

## **VULNERABILIDADE URBANA A INUNDAÇÕES NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

*Geovanna Santos Oliveira Lobão<sup>1</sup> \*; Iana Alexandra Alves Rufino<sup>1</sup> \*, Priscila Barros Ramalho*

*Alves<sup>2</sup> & Mauro Normando Macêdo Barros Filho<sup>1</sup>*

**RESUMO** – As inundações urbanas configuram-se como um dos desastres naturais mais recorrentes e impactantes nas cidades contemporâneas, afetando de forma desproporcional populações socialmente vulneráveis. Este estudo analisa as abordagens metodológicas presentes na produção científica sobre vulnerabilidade urbana a inundações no Brasil e nos Estados Unidos, por meio de uma revisão bibliométrica nas bases *Scopus* e *Web of Science*, abrangendo o período de 2016 a 2026. Após a remoção das duplicidades, 75 documentos foram analisados com o auxílio da ferramenta *bibliometrix* no R e do software *VOSviewer*. Os resultados indicam predominância de abordagens técnicas e hidrológicas nas publicações mais antigas, com a vulnerabilidade social emergindo como tema mais recente, com alta concentração entre 2022 e 2024. A rede de coocorrência de palavras-chave identificou sete *clusters* temáticos, revelando que a modelagem hidrológica, a análise espacial e a vulnerabilidade social operam como agrupamentos distintos, com conexões limitadas entre si. A ausência de vínculos diretos entre a avaliação de vulnerabilidade e as ferramentas de modelagem hidrológica evidencia uma lacuna metodológica na literatura, especialmente no contexto do semiárido brasileiro, onde a combinação de secas e inundações demanda arcabouços analíticos integrados.

**Palavras-Chave** – Inundações urbanas. Vulnerabilidade. Análise bibliométrica.

**ABSTRACT**– Urban flooding represents one of the most recurrent and impactful natural disasters in contemporary cities, disproportionately affecting socially vulnerable populations. This study analyzes the methodological approaches used in the scientific production on urban flood vulnerability in Brazil and the United States through a bibliometric review conducted in the Scopus and Web of Science databases, covering the period from 2016 to 2026. After removing duplicates, 75 documents were analyzed using the Bibliometrix tool in R and the VOSviewer software. Results indicate a predominance of technical and hydrological approaches in earlier publications, with social vulnerability emerging as a more recent theme concentrated between 2022 and 2024. The co-occurrence network of keywords revealed seven thematic clusters, showing that hydrological modeling, spatial analysis, and social vulnerability operate as distinct groups with limited connections between them. The absence of direct links between vulnerability assessment and hydrological modeling tools points to a methodological gap in the literature, particularly in the Brazilian semiarid context, where the combination of droughts and floods demands integrated analytical frameworks.

**Key-words** – Urban flooding. Vulnerability. Bibliometric analysis.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Laboratório de Hidráulica II, Bloco BU, Rua Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB, CTRN / UFCG, (83) 2101-1037.

\* [geoliveira99@gmail.com](mailto:geoliveira99@gmail.com); [iana.alexandra@professor.ufcg.edu.br](mailto:iana.alexandra@professor.ufcg.edu.br);

<sup>2</sup> Universidade de Maryland, SIRJ Lab - Stormwater Infrastructure Resilience and Justice; School of Architecture, Planning and Preservation  
3835 Campus Drive, College Park, MD 20742. [pbralves@umd.edu](mailto:pbralves@umd.edu)

## 1. INTRODUÇÃO

As inundações urbanas estão entre os desastres climáticos mais frequentes e impactantes do mundo contemporâneo, com tendência de agravamento diante das mudanças climáticas globais e da rápida urbanização (IPCC, 2022). Nos países em desenvolvimento, a vulnerabilidade das populações a esses eventos é amplificada pelas desigualdades socioeconômicas e pela deficiência de infraestrutura urbana de drenagem (Alves et al., 2021). Estudos recentes têm demonstrado que as inundações afetam de forma desproporcional populações residentes em assentamentos informais, onde a precariedade das condições habitacionais e a ausência de sistemas adequados de drenagem intensificam a exposição ao risco (Mansur et al., 2018; Lins-de-Barros, 2017).

