

RISCO CLIMÁTICO HÍDRICO EM ÁREAS DE MANANCIAIS: ANÁLISE DAS TRANSFORMAÇÕES TERRITORIAIS NO MANANCIAL DO PASSAÚNA (PR)

Phamella Lorenzen¹; Altair Rosa² & Juliana de Toledo Machado³

RESUMO – Este estudo analisa a relação entre alterações territoriais e risco climático hídrico no manancial do Passaúna, localizado na Região Metropolitana de Curitiba, com foco na dinâmica da cobertura vegetal, superfície hídrica e turbidez. A expansão urbana, a supressão da vegetação e a impermeabilização do solo são consideradas vetores de pressão sobre os recursos hídricos, em um contexto de mudanças climáticas e vulnerabilidade territorial. Metodologicamente, adotou-se abordagem quantitativa baseada em análise espacial por Sensoriamento Remoto, com suporte interpretativo. Foram utilizadas imagens Landsat 8/9 dos anos de 2014 e 2025, com aplicação dos índices NDVI, NDWI e NDTI, associados à detecção de mudanças por diferença de imagens e à análise integrada com indicadores do AdaptaBrasil. Os resultados indicam redução da superfície hídrica, aumento da turbidez e alterações na cobertura vegetal, evidenciando a relação entre mudanças no uso do solo, incremento do aporte sedimentar e degradação das condições ambientais do manancial. Conclui-se que as transformações territoriais observadas contribuem para o aumento do risco climático hídrico, associadas à pressão antrópica e à suscetibilidade do sistema ambiental.

Palavras-Chave – Risco Climático Hídrico; Sensoriamento Remoto; Manancial.

ABSTRACT– This study analyzes the relationship between territorial changes and hydro-climatic risk in the Passaúna watershed, located in the Metropolitan Region of Curitiba, Brazil, with a focus on the dynamics of vegetation cover, water surface, and turbidity. Urban expansion, vegetation removal, and soil sealing are considered key drivers of pressure on water resources, within a context of climate change and territorial vulnerability. Methodologically, a quantitative approach based on remote sensing spatial analysis was adopted, supported by interpretative assessment. Landsat 8/9 imagery from 2014 and 2025 was used, applying the NDVI, NDWI, and NDTI indices, combined with change detection through image differencing and integrated analysis with AdaptaBrasil indicators. The results indicate a reduction in water surface area, an increase in turbidity, and changes in vegetation cover, highlighting the relationship between land use changes, increased sediment input, and the progressive degradation of watershed environmental conditions. It is concluded that the observed territorial transformations contribute to the intensification of hydro-climatic risk, associated with anthropogenic pressure and the susceptibility of the environmental system.

Key-words – Hydro-climatic risk; Remote sensing; Watershed; Land use change; Environmental degradation

INTRODUÇÃO

A urbanização em áreas ambientalmente sensíveis intensifica pressões sobre os recursos hídricos, especialmente em mananciais, onde a expansão urbana, a supressão da cobertura vegetal e

1) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba, PR, Brasil, CEP 80215-901. E-mail: lorenzen.phamella@hotmail.com

2) Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo com período como Visiting Scholar na Virginia Tech University - EUA. Professor do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba, PR, Brasil, CEP 80215-901. E-mail: altair.rosa@pucpr.br.

³ Pesquisadora Associada do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba, PR, Brasil, CEP 80215-901. E-mail: julitoledomachado@gmail.com.

a impermeabilização do solo comprometem a quantidade e a qualidade da água. Esse processo é agravado pelas mudanças climáticas, que alteram regimes de precipitação, vazão e evapotranspiração, ampliando as incertezas quanto à disponibilidade hídrica e afetando a recarga, a qualidade da água e a estabilidade dos ecossistemas aquáticos (BRASIL. ANA, 2024; Smith et al., 2019).

Nesse contexto, o risco climático hídrico é compreendido como resultado da interação entre ameaças, exposição e vulnerabilidade, sendo condicionado pelas formas de ocupação, regulação e monitoramento do território (Roa et al., 2025; IPCC, 2022). Em áreas de mananciais, essa condição é relevante, uma vez que alterações no uso e cobertura do solo interferem diretamente nos processos hidrológicos e na qualidade ambiental dos sistemas hídricos.

