DIAGNÓSTICO GEOESPACIAL MULTICRITÉRIO DA INSEGURANÇA HÍDRICA EM COMUNIDADES VULNERÁVEIS DE MACEIÓ-AL

Arthur Kauê Buarque da Silva [1]; Wesley Douglas Oliveira Silva [2] ; Iago José de Lima Silva [3]; Andressa Ellen Apolinário Silva [4] & Rogerio Leite dos Santos [5]

RESUMO – A insegurança hídrica representa um importante desafio urbano, especialmente em áreas marcadas por desigualdades socioambientais. Este estudo realizou um diagnóstico geoespacial multicritério da vulnerabilidade hídrica nos 50 bairros de Maceió-AL, integrando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o método CPP-ROC. Foram utilizados indicadores socioeconômicos, demográficos, ambientais e de infraestrutura para a elaboração de um índice de vulnerabilidade e sua espacialização. Os resultados evidenciaram forte heterogeneidade territorial, com o bairro Benedito Bentes apresentando a maior vulnerabilidade (ELF = 0,8541) e Santa Amélia o menor risco relativo (ELF = -0,7512). As áreas mais vulneráveis concentram-se em regiões periféricas com deficiência de saneamento e infraestrutura urbana. A metodologia mostrou-se eficiente para identificar áreas prioritárias e subsidiar ações de planejamento urbano, gestão dos recursos hídricos e adaptação às mudanças climáticas.

ABSTRACT– Water insecurity is a major urban challenge, particularly in areas affected by socio-environmental inequalities. This study carried out a multicriteria geospatial assessment of water vulnerability across the 50 neighborhoods of Maceió, Brazil, integrating Geographic Information Systems (GIS) and the CPP-ROC method. Socioeconomic, demographic, environmental, and infrastructure indicators were used to develop and spatialize a vulnerability index. The results revealed significant territorial disparities, with Benedito Bentes showing the highest vulnerability (NFS = 0.8541) and Santa Amélia the lowest relative risk (NFS = -0.7512). The most vulnerable areas were concentrated in peripheral neighborhoods characterized by inadequate sanitation and urban infrastructure. The methodology proved effective in identifying priority areas and supporting urban planning, water resource management, and climate change adaptation.

Palavras-Chave – Insegurança hídrica; CPP-ROC; Geoprocessamento.

[1] Graduando em Engenharia de Energia no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus A. C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió – Al, (82) 3261-1676, arthur.buarque@ceca.ufal.br
[2] Docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus A.C. Simões, Maceió–AL. Telefone: (82) 3214-1461. E-mail: wesley.oliveira@feac.ufal.br.
[3] Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus A.C. Simões, Maceió–AL. Telefone: (82) 3214-1461. E-mail: iago.silva@icat.ufal.br.
[4] Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus A.C. Simões, Maceió–AL. Telefone: (82) 3214-1461. E-mail: andressaellenadm@hotmail.com
[5] Graduando em Engenharia Florestal no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus A.C. Simões, Maceió–AL. Telefone: (82) 3261-1676. E-mail: rogerio.santos@ceca.ufal.br.

INTRODUÇÃO

A segurança hídrica envolve não apenas a disponibilidade de água, mas também a capacidade de governos e da sociedade de gerir esse recurso de forma eficiente e sustentável (Dadson et al., 2017). Apesar de o acesso à água potável e ao saneamento ser reconhecido como um direito humano fundamental, cerca de 2 bilhões de pessoas ainda vivem em condições de fragilidade hídrica, evidenciando desafios persistentes de governança (Hasan; Ridwan, 2021; Quintslr et al., 2021).

No Brasil, a insegurança hídrica é agravada por desastres socioambientais, crescimento urbano desordenado e eventos climáticos extremos, que comprometem a qualidade da água, a recarga dos reservatórios e a resiliência dos ecossistemas (Martins; Takahashi, 2022; Marengo et al., 2020; Martins-Filho et al., 2024). Esse cenário aumenta o risco de escassez hídrica e amplia os desafios para a gestão urbana e ambiental (Deng et al., 2022).