No Brasil, a problemática das inundações urbanas possui caráter multidimensional. Estudos desenvolvidos em diferentes regiões do país evidenciam que a expansão urbana desordenada intensifica os riscos hidrológicos, alterando os padrões de escoamento superficial e compromete a capacidade de drenagem das bacias urbanas (Brito; Macedo, 2025; Santana et al., 2026). No Semiárido nordestino, essa vulnerabilidade assume uma dimensão particular: o paradoxo seca-inundação coloca municípios historicamente associados à escassez hídrica diante de episódios recorrentes de alagamentos urbanos (Fernandes et al., 2020).

A dimensão social da vulnerabilidade a inundações tem sido progressivamente incorporada à literatura brasileira. Alves et al. (2021) propuseram um arcabouço socioambiental integrado para o mapeamento da vulnerabilidade específica a eventos extremos em áreas urbanas, destacando a necessidade de considerar simultaneamente as dimensões físicas e sociais do risco. Estudos aplicados no contexto brasileiro avançaram tanto na análise espacial da vulnerabilidade a inundações, com uso de SIG e dados de sazonalidade pluviométrica (Carvalho et al., 2022), quanto na modelagem hidrológica urbana (Gomes et al., 2021).

Nos Estados Unidos, estudos ligados a conceitos da justiça ambiental evidenciam que as inundações urbanas afetam de forma desigual diferentes grupos populacionais, com populações historicamente marginalizadas concentrando os maiores níveis de exposição ao risco (Garcia-Rosabel et al., 2024; Debbage, 2019). A vulnerabilidade se manifesta em múltiplas dimensões, desde a precariedade das infraestruturas costeiras de água e de saúde pública (Allen et al., 2019) até o aumento da frequência e da severidade das inundações pluviais em áreas urbanas (Rosenzweig et al., 2018).

Tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, a literatura aponta para a necessidade de abordagens mais integradas na análise da vulnerabilidade urbana a inundações, capazes de articular dimensões físicas, espaciais e sociais do risco (Marks et al., 2022; Lara-Valencia et al., 2022; de

Paula et al., 2025). No entanto, ainda há lacunas quanto à extensão em que essa integração tem sido efetivamente incorporada na produção científica sobre o tema.

Diante disso, este estudo tem como objetivo mapear as abordagens metodológicas utilizadas na produção científica sobre vulnerabilidade urbana a inundações no Brasil e nos Estados Unidos, na última década (2016-2026), por meio de uma revisão bibliométrica. A análise busca examinar o conteúdo das publicações sobre o tema, identificando tendências de pesquisa e lacunas no conhecimento. Espera-se, dessa forma, contribuir para o avanço desta temática ao evidenciar quais dimensões (social, espacial e hidrológica) têm sido contempladas nos estudos e em que medida são integradas, fornecendo subsídios para futuras pesquisas voltadas à compreensão mais abrangente da vulnerabilidade urbana a inundações nesses dois contextos. Ressalta-se que este trabalho desenvolve-se no contexto de um projeto de mobilidade internacional “Resiliência e mitigação de riscos relacionados a água em comunidades vulneráveis: compartilhando abordagens participativas e experiências” - Chamada Pública MCTI/CNPq nº 16/2024, que é uma colaboração entre o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA-UFCG) e o Stormwater Infrastructure Resilience and Justice (SIRJ) Lab da Universidade de Maryland, nos Estados Unidos, o qual, tem como objetivo desenvolver um arcabouço metodológico baseado em abordagens participativas para melhor adaptação ao risco de inundações, bem como a resiliência em comunidades vulneráveis nos EUA e no Brasil, através da aplicação de análise espacial e de princípios de justiça ambiental.

## 2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliométrica nas bases de dados Scopus e Web of Science, abrangendo o período de 1 de janeiro de 2016 a 1 de janeiro de 2026, utilizando os termos “water”, “urban”, “vulnerability”, “flood\*”, “Brazil”, “United States”. De acordo com a metodologia utilizada por Brito et al. (2024), a busca por termos em inglês é justificada pelo fato de que, na maioria dos artigos, mesmo escritos em outras linguagens, incluem título, abstract e palavras-chave em inglês. A expressão de busca utilizada pode ser encontrada na Tabela 1.