A proteção de mananciais insere-se no debate sobre sustentabilidade urbana e segurança hídrica, sobretudo em regiões metropolitanas marcadas pela expansão urbana e pelo aumento das pressões territoriais (Alvim et al., 2015). Essa discussão relaciona-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente ao ODS 6, voltado à garantia da disponibilidade e qualidade da água, ao ODS 11, referente ao ordenamento territorial, e ao ODS 13, que aborda a adaptação às mudanças climáticas. Nessa perspectiva, a conservação dos mananciais depende da capacidade institucional de orientar a ocupação do território, conter usos incompatíveis e articular planejamento urbano, políticas ambientais e gestão das águas, especialmente em contextos metropolitanos que demandam governança integrada (Philippi Jr. et al., 2009; Li et al., 2023).

As transformações no uso e ocupação do solo constituem um dos principais vetores de pressão sobre mananciais urbanos. A expansão da malha urbana, a impermeabilização, o desmatamento e as ocupações irregulares reduzem a infiltração, intensificam o escoamento superficial e favorecem processos erosivos e de assoreamento (Ahmad et al., 2025; Nahib et al., 2025). Esses processos afetam a qualidade da água, a recarga hídrica e a estabilidade dos ecossistemas aquáticos, com impactos sobre o abastecimento e outros usos dependentes da água. No Brasil, esse quadro é agravado pela urbanização acelerada e por déficits históricos de planejamento (Vanzela, 2010; Smith et al., 2019; Tucci, 1997).

Apesar dos avanços na compreensão desses processos, ainda são limitados estudos que integrem a análise das transformações territoriais e indicadores de risco climático hídrico em escala de mananciais urbanos por meio de abordagens multitemporais baseadas em sensoriamento remoto. Essa lacuna é particularmente relevante em contextos metropolitanos, onde a dinâmica de uso do solo e as pressões ambientais ocorrem de forma acelerada e heterogênea.

Nesse sentido, o sensoriamento remoto constitui ferramenta adequada para a análise das transformações territoriais, permitindo identificar padrões de uso e cobertura do solo, variações na vegetação e alterações na superfície hídrica por meio de imagens de satélite e análise multitemporal

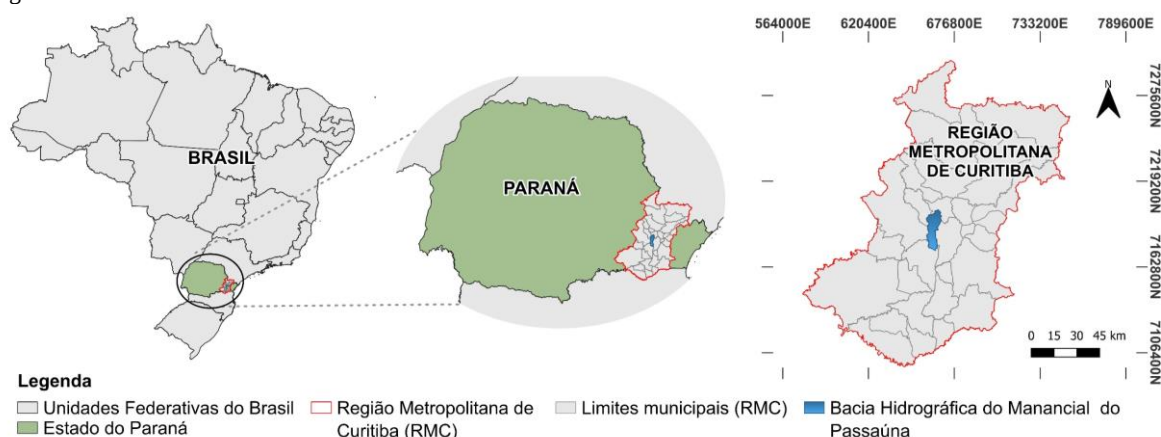
(Ahmad et al., 2025; Lein, 2014; Parra, 2022). A aplicação de índices espectrais amplia essa capacidade, possibilitando a avaliação de condições da vegetação, áreas construídas e corpos hídricos, bem como a inferência de aspectos da qualidade ambiental da água (Chaudhri e Nixon, 2022; Kadhim et al., 2016; Lima et al., 2025; Shi e Li, 2021; Kaplan, 2022; Qian et al., 2022).