Em Maceió, a insegurança hídrica decorre do desequilíbrio entre a oferta de água segura e a exposição da população a riscos socioambientais (Grey; Sadoff, 2007). O abastecimento depende, em grande parte, dos aquíferos Barreiras e Marituba, cuja qualidade é ameaçada pela ocupação de áreas de recarga, deficiência no saneamento e processos de intrusão salina (Costa et al., 2021; Brasil, 2021). As mudanças climáticas e a vulnerabilidade socioespacial do município, agravada por áreas de risco geológico e pelos impactos da mineração de sal-gema, intensificam essas pressões e ampliam as desigualdades no acesso à água e ao saneamento (Zhang et al., 2024; Oliveira; Barbosa, 2023; Enqvist et al., 2020).

Em paralelo a literatura destaca a necessidade de ferramentas capazes de identificar populações expostas a riscos e subsidiar a tomada de decisão (Garrick et al., 2017; Babel et al., 2020; Octavianti; Staddon, 2021). A integração entre Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e métodos de Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) permite avaliar simultaneamente fatores ambientais, sociais e territoriais, fornecendo subsídios para o planejamento urbano e a gestão dos recursos hídricos (Keeney; Raiffa, 1993; Guimarães et al., 2023; Ahmadisharaf et al., 2020; Dai et al., 2025).

Nesse sentido, este estudo tem como objetivo realizar um diagnóstico geoespacial multicritério da insegurança hídrica em comunidades vulneráveis de Maceió-AL, identificando áreas prioritárias para intervenções relacionadas ao saneamento, à justiça hídrica e à adaptação às mudanças climáticas, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a garantia do direito humano à água (Meehan et al., 2020).

METODOLOGIA

Caracterização da Área de Estudo

O município de Maceió localiza-se na região leste do estado de Alagoas (Figura 1), abrangendo uma área de 509,295 km² e população estimada em 994.952 habitantes, com densidade demográfica de 1.880,77 hab/km² (IBGE, 2024). Administrativamente, o município é composto por 50 bairros (Figura 2), cuja configuração reflete o processo histórico de expansão urbana da capital alagoana (IBGE, 2022). Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), a temperatura média anual é de 25,4 °C e a precipitação média anual de 2.019,7 mm. De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é do tipo As, tropical com estação seca no verão (Alvares et al., 2013).