Tabela 1. Operadores utilizados no processo de levantamento bibliométrico

| Base de Dados  | Termos de busca                                                                                                                                                 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scopus         | TITLE-ABS-KEY ( vulnerability AND urban AND water AND ( flood* OR "flash flood" OR inundation ) AND ( Brazil OR Brazilian OR "United States" OR USA OR U.S. ) ) |
| Web of Science | TS = ( vulnerability AND urban AND water AND ( flood* OR "flash flood" OR inundation ) AND ( Brazil OR Brazilian OR "United States" OR USA OR U.S. ) )          |

A busca foi realizada no campo *Title-Abstract-Keywords* (Scopus) e *Topic* (Web of Science), buscando “vulnerability” como foco central da análise, combinada com termos “urban”, “water” e “flood\*” focando em questões de águas urbanas, com ênfase em alagamentos. Foram utilizadas ainda “Brazil” and U.S. para delimitar o contexto geográfico. Na base Scopus, foram aplicados filtros de área temática para *Environmental Science*, *Earth and Planetary Sciences*, *Social Sciences* e *Engineering*. Na base Web of Science, os filtros de categoria aplicados foram *Environmental Sciences*, *Water Resources*, *Environmental Studies*, *Civil Engineering*, *Environmental Engineering*, *Geography* e *Urban Studies*, ambos com restrição a documentos do tipo “Article” e “Review”. Os resultados foram exportados e combinados com remoção de duplicatas por meio da ferramenta bibliometrix no R (Aria; Cuccurullo, 2017).

A análise bibliométrica foi conduzida por meio da ferramenta Bibliometrix, desenvolvida na linguagem R por Aria e Cuccurullo (2017), utilizando a interface gráfica Biblioshiny. Desse modo, foram gerados os seguintes produtos analíticos: palavras mais frequentes, nuvem de palavras e mapa temático de palavras-chave.

Complementarmente, foi utilizado o software VOSviewer (Van Eck; Waltman, 2010), para a construção e visualização de redes bibliométricas. O VOSviewer permite mapear relações de co-ocorrência entre termos, identificando clusters temáticos e padrões de associação entre conceitos. A rede de co-ocorrência de palavras-chave dos autores foi gerada com mínimo de duas ocorrências por termo, sendo analisada sob duas perspectivas: a Network Visualization, que identifica agrupamentos temáticos por cor, e a Overlay Visualization, que revela a evolução temporal dos termos a partir da média do ano de publicação dos documentos em que cada termo aparece, permitindo distinguir termos consolidados de termos emergentes no conjunto de artigos selecionado.

### 3. RESULTADOS

A análise bibliométrica resultou em 144 artigos relacionados à vulnerabilidade urbana a inundações no Brasil e nos Estados Unidos para o período de 2016 a 2026. Após a remoção de duplicatas, 75 documentos foram analisados. A Figura 1 ilustra a nuvem de palavras elaborada a partir dos títulos e palavras-chave dos artigos, e o diagrama de ocorrências dos termos mais frequentes entre as palavras-chave do corpus analisado. com destaque para os termos "climate change" (7 ocorrências), "urban flooding" (6), "resilience" (6) e "flooding" (6) entre as palavras-chave dos autores.