Diante desse contexto, a pesquisa parte da seguinte questão: como as transformações territoriais no manancial do Passaúna se relacionam ao risco climático hídrico? O objetivo do estudo é analisar essa relação com base em dados de sensoriamento remoto e indicadores do AdaptaBrasil, considerando a dinâmica da cobertura vegetal, da superfície hídrica e da turbidez. Parte-se da premissa de que as transformações no uso do solo, associadas aos efeitos das mudanças climáticas, influenciam diretamente a disponibilidade e a qualidade da água, contribuindo para o aumento do risco climático hídrico.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa adota abordagem quantitativa baseada em análise espacial por sensoriamento remoto. A área de estudo corresponde ao Manancial do Passaúna, localizado na porção oeste da Região Metropolitana de Curitiba, no Estado do Paraná (Figura 1), inserido na bacia do Alto Iguaçu. O reservatório abrange Curitiba, Araucária e Campo Largo, enquanto a bacia hidrográfica do rio Passaúna também inclui porções de Campo Magro e Almirante Tamandaré. Com cerca de 217 km², a bacia situa-se no Primeiro Planalto Paranaense, apresenta relevo ondulado a forte ondulado, altitudes entre 875 m e 1.050 m, clima Cfb e precipitação média anual estimada em 1.571 mm (CURITIBA, 2013; Ono *et al.*, 2020).

Figura 1 - Área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2026), a partir dos dados geográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) e da Agência de Assuntos Metropolitanos do Paraná (AMEP, 2025).

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8 e 9, sensor OLI (*Operational Land Imager*), com resolução espacial de 30 metros, obtidas a partir da plataforma USGS, considerando produtos de

reflectância de superfície. Selecionaram-se imagens referentes aos anos de 2014 e 2025, com cobertura de nuvens inferior a 10% e aquisição em períodos sazonais equivalentes (mês de março), visando garantir comparabilidade temporal e reduzir interferências atmosféricas e sazonais. Considerando a sensibilidade da lâmina d'água e da turbidez à precipitação antecedente, os dados indicam condições pluviométricas semelhantes nos períodos analisados, nos limites da área de estudo. Entre novembro de 2013 e fevereiro de 2014, o acumulado foi de 576 mm, enquanto, entre novembro de 2024 e fevereiro de 2025, foi de 565 mm (MapBiomas Atmosfera, 2026; SIMEPAR, 2026). Assim, as alterações observadas pelos índices espectrais não parecem decorrer de diferença expressiva na precipitação antecedente, devendo ser interpretadas em conjunto com as mudanças no uso e cobertura do solo.

O processamento foi realizado no software QGIS (versão 3.40.6), utilizando a calculadora raster. Foram empregadas as bandas B3 (verde: 0,53-0,59 μm), B4 (vermelho: 0,64-0,67 μm) e B5 (infravermelho próximo: 0,85-0,88 μm). Para a análise das condições ambientais, foram calculados os índices espectrais NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*) e NDTI (*Normalized Difference Turbidity Index*), definidos pelas seguintes expressões:

$$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{(B3 - B5)}{(B3 + B5)} \quad (2)$$

$$NDTI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)} \quad (3)$$

A análise multitemporal foi conduzida por meio de detecção de mudança utilizando a técnica de diferença de imagens, a partir da subtração pixel a pixel entre os anos de 2025 e 2014. O raster resultante foi submetido à análise estatística exploratória, considerando a média (μ) e o desvio padrão (σ), sendo adotado o intervalo de $\pm 2\sigma$ como critério para identificação de mudanças significativas, conforme abordagem aplicada em estudos de detecção de mudanças em sensoriamento remoto (Neta et al., 2018). Valores fora desse intervalo foram interpretados como anomalias positivas ou negativas, indicativas de alterações relevantes no período analisado.