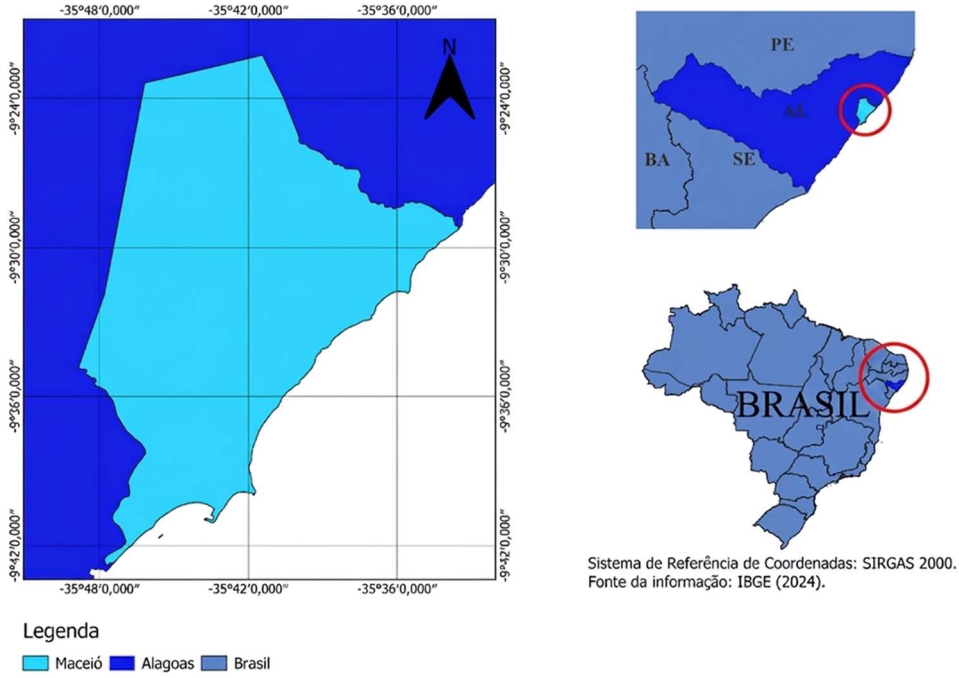


Figura 1 – Localização da área de estudo

A metodologia foi estruturada em cinco etapas integradas, visando realizar um diagnóstico geoespacial da insegurança hídrica no município de Maceió por meio da combinação de técnicas de geoprocessamento e análise multicritério. Inicialmente, foi realizado o levantamento e tratamento de dados socioeconômicos, demográficos, climáticos e ambientais obtidos em bases oficiais, como IBGE e INMET. Essas informações foram organizadas e integradas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilitando a construção das bases cartográficas e das camadas temáticas utilizadas na análise espacial de 50 bairros da cidade de Maceió- AL.

Na segunda etapa, foram definidos os critérios de avaliação da insegurança hídrica, contemplando fatores ambientais, sociais e de infraestrutura. A estruturação desses critérios permitiu representar de forma sistemática as múltiplas dimensões associadas à vulnerabilidade hídrica,

subsidiando a aplicação dos métodos multicritério. Em seguida, foi aplicado o método Composition of Probabilistic Preferences associado ao Rank-Order Centroid (CPP-ROC), conforme proposto por Santos et al. (2025). O método foi utilizado para atribuição dos pesos dos critérios, modelagem das incertezas e geração de rankings de vulnerabilidade, permitindo a avaliação probabilística das alternativas e a análise de diferentes perfis de decisão. Ao final do processo, foi realizada uma análise de sensibilidade com o objetivo de verificar a robustez dos resultados obtidos.

Na quarta etapa, os resultados do modelo multicritério foram integrados ao ambiente SIG, possibilitando a espacialização dos índices de vulnerabilidade e a elaboração de um mapa temático. Essa integração permitiu identificar áreas prioritárias e padrões espaciais associados à insegurança hídrica no município. Por fim, os resultados foram analisados sob a perspectiva da gestão dos recursos hídricos e do planejamento urbano, subsidiando a proposição de estratégias voltadas à mitigação das vulnerabilidades identificadas. Dessa forma, o estudo busca contribuir para a formulação de políticas públicas relacionadas à segurança hídrica, ao saneamento e à adaptação às mudanças climáticas em comunidades socialmente vulneráveis.

Método CPP-ROC

A utilização de modelos probabilísticos tem se mostrado uma alternativa adequada para lidar com a complexidade e as incertezas associadas às variáveis sociais, ambientais e hidrológicas presentes nos ambientes urbanos (Zhang et al., 2024). Diferentemente das abordagens determinísticas, a Composição de Preferências Probabilísticas (CPP) considera os indicadores como distribuições de probabilidade, permitindo representar a variabilidade dos dados e reduzir o risco de diagnósticos influenciados por informações incompletas ou incertas (Santos et al., 2024; Fragoso, Neves e Souza, 2021). Essa característica torna o método especialmente relevante para estudos relacionados à segurança hídrica, nos quais múltiplos fatores interagem simultaneamente.

Para a definição da importância relativa dos critérios, foi empregado o método Rank-Order Centroid (ROC), amplamente utilizado em problemas multicritério por sua simplicidade e capacidade de transformar a ordenação dos critérios em pesos consistentes (Abrams et al., 2024; Ahmadisharaf et al., 2020). A integração entre CPP e ROC permite estruturar o processo decisório de forma mais robusta, gerando rankings que refletem não apenas o desempenho das alternativas, mas também as incertezas associadas aos dados analisados (Tiwari et al., 2024).

Outra vantagem da abordagem CPP-ROC é sua capacidade de integrar critérios de diferentes naturezas, incluindo aspectos socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura, possibilitando uma análise mais abrangente da insegurança hídrica (Babuna et al., 2023; Melo et al., 2024). Dessa forma,

o método contribui para a identificação de áreas prioritárias para intervenção, favorecendo processos de planejamento mais inclusivos e transparentes (Oliveira e Silva, 2025).

Além disso, a robustez da metodologia é reforçada pela realização de análises de sensibilidade, que permitem avaliar a estabilidade dos resultados frente a alterações nos pesos dos critérios e às incertezas inerentes ao processo decisório (Pereira e Gomez, 2024; Hansen et al., 2025). Essa característica reduz a possibilidade de classificações inconsistentes e fornece maior confiabilidade para a tomada de decisão em cenários complexos (Cardoso et al., 2024).

Dessa forma, a combinação entre CPP e ROC constitui uma ferramenta eficiente para apoiar a gestão dos recursos hídricos e o planejamento urbano, permitindo avaliar diferentes cenários de vulnerabilidade e subsidiar políticas públicas voltadas à redução das desigualdades no acesso à água e ao fortalecimento da segurança hídrica (Miller e Yang, 2024; Thompson e Schmidt, 2024; García-López et al., 2025).

A análise representativa do Escore Líquido Final (ELF) representa a diferença entre as probabilidades agregadas de um bairro apresentar maior ou menor vulnerabilidade hídrica em relação às demais alternativas avaliadas. Valores positivos indicam predominância de fatores de risco, enquanto valores negativos refletem condições relativamente mais favoráveis. Quanto mais próximo de +1, maior a vulnerabilidade; quanto mais próximo de -1, menor o risco relativo. Dessa forma, a classificação proposta permite identificar gradualmente os níveis de insegurança hídrica, desde situações críticas até cenários de maior proteção socioambiental.

Tabela 1 – Escore de Classificação de risco.

Escore Líquido Final	**Classificação**
ELF ≥ +0,80	Vulnerabilidade Crítica
+0,60 ≤ ELF < +0,80	Muito Alta
+0,40 ≤ ELF < +0,60	Alta
+0,20 ≤ ELF < +0,40	Moderada-Alta
−0,20 ≤ ELF < +0,20	Moderada
−0,40 ≤ ELF < −0,20	Limiar de Alerta
−0,60 ≤ ELF < −0,40	Baixa-Moderada
−0,80 ≤ ELF < −0,60	Baixa
ELF < −0,80	Mínimo Risco

RESULTADOS

A aplicação do método CPP-ROC permitiu avaliar e hierarquizar os 50 bairros de Maceió quanto à vulnerabilidade e insegurança hídrica socioespacial. A integração dos resultados em ambiente SIG possibilitou a espacialização dos índices e a identificação das desigualdades territoriais relacionadas ao acesso à água e à exposição a riscos ambientais.

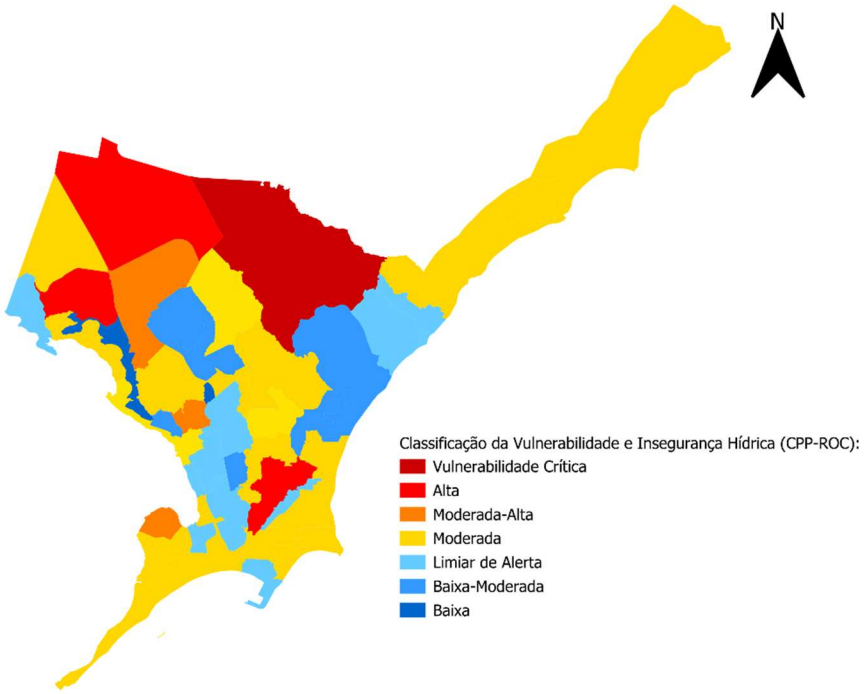


Figura 2 – Mapa de vulnerabilidade e insegurança hídrica dos bairros de Maceió - AL, gerado em ambiente SIG a partir do método CPP-ROC.

O bairro Benedito Bentes apresentou o maior escore líquido final (0,8541), sendo o único enquadrado na categoria "Vulnerabilidade Crítica". Esse resultado evidencia uma elevada concentração de fragilidades socioambientais, associadas à alta densidade populacional, ao crescimento urbano desordenado e às deficiências históricas de infraestrutura. Nesse contexto, a população encontra-se mais exposta a problemas relacionados à disponibilidade e à qualidade da água, situação agravada pela precariedade dos serviços de saneamento. Destaca-se que nenhum bairro foi classificado na categoria "Muito Alta", evidenciando uma transição direta entre as classes Crítica e Alta.

Na sequência, os bairros Cidade Universitária (0,5814), Jacintinho (0,4729) e Clima Bom (0,4290) foram classificados na categoria "Vulnerabilidade Alta". Esses resultados reforçam a relação entre vulnerabilidade hídrica e desigualdade socioespacial, demonstrando que a segurança hídrica depende não apenas da disponibilidade física do recurso, mas também do acesso adequado aos serviços de infraestrutura urbana. No caso do Jacintinho, fatores geomorfológicos, como a presença de encostas e grotas, associados à deficiência dos sistemas de drenagem, potencializam os impactos decorrentes de eventos pluviométricos intensos.

Na categoria "Moderada-Alta" enquadram-se os bairros Tabuleiro do Martins (0,3741), Vergel do Lago (0,3215) e Chã da Jaqueira (0,2108). Embora apresentem condições menos críticas, esses bairros ainda demandam intervenções voltadas ao fortalecimento da infraestrutura e da gestão dos

recursos hídricos. O Vergel do Lago constitui um exemplo representativo, evidenciando que a proximidade com corpos hídricos não implica, necessariamente, maior segurança hídrica, sobretudo em contextos marcados por vulnerabilidade socioeconômica e degradação ambiental.

A maior parte dos bairros foi classificada na categoria "Moderada", abrangendo desde Santos Dumont (0,1894) até Ipioca (-0,1954). Esses bairros apresentam limitações estruturais, porém dispõem de maior capacidade de adaptação às condições adversas. Por sua vez, a categoria "Limiar de Alerta" compreende os bairros Mangabeiras (-0,2102), Jaraguá (-0,2291), Farol (-0,3104), Mutange (-0,3290) e Pinheiro (-0,3798), os quais apresentam condições relativamente mais favoráveis, mas ainda suscetíveis a agravamentos decorrentes da deterioração dos serviços públicos e da infraestrutura urbana.

As menores vulnerabilidades foram observadas nos bairros Pitanguinha (-0,4014), Jacarecica (-0,4290), São Jorge (-0,4591), Santa Lúcia (-0,5390), Jardim Petrópolis (-0,5814), Santo Amaro (-0,6347) e Santa Amélia (-0,7512), que apresentou o menor escore da análise. Esses bairros tendem a possuir melhores condições de abastecimento de água, cobertura de esgotamento sanitário e infraestrutura urbana. Entretanto, nenhum dos bairros avaliados foi enquadrado na categoria Mínimo Risco, indicando que, mesmo nas áreas mais favorecidas, ainda persistem fatores associados à vulnerabilidade e à insegurança hídrica. Destaca-se, contudo, o caso do Mutange (-0,3290), cuja classificação deve ser interpretada com cautela. O resultado relativamente favorável está associado ao processo de desocupação decorrente do desastre socioambiental relacionado à exploração de sal-gema. Assim, a redução da população residente diminuiu a pressão sobre os sistemas urbanos, sem que isso represente, necessariamente, uma melhoria efetiva das condições socioambientais locais.

Por fim, a distribuição espacial da vulnerabilidade hídrica em Maceió reflete desigualdades históricas de infraestrutura e desenvolvimento urbano. Os resultados indicam a necessidade de priorização dos bairros classificados nas categorias Crítica, Alta e Moderada-Alta por meio da ampliação dos serviços de abastecimento e saneamento, da redução das perdas nos sistemas de distribuição e da implementação de estratégias voltadas ao fortalecimento da resiliência urbana frente aos eventos climáticos extremos.

CONCLUSÃO

A integração do método CPP-ROC com técnicas de geoprocessamento permitiu identificar e espacializar a vulnerabilidade e a insegurança hídrica nos bairros de Maceió. Os resultados evidenciaram forte desigualdade socioespacial, com maior vulnerabilidade concentrada em áreas periféricas marcadas por deficiência de infraestrutura e saneamento. O bairro Benedito Bentes apresentou o maior nível de vulnerabilidade, enquanto bairros com melhores condições urbanas

registraram menores riscos relativos. Esses achados demonstram que a insegurança hídrica está diretamente relacionada às desigualdades socioeconômicas e ao acesso aos serviços básicos. Dessa forma, o estudo fornece subsídios para a priorização de investimentos em saneamento, abastecimento de água e adaptação às mudanças climáticas, contribuindo para o fortalecimento da segurança hídrica e da justiça socioambiental em Maceió.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo apoio financeiro e à Universidade Federal de Alagoas (UFAL) pelo apoio acadêmico e institucional ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, S. et al. (2024). "Multi-criteria decision analysis for water resources management: A review of methods and applications". Water Resources Management 38(4), p. 1245-1262.

AHMADISHARAF, E. et al. (2020). "Multi-criteria decision making for sustainable water resources management under uncertainty". Water Resources Management 34(8), p. 2545–2562.

ALVARES, C. A. et al. (2013). "Köppen's climate classification map for Brazil". Meteorologische Zeitschrift 22(6), p. 711–728.

BABEL, L. S. et al. (2020). "Development of a water security index for the urban context: A case study of Delhi, India". Environmental Development 33, p. 100491.

BABUNA, P. et al. (2023). "Modeling water inequality and water security: the role of water governance". Journal of Environmental Management 326, p. 116815.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2021). "Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade". Brasília, DF: Ministério da Saúde.

CARDOSO, L. et al. (2024). "Overcoming deterministic bias in urban water management through probabilistic MCDA". Water Resources Research 61(3).

COSTA, A. M. et al. (2021). "Avaliação da vulnerabilidade intrínseca de aquíferos em áreas urbanas: o caso de Maceió, Alagoas". Revista Brasileira de Gestão e Engenharia 23(1), p. 45-60.

DADSON, S. J. et al. (2017). "Water security and society: risks, metrics, and pathways". Annual Review of Environment and Resources 42, p. 387–414.

DAI, H. W. et al. (2025). "Geospatial decision support system for urban and rural aquifer resilience". Rangeland Ecology & Management 99, p. 102–118.

DENG, H. et al. (2022). "Comprehensive evaluation on urban water security based on the novel DPEBLR concept model". Water 14(21), p. 3486.

ENQVIST, J. P. et al. (2020). "Water equity: Why it matters, and how to measure it". Water Security 9, p. 100059.

FRAGOSO, C. R.; NEVES, M. G. F. P.; SOUZA, V. C. B. (2021). "Análise da vulnerabilidade socioambiental a inundações em bacias hidrográficas urbanas: o caso de Maceió-AL". Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH) 26.

GARCÍA-LÓPEZ, F. et al. (2025). "Adaptive planning for water resources: the role of probabilistic MCDA in long-term policy". Global Environmental Change 85, p. 102812.

GARRICK, D. E. et al. (2017). "Valuing water for sustainable development". Science 358(6366), p. 1003-1005.

GREY, D.; SADOFF, C. W. (2007). "Sink or swim? Water security for growth and development". Water Policy 9, p. 545–571.

GUIMARÃES, R. N. et al. (2023). "A conceptual model to establish preventive and corrective actions to guarantee water safety following scenarios of tailing dam failure". Journal of Environmental Management 344, p. 118506.

HANSEN, K. et al. (2025). "Sensitivity analysis in rank-order centroid weighting: implications for social equity". Decision Support Systems 176, p. 114088.

HASAN, M. M.; RIDWAN, W. M. (2021). "The human right to water and sanitation: a review of global implementation and challenges". Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development 11(5), p. 691–707.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2022). "Malha de setores censitários: divisões intramunicipais". Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2024). "Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais 2023: notas metodológicas n. 01/2024". Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br.

INMET. (2021). "Normais Climatológicas do Brasil (1991–2020)". Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. (1993). "Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs". Cambridge: Cambridge University Press.

MARENGO, J. A. et al. (2021). "Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts". Frontiers in Water 3, p. 1-13.

MARTINS, B. de A.; TAKAHASHI, J. A. (2022). "Metal-Rich Mine-Tailing Spills in Brazil and the Consequences for the Surrounding Water Bodies". Water, Air, & Soil Pollution 233(11), p. 473.

MARTINS-FILHO, P. R. et al. (2024). "Brazil is already experiencing the brutal impacts of climate change". Revista de Saúde Pública 58, e6.

MEEHAN, K. et al. (2020). "Geographies of water insecurity: A review of edges and excesses". Progress in Human Geography 44(4), p. 662-684.

MELO, T. A. et al. (2024). "Water governance and decision support systems in Brazil: Integrating social and technical criteria for resilience". Water Resources Management 38(2).

MILLER, R.; YANG, J. (2024). "Balancing biophysical and socioeconomic criteria in urban water management under uncertainty". Environmental Science & Policy 152, p. 44-56.

OCTAVIANTI, T.; STADDON, C. (2021). "A review of 80 assessment tools measuring water security". WIREs Water 8(3), e1516.

OLIVEIRA, C. S.; BARBOSA, M. F. N. (2023). "O direito à cidade em disputa: o desastre da mineração em Maceió e a resistência dos atingidos". Direito e Práxis 14(4).

OLIVEIRA, R. M.; SILVA, A. C. (2025). "Water justice and traditional communities in Latin America: a 2025 perspective". Water Resources Management 39(2).

PEREIRA, M. S.; GOMEZ, R. (2024). "Monte Carlo simulations in the composition of probabilistic preferences: a technical review". European Journal of Operational Research 315(2), p. 542-558.

QUINTSLR, S. et al. (2021). "From the global to the local: water insecurity and vulnerability". Environmental Science & Policy 124, p. 112–125.

SANTOS, M. A.; NEVES, M. G. F. P.; SOUZA, V. C. B. (2024). "Uncertainty analysis in water vulnerability models using probabilistic multicriteria methods". Brazilian Journal of Water Resources (RBRH) 29.

SANTOS, M. A. et al. (2025). "Geospatial diagnosis of water insecurity in traditional communities: a 2025 update". Journal of South American Earth Sciences 135.

THOMPSON, H.; SCHMIDT, L. (2024). "Dynamic ranking and temporal stability in water security assessments". Water Resources Research 60(4).

TIWARI, A. et al. (2024). "Multi-criteria decision analysis for resilient urban water planning". Journal of Environmental Management 352, p. 119135.

ZHANG, X. et al. (2024). "Water security and climate adaptation: a global perspective for 2024". Water Resources Research 60(1).