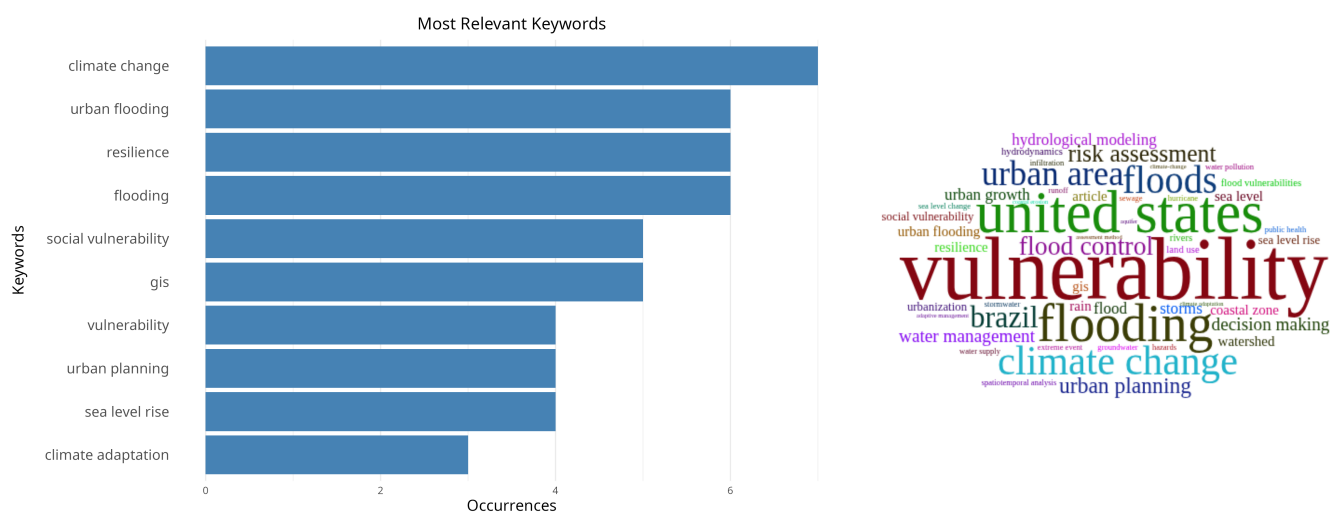


Figura 1 - Diagrama de ocorrências e nuvem de palavras baseados nos artigos analisados

O mapa temático de palavras-chave oferece uma perspectiva multidimensional da literatura relacionada à vulnerabilidade urbana a inundações no Brasil e nos Estados Unidos (Figura 2). O mapa temático distribui os termos em quatro quadrantes segundo dois eixos: centralidade (relevância do tema na rede) e densidade (grau de desenvolvimento interno do cluster), permitindo identificar temas motores, básicos, de nicho e emergentes ou em declínio no campo de estudo.



Figura 2 - Mapa temático dos artigos analisados

Os temas motores incluem “flood control”, “decision making” e “hydrological modeling”, indicando que são os temas consolidados e estratégicos no campo, com maior maturidade e aplicabilidade. Os termos “United States”, “flooding” e “climate change” situam-se na fronteira

entre os temas motores e básicos, indicando alta centralidade na rede, ou seja, são temas fundamentais e amplamente conectados à literatura. No quadrante de temas de nicho, destacam-se "urban growth", "article", "urbanization", que apresentam alto grau de desenvolvimento interno, mas baixa centralidade na rede, sugerindo que constituem linhas de pesquisa especializadas ainda pouco integradas ao debate central.

Os termos "vulnerability", "Brazil" e "flood" situam-se na fronteira entre os temas emergentes ou em declínio e os temas básicos, revelando uma centralidade média combinada com baixo grau de desenvolvimento interno, o que indica que, apesar de serem temas reconhecidos e relevantes, ainda são pouco explorados metodologicamente na literatura, especialmente no contexto brasileiro, evidenciando uma lacuna que justifica o desenvolvimento de abordagens integradas. Por fim, os temas emergentes ou em declínio, como "urban planning", "infiltration" e "hazards", indicam áreas que demandam novas abordagens ou maior atenção acadêmica para sua consolidação no campo de estudo. A rede de coocorrência gerada no VOSviewer identificou 34 termos conectados por 77 links, organizados em 7 *clusters* distintos (Figura 3). A análise dos *clusters* revela a estrutura metodológica do campo.