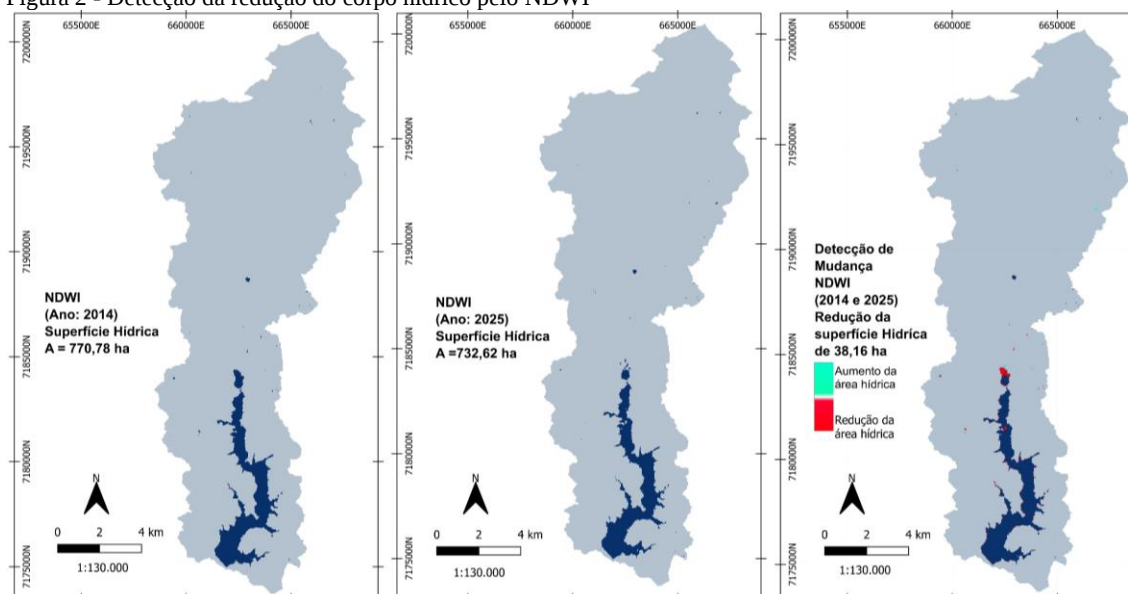
A interpretação dos resultados foi articulada aos indicadores de risco climático para recursos hídricos disponibilizados pelo sistema AdaptaBrasil (MCTI, 2026), com foco no índice de sensibilidade, especialmente nos componentes relacionados à pressão antrópica e áreas degradadas ou desmatadas. Considerando que esses dados são disponibilizados em escala municipal, sem detalhamento intra-bacia, sua utilização teve caráter complementar, permitindo contextualizar as alterações espectrais observadas no manancial.

Nesse sentido, a redução dos valores de NDVI, a retração do NDWI e o aumento do NDTI foram interpretados como evidências consistentes de transformações territoriais associadas à pressão antrópica, ao aumento do aporte sedimentar e à intensificação da sensibilidade hídrica do sistema ambiental. Ressalta-se que esses índices não aferem diretamente a mudança climática, mas indicam alterações na cobertura vegetal, na superfície hídrica e na turbidez relativa, que podem ampliar a vulnerabilidade do sistema em contexto de risco climático hídrico, especialmente quando articuladas aos indicadores do AdaptaBrasil.

ANÁLISE E DISCUSSÃO

Os resultados indicam alterações na dinâmica hídrica do manancial entre 2014 e 2025, com destaque para a redução da superfície de água. A aplicação do NDWI evidenciou diminuição da área hídrica de 770,78 ha, em 2014, para 732,62 ha, em 2025, correspondendo à perda de 38,16 ha (4,95% da área inicial) (Figura 2). A análise espacial da detecção de mudanças mostra que essa retração se concentra nas áreas marginais e em trechos mais estreitos do manancial (Figura 2), regiões que tendem a apresentar maior sensibilidade a variações hidrológicas e a pressões associadas ao uso do solo. Considerando a resposta espectral do NDWI e a distribuição espacial das alterações, os resultados sugerem redução da conectividade hídrica local e indicam possíveis processos de degradação ambiental. Essas mudanças são compatíveis com cenários de aumento da sensibilidade hídrica, especialmente quando associadas à pressão antrópica nas áreas de entorno.

Figura 2 - Detecção da redução do corpo hídrico pelo NDWI

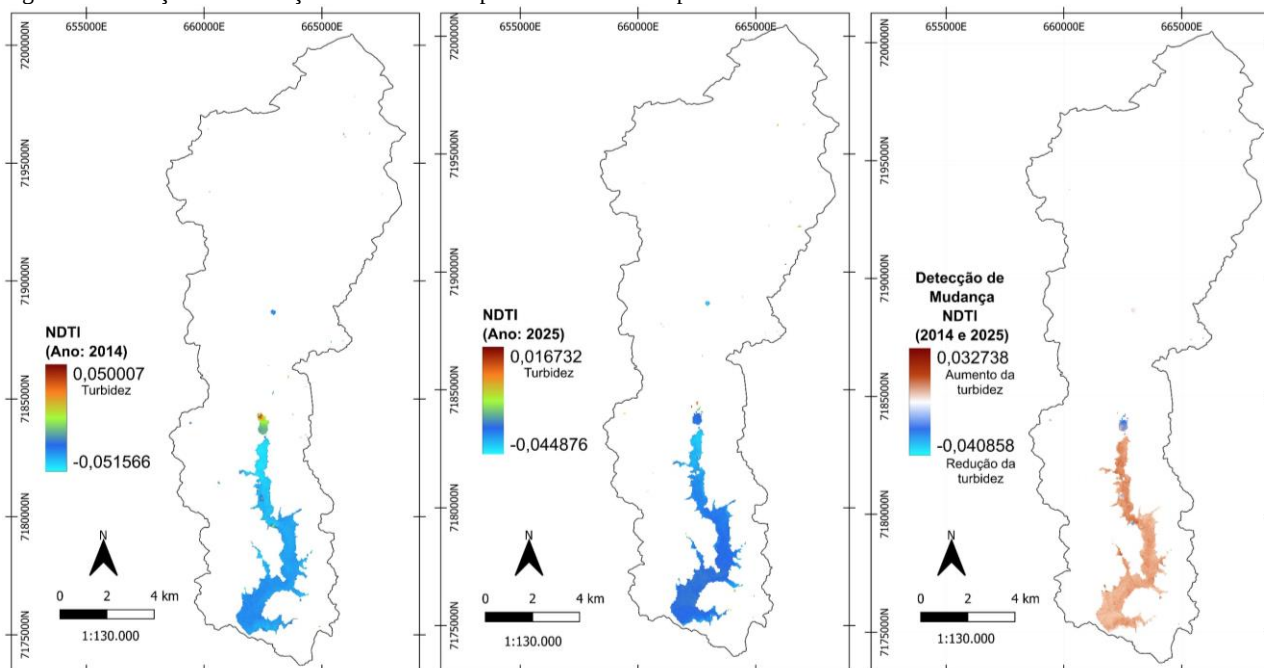


Fonte: Elaborado pelos autores (2026), a partir de imagens Landsat 8/9, disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS, 2026), e de dados geográficos da Agência de Assuntos Metropolitanos do Paraná (AMEP, 2025).

De modo complementar, a aplicação do NDTI permitiu identificar, em 2014, áreas pontuais com valores mais elevados do índice, sugerindo maior resposta espectral associada à presença de

material particulado em suspensão no reservatório. Na análise de detecção de mudanças entre 2014 e 2025, o índice apresentou média de 0,0050 e desvio padrão de 0,0052. Com base no critério de $\pm 2\sigma$, foram definidos como anomalias negativas os valores inferiores a -0,0058 e como anomalias positivas aqueles superiores a 0,0150. Considerando que valores mais elevados de NDTI tendem a refletir maior resposta espectral associada à presença de material particulado em suspensão, o padrão observado sugere incremento relativo da turbidez no sistema hídrico, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Detecção de mudança da turbidez na represa do Passaúna a partir do índice NDTI



Fonte: Elaborado pelos autores (2026), a partir de imagens Landsat 8/9, disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS, 2026), e de dados geográficos da Agência de Assuntos Metropolitanos do Paraná (AMEP, 2025).

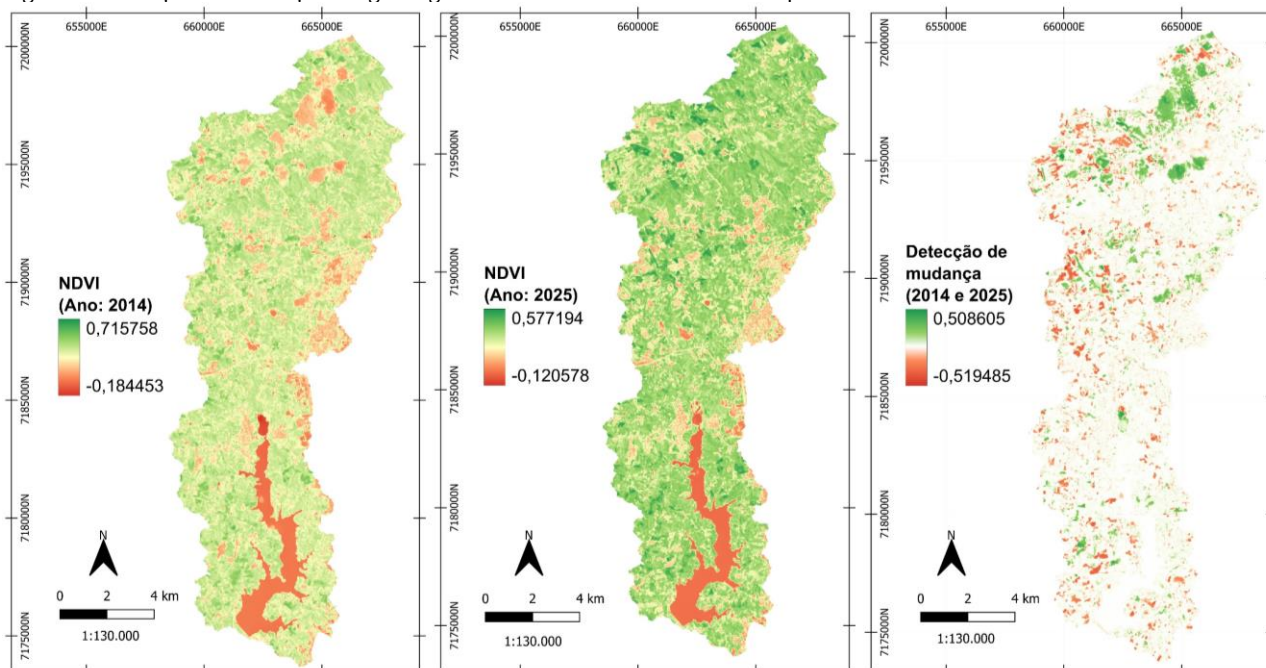
A análise de detecção de mudanças indicou predomínio de anomalias positivas em grande parte do reservatório, sobretudo na porção centro-sul e em trechos marginais, evidenciando aumento da turbidez ao longo do período analisado. Embora, em 2014, tenham sido registrados valores máximos mais elevados em áreas isoladas, principalmente na porção norte, onde também se verificou redução da superfície hídrica, a análise multitemporal demonstra que, em 2025, o aumento do NDTI ocorre de forma mais distribuída no corpo hídrico.

Em articulação com os resultados do NDWI, que indicam retração da superfície de água, esse comportamento é compatível com processos de degradação ambiental, possivelmente associados ao aumento do aporte de material particulado e à intensificação da sensibilidade hídrica do sistema.

A detecção de mudança do NDVI apresentou valor médio de 0,0112 e desvio padrão de 0,0914, permitindo estabelecer como anomalias positivas os valores superiores a 0,1939 e como anomalias negativas os valores inferiores a -0,1715. As anomalias positivas correspondem a áreas com aumento expressivo do NDVI entre 2014 e 2025, indicando maior vigor vegetativo e possível

ampliação ou adensamento da cobertura vegetal. Por sua vez, as anomalias negativas representam áreas com redução do índice, sugerindo perda de cobertura vegetal, maior exposição do solo ou substituição por usos antrópicos (Figura 4).

Figura 4 - Detecção de mudança do vigor vegetativo no manancial do Passaúna a partir do índice NDVI.

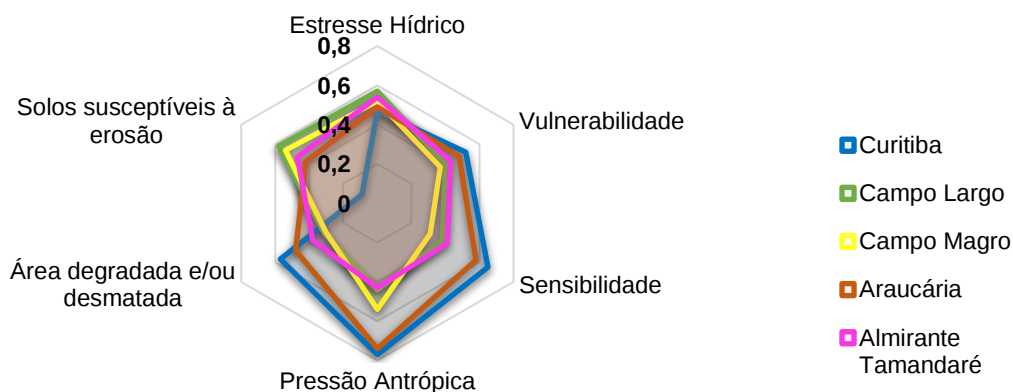


Fonte: Elaborado pelos autores (2026), a partir de imagens Landsat 8/9, disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS, 2026), e de dados geográficos da Agência de Assuntos Metropolitanos do Paraná (AMEP, 2025).

Assim, em conjunto, os resultados indicam que as transformações na cobertura vegetal e no uso do solo estão associadas a mudanças na dinâmica hídrica do manancial, refletidas no aumento da turbidez e na redução da lâmina d'água. Esse padrão é compatível com processos de degradação ambiental, possivelmente relacionados ao aumento do aporte de material particulado no sistema. Os resultados não representam mensuração direta da mudança climática, mas evidenciam alterações territoriais e ambientais que podem intensificar a vulnerabilidade do manancial. As mudanças na cobertura vegetal, a retração da superfície hídrica e o aumento relativo da turbidez apontam para condições que agravam a sensibilidade do sistema hídrico diante de cenários climáticos mais instáveis.

A interpretação dos resultados do sensoriamento remoto mostra-se consistente com os indicadores do AdaptaBrasil, que apontam, no contexto regional, valores predominantemente médios para o estresse hídrico nos municípios associados à área do manancial, variando entre 0,47 e 0,57 (Figura 5). Esses resultados reforçam a leitura de que as alterações espectrais observadas se inserem em um contexto territorial marcado por pressões ambientais e sensibilidade hídrica.

Figura 5 - Índices de Risco Climático e Vulnerabilidade Ambiental nos municípios relacionado à área do manancial do Passaúna



Fonte: Elaborado pelos autores (2026), a partir dos indicadores da plataforma AdaptaBrasil (MCTI, 2026).

Além disso, os indicadores de vulnerabilidade e sensibilidade apontam maior criticidade em Curitiba, com valores de 0,52 e 0,65, e em Araucária, com 0,48 e 0,58. Nesses municípios, também se observam os maiores níveis de pressão antrópica e área degradada, com valores de 0,77 e 0,57 em Curitiba e 0,74 e 0,48 em Araucária, respectivamente.

Nos municípios de Campo Largo, Campo Magro, Araucária e Almirante Tamandaré, identificam-se níveis médios de suscetibilidade à erosão, com valores de 0,58, 0,54, 0,42 e 0,47, o que sugere potencial contribuição de sedimentos para o reservatório.

Em conjunto, esses indicadores indicam que o contexto regional é caