para o entendimento técnico do problema, mas também para o fortalecimento de uma visão integrada da gestão urbana, em que a ciência, a política pública e a participação comunitária se articulam na busca por soluções efetivas e sustentáveis.

Reconhece-se, contudo, que o trabalho apresenta limitações relacionadas à disponibilidade de dados hidrológicos de longa duração e à ausência de medições sistemáticas de campo para calibração quantitativa do modelo. Pesquisas futuras devem incorporar dados de alta resolução espacial, como os provenientes de levantamentos LiDAR e de sensores ópticos e radar, permitindo maior detalhamento das superfícies e maior precisão nas simulações. A inclusão de variáveis socioeconômicas e indicadores de vulnerabilidade social também se mostra necessária para compreender de maneira mais ampla os impactos das inundações sobre diferentes grupos populacionais.

Em síntese, o estudo demonstra que a integração entre modelagem hidráulica, análise espacial e planejamento urbano constitui uma estratégia eficaz para compreender e mitigar os impactos das inundações em cidades médias da Amazônia Legal. Ao reunir rigor técnico, aplicabilidade prática e relevância social, este trabalho oferece subsídios tanto para a pesquisa científica quanto para a formulação de políticas públicas voltadas à redução de riscos e à construção de territórios urbanos mais resilientes, seguros e ambientalmente sustentáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental - PEBGA / UFPA.

Referências

ARAÚJO, Paulo Victor N.; AMARO, Venerando E.; SILVA, Robert M.; LOPES, Alexandre B. Delimitation of flood areas based on a calibrated DEM and geoprocessing: case study on the Uruguay River, Itaqui, southern Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 19, n. 1, p. 237–250, 2019. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-237-2019>.

BODOQUE, José M.; ESTEBAN-MUÑOZ, Álvaro; BALLESTEROS-CÁNOVAS, Juan A. Overlooking probabilistic mapping renders urban flood risk management inequitable. *Communications Earth & Environment*, v. 4, art. 279, 2023. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01074-4>.

BRITO, Amanda Martins; BRITO, Amanda Martins de; BARROS, Eudarcia Silva; SILVA, Marivaldo Cavalcante da. Efeitos da ocupação desordenada do solo às margens do Córrego Neblina em Araguaína-TO. *Revista Tocantinense de Geografia*, [S. l.], v. 3, n. 4, p. 11–21, 2014. <https://doi.org/10.20873/rtg.v3n4p11-21>.

BRUNO, Leonardo Souza; MATTOS, Tiago Souza; OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches; ALMAGRO, André; RODRIGUES, Dulce Buchala Bicca. Hydrological and hydraulic modeling applied to flash flood events in a small urban stream. *Hydrology*, v. 9, n. 12, p. 223, 2022. <https://doi.org/10.3390/hydrology9120223>.

COSTABILE, Pierfranco; COSTANZO, Carmelina; FERRARO, Domenico; BARCA, Pierfrancesco. Is HEC-RAS 2D accurate enough for storm-event hazard assessment? Lessons learnt from a benchmarking study based on rain-on-grid modelling. *Journal of Hydrology*, v. 603, parte B, 126962, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126962>.

COTRIM, Maju. Chuva forte causa transtornos em Araguaína; casas foram inundadas. *Tocantins*. 24 jan. 2017. Disponível em: <https://www.to.gov.br/noticia/chuva-forte-causa-transtornos-em-araguaina-casas-foram-inundadas>. Acesso em: 23 set. 2025.

CRUZ, Letícia Giese de Andrade; ANDRADE, Fernando Oliveira de; PRESTES, Márcia Ferreira; BEZERRA, Stella Maris da Cruz; POLLI, Simone Aparecida. Hydrologic and hydraulic modeling to assess the efficiency of structural flood control measures: case study of Audi-União District in the city of Curitiba, Brazil. *Revista Ambiente & Água*, v. 18, e2894, 2023. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2894>.

GUO, Kaihua; GUAN, Mingfu; YU, Dapeng. Urban surface water flood modelling – a comprehensive review of current models and future challenges. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 25, n. 5, p. 2843–2860, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-25-2843-2021>.

HORA, Silmara Borges da; GOMES, Ronaldo Lima. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. *Sociedade & Natureza*, v. 21, n. 2, ago. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005>.

HUȚANU, Elena; MIHU-PINTILIE, Alin; URZICA, Andrei; PAVELUC, Larisa Elena; STOLERIU, Cristian Constantin; GROZAVU, Adrian. Using 1D HEC-RAS modeling and LiDAR data to improve flood hazard maps accuracy: a case study from Jijia Floodplain (NE Romania). *Water*, v. 12, n. 6, p. 1624, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12061624>.

INFORMAÇÕES DA PREFEITURA. Número de famílias atingidas pelas chuvas diminui em Araguaína. Araguaína, 29 jan. 2015. Disponível em: <https://www.to.gov.br/noticia/numero-de-familias-atingidas-pelas-chuvas-diminui-em-araguaina>. Acesso em: 23 set. 2025.

IROUME, Junior Yves-Audrey; ONGUÉNÉ, Raphaël; KOFFI, Francis Djanna; COLMET-DAAGE, Antoine; STIEGLITZ, Thomas; SONE, Willy Essoh; BOGNING, Sakaros; OLINGA OLINGA, Joseph Magloire; NTCHANTCHO, Romaric; NTONGA, Jean-Claude; BRAUN, Jean-Jacques; BRIQUET, Jean-Pierre; ETAME, Jacques. The 21st August 2020 flood in Douala (Cameroon): a major urban flood investigated with 2D HEC-RAS modeling. *Water*, v. 14, n. 11, p. 1768, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14111768>.

ISLAM, Tania; ZELEKE, Ethiopia B.; AFROZ, Mahmud; MELESSE, Assefa M. A systematic review of urban flood susceptibility mapping: remote sensing, machine learning, and other modeling approaches. *Remote Sensing*, v. 17, n. 3, p. 524, 2025. <https://doi.org/10.3390/rs17030524>.

KARMAKAR, Subhankar; SHERLY, M. A.; MOHANTY, Mohit. Urban flood risk mapping: a state-of-the-art review on quantification, current practices, and future challenges. In: BANERJI, P.; JANA, A. (eds.). *Advances in Urban Design and Engineering*. Singapore: Springer, 2022. p. 125–156. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0412-7_5.

LEI, Xinxiang; CHEN, Wei; PANAHI, Mahdi; FALAH, Fatemeh; RAHMATI, Omid; UUEMAA, Evelyn; KALANTARI, Zahra; FERREIRA, Carla Sofia Santos; REZAIE, Fatemeh; TIEFENBACHER, John P.; LEE, Saro; BIAN, Huiyuan. Urban flood modeling using deep-learning approaches in Seoul, South Korea. *Journal of Hydrology*, v. 601, p. 126684, Oct. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126684>.

MANTOVANI, José; ALCÂNTARA, Enner; MARENGO, José A.; LONDE, Luciana; PARK, Edward; CUNHA, Ana Paula; TOMASELLA, Javier. Flood risk mapping during the extreme February 2021 flood in the Juruá River, Western Brazilian Amazonia, State of Acre. *Sustainability*, v. 16, n. 7, p. 2999, 2024.

<https://doi.org/10.3390/su16072999>.

MATANA JÚNIOR, Sidnei; CASIRAGHI, Yohan; BERRES, Gabriela Weimer; FRANDOLOSO, Marcos Antonio Leite; DALLA ROSA, Francisco. Characterization of an area susceptible to floods and inundations in a medium size city in Southern Brazil. *International Journal of Hydrology*, v. 5, n. 5, p. 222–229, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15406/ijh.2021.05.00284>.

MENDES, Alesi Teixeira; ZUKOWSKI JUNIOR, Joel Carlos. Caracterização do regime pluviométrico do município de Araguaína – TO. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 4, 2019.

<https://doi.org/10.1590/0102-7786344056>.

MENDES, Frederico Coli; ANDRADE, Rui da Silva. Scenarios for urban drainage on a Legal Amazon planned city: a case study in Palmas, Brazil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190019>.

MENDES, Thiago Augusto; SOUSA, Marlon Barbosa de; PEREIRA, Sávio Aparecido dos Santos; SANTOS, Kamila Almeida dos; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins. Use of the HEC-RAS model based on LiDAR information for urban flood assessment. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 1, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200276>.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; DE SOUSA, Matheus Martins; REZENDE, Osvaldo Moura. Urban floods in lowlands—levee systems, unplanned urban growth and river restoration alternative: a case study in Brazil. *Sustainability*, v. 7, n. 8, p. 11068-11097, 2015.

<https://doi.org/10.3390/su70811068>.

PIMENTA, Lianne; DUARTE, Lia; TEODORO, Ana Cláudia; BELTRÃO, Norma; GOMES, Dênis; OLIVEIRA, Renata. GIS-based flood susceptibility mapping using AHP in the urban Amazon: a case study of Ananindeua, Brazil. *Land*, v. 14, n. 8, p. 1543, 2025. <https://doi.org/10.3390/land14081543>.

PRIMO, Victor Hugo da Cruz; RAFAELI NETO, Sílvio Luís. Assessment of economic impacts in flood events in Lages/SC, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 58, n. 1, p. 30-44, 2023.

<https://doi.org/10.5327/Z2176-94781486>.

RODRÍGUEZ, Rodrigo; ROBLES-MORUA, Agustin; MEZA-FIGUEROA, Diana; TUXPAN-VARGAS, José; CISNEROS ALMAZÁN, Rodolfo; PEREZ RAMOS, Nancy; SEN GUPTA, Bhaskar; MARTÍNEZ-VILLEGAS, Nadia. Urban flood risk assessment through citizen science, 2d hydraulic modeling, and machine

learning: beating infrastructure deficiencies with social media and artificial intelligence. SSRN, 32 p., 14 2024. Preprint. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4549821>.

SANTANA, Leonardo Moreira; SILVA, Adriano Frutuoso da; NETO, Lázaro Lourenço. Mapa de inundação do reservatório da CGH Corujão na área urbana da cidade de Araguaína/TO. Revista Novos Desafios, Guaraí (TO), v. 3, n. 1, p. 104-119, 2023. Disponível em: <https://novosdesafios.inf.br/index.php/revista/article/view/68/65>. Acesso em: 23 set. 2025.

SCCOTI, A. A. V.; PEREIRA, S.; BATEIRA, C. V. M.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Modeling flood susceptibility in hydrological data-scarce study areas. Mercator, Fortaleza, v. 23, e23024, 2024. <https://doi.org/10.4215/rm2024.e23024>.

URBANI, Gustavo Lopes; GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira; BRAMBILA, Maria Cleofé Valverde. Delimitação de manchas de inundação na bacia do Córrego do Ipiranga, São Paulo – SP, Brasil, com modelagem hidrológico-hidráulica utilizando HEC-HMS / HEC-RAS. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 20, 2023. <https://dx.doi.org/10.21168/rega.v20e13>.

XU, Huan; WANG, Ying; FU, Xiaoran; WANG, Dong; LUAN, Qinghua. Urban flood modeling and risk assessment with limited observation data: the Beijing Future Science City of China. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 5, p. 4640, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054640>.

YAN, Lin; RONG, Hongwei; YANG, Weichao; LIN, Jianxin; ZHENG, Chuanxing. A novel integrated urban flood risk assessment approach based on one-two dimensional coupled hydrodynamic model and improved projection pursuit method. Journal of Environmental Management, v. 366, p. 121910, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121910>.

ZAINAL, Norsaliha Najwa; ABU TALIB, Siti Hidayah. Review paper on applications of the HEC-RAS model for flooding, agriculture, and water quality simulation. Water Practice and Technology, v. 19, n. 7, p. 2883-2900, 2024. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.173>.

ZHOU, Kejing; KONG, Fanhua; YIN, Haiwei; DESTOUNI, Georgia; MEADOWS, Michael E.; ANDERSSON, Erik; CHEN, Liding; CHEN, Bin; LI, Zhenya; SU, Jie. Urban flood risk management needs nature-based solutions: a coupled social-ecological system perspective. npj Urban Sustainability, v. 4, n. 25, 2024. <https://doi.org/10.1038/s42949-024-00162-z>.