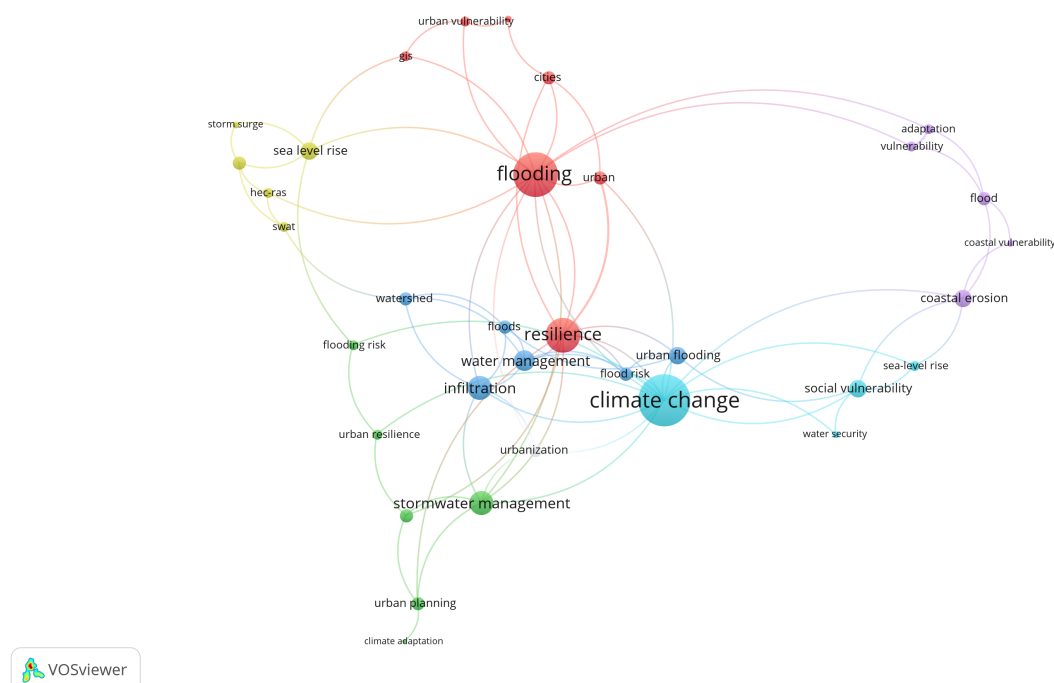


Figura 3 - Rede de co-ocorrência de palavras-chave dos artigos analisados

A rede de coocorrência de palavras-chave revela que o conceito de vulnerabilidade não aparece como nó central isolado, mas se distribui em diferentes *clusters*, refletindo sua natureza multidimensional. No *cluster* vermelho, os termos GIS, Brazil, *flooding* e *urban* associam-se à

vulnerabilidade por meio de ferramentas de mapeamento e análise espacial, indicando que os estudos nesse agrupamento abordam a vulnerabilidade predominantemente sob uma perspectiva espacial e geográfica. No *cluster* azul claro, o termo *social vulnerability* conecta-se a *climate change*, *urban flooding*, *flood risk* e *water security*, sugerindo que a dimensão social da vulnerabilidade é tratada principalmente em estudos que relacionam mudanças climáticas e segurança hídrica. No *cluster* roxo, a vulnerabilidade associa-se a *flood*, *coastal vulnerability*, *coastal erosion* e *adaptation*, representando uma abordagem mais específica voltada à vulnerabilidade costeira e às estratégias de adaptação. De forma significativa, o conceito de vulnerabilidade não apresenta conexões diretas com o *cluster* amarelo, composto por ferramentas de modelagem hidrológica como HEC-RAS, SWAT e modelagem hidrodinâmica, evidenciando que a integração entre avaliação de vulnerabilidade e técnicas ou ferramentas de modelagem é praticamente inexistente na literatura analisada. A visualização temporal complementa a análise ao revelar como os temas evoluíram ao longo do período estudado, com base na média do ano de publicação dos documentos em que cada termo aparece (Figura 4).

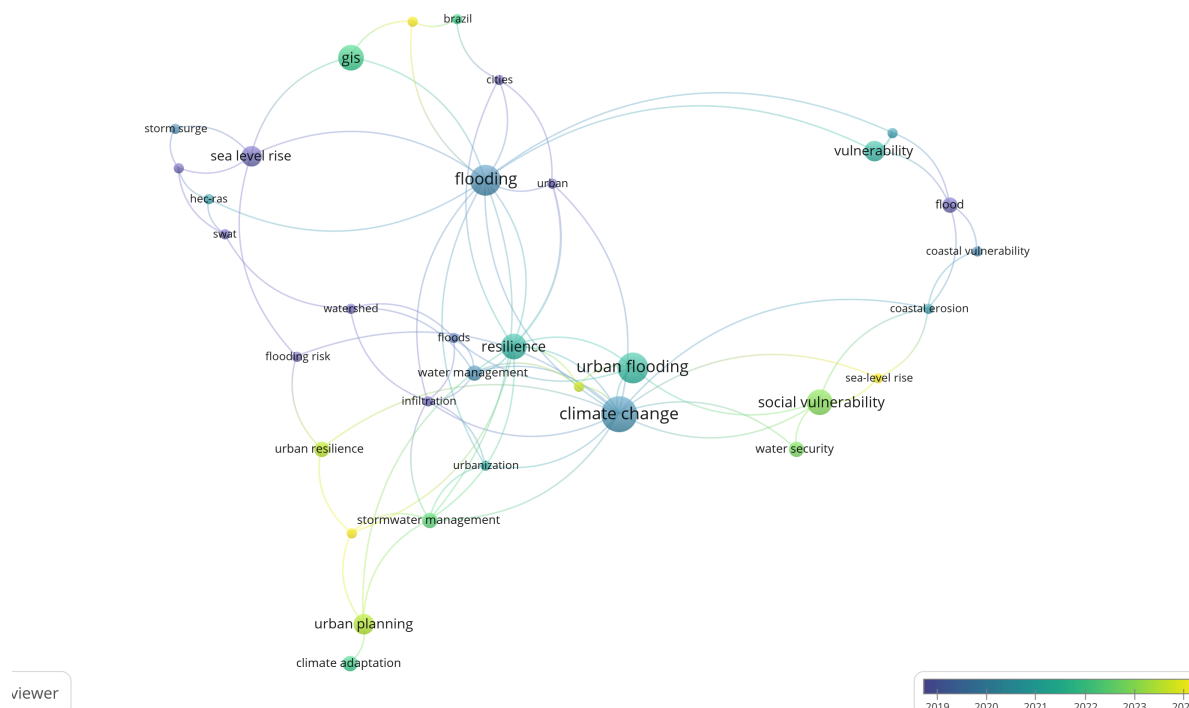


Figura 4. Visualização Temporal de palavras-chave dos artigos analisados

Termos associados à modelagem hidrológica e hidráulica, como HEC-RAS, SWAT e *hydrodynamic modeling*, e ao mapeamento espacial (como GIS) predominam nas publicações mais

antigas do corpus, entre 2019 e 2020, refletindo a centralidade das abordagens técnicas nos anos iniciais. Já os termos *vulnerability* e *social vulnerability* aparecem de forma mais expressiva entre 2022 e 2024, sinalizando uma incorporação mais recente da dimensão da vulnerabilidade nos estudos sobre inundações urbanas no Brasil e nos Estados Unidos.

#### 4. CONCLUSÕES

A revisão bibliométrica proporcionou um panorama das abordagens metodológicas utilizadas na produção científica sobre vulnerabilidade urbana a inundações no Brasil e nos Estados Unidos, no período de 2016 a 2026. Os resultados evidenciaram que a vulnerabilidade social emerge como tema mais recente na literatura, com expressão crescente a partir de 2022, indicando avanços que incorporam a dimensão social dos riscos urbanos. A análise temporal indica uma transição gradual na literatura, que caminha de análises predominantemente físicas e instrumentais para perspectivas que reconhecem a complexidade social dos riscos urbanos associados às inundações.

A rede de co-ocorrência de palavras-chave revelou que modelagem hidrológica, análise espacial e vulnerabilidade social operam como agrupamentos distintos, com conexões limitadas entre si, confirmando que a integração dessas dimensões ainda é incipiente no campo de estudo.

O posicionamento dos termos *vulnerability*, *Brazil* e *flood* na fronteira entre os temas emergentes e básicos indica que, apesar de seu reconhecimento na literatura, o tema da vulnerabilidade urbana a inundações no contexto brasileiro ainda carece de maior aprofundamento metodológico, o que reforça a necessidade de pesquisas voltadas à integração das dimensões social, espacial e hidrológica na análise desse fenômeno.

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o escopo das buscas para bases de dados locais e publicações em língua portuguesa, a fim de capturar contribuições científicas produzidas no Brasil que possam estar sub-representadas nas bases internacionais em razão de barreiras linguísticas e de indexação. Recomenda-se ainda o desenvolvimento de estudos que integrem simultaneamente dimensões sociais, análise espacial e modelagem hidrológica na avaliação da vulnerabilidade urbana a inundações, especialmente em cidades médias do Semiárido brasileiro, onde a combinação de eventos hidrológicos compostos e desigualdades socioespaciais impõe desafios que demandam arcabouços metodológicos mais abrangentes e sensíveis às realidades locais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pesquisa (bolsa de doutorado e projeto de novação) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento ao Projeto internacional.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, T.R.; CRAWFORD, T.; MONTZ, B.; WHITEHEAD, J.; LOVELACE, S.; HANKS, A.D. (2019). "Linking water infrastructure, public health, and sea level rise: integrated assessment of flood resilience in coastal cities". *Public Works Management and Policy*, 24(1), pp. 110–139.
- ALVES, P.B.R.; DJORDJEVIĆ, S.; JAVADI, A.A. (2021). "An integrated socio-environmental framework for mapping hazard-specific vulnerability and exposure in urban areas". *Urban Water Journal*, 18(7), pp. 530–543.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. (2017). "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis". *Journal of Informetrics*, 11(4), pp. 959–975.
- BRITO, A.; MACEDO, D. R. (2025). "Exploring the relationship between urbanization, floods and green infrastructures: a study in the Nado stream watershed, Belo Horizonte, Brazil". *Revista Brasileira de Geografia Física*, 18(5), pp. 4001–4017.
- BRITO, H.C.; ALVES, P.B.R.; HENDRICKS, M.; RUFINO, I.A.A. (2024). "Between urban floods and droughts: mapping risks in Brazil and the United States" in *Anais do XV Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Recife, Set. 2024.
- CARVALHO, R. D. C. F.; MOREIRA, T. R.; SOUZA, K. B. D.; COSTA, G. A.; ZANETTI, S. S.; BARBOSA, S.D. (2022). "GIS-based approach applied to study of seasonal rainfall influence over flood vulnerability". *Water*, 14(22).
- DEBBAGE, N. (2019). "Multiscalar spatial analysis of urban flood risk and environmental justice in the Charlanta megaregion, USA". *Anthropocene*, 28.
- DE PAULA, A. L.; MARCHEZINI, V.; MENDES, T. S. G. (2025). "Participatory analysis of disaster risk creation in Brazilian coastal cities: bridging remote sensing and community knowledge". *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 16(3), pp. 378–401.
- FERNANDES, R.D.; RAMALHO, Â.M.C.; ROSA, C.C.; SOUZA, C.M.M.; MELLO, B.J. (2020). "From water scarcity to water excess: a section in the northeastern semi-arid region and Médio Vale do Itajaí in the South of Brazil". *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(3), pp. 1263–1279.
- GARCIA-ROSABEL, S.; IDOWU, D.; ZHOU, W. (2024). "At the intersection of flood risk and social vulnerability: a case study of New Orleans, Louisiana, USA". *GeoHazards*, 5(3), pp. 866–885.
- GOMES, M.M.A.; VERÇOSA, L.F.M.; CIRILO, J. A. (2021). "Hydrologic models coupled with 2D hydrodynamic model for high-resolution urban flood simulation". *Natural Hazards*, 108(3), pp. 3121–3157.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.

LARA-VALENCIA, F.; GARCIA, M.; NORMAN, L.M.; ANIDES MORALES, A.; CASTELLANOS-RUBIO, E. (2022). "Integrating urban planning and water management through green infrastructure in the United States-Mexico border". *Frontiers in Water*, 4.

LINS-DE-BARROS, F. M. (2017). "Integrated coastal vulnerability assessment: a methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions". *Ocean and Coastal Management*, 149, pp. 1–11.

MANSUR, A.V.; BRONDIZIO, E.S.; ROY, S.; ARAÚJO SOARES, P.P.; NEWTON, A. (2018). "Adapting to urban challenges in the Amazon: flood risk and infrastructure deficiencies in Belém, Brazil". *Regional Environmental Change*, 18(5), pp. 1411–1426.

MARKS, N.K.; HOSSEINY, H.; BILL, V.P.; AHN, K.L.; CRIMMINS, M.C.; KREMER, P. (2022). "Spatial integration of urban runoff modeling, heat, and social vulnerability for blue-green infrastructure planning". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 148(11).

ROSENZWEIG, B.R.; MCPHILLIPS, L.; CHANG, H.; CHENG, C.; WELTY, C.; MATSLER, M.; IWANIEC, D.; SHORT, C.A. (2018). "Pluvial flood risk and opportunities for resilience". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5(6).

SANTANA, P.L.; CAPRARIO, J.; UDA, P.K.; FINOTTI, A.R. (2026). "Land use regulations assessment on the impacts on urban river systems in Florianópolis, southern Brazil". *Land Use Policy*, 161.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. (2010). "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping". *Scientometrics*, 84(2), pp. 523–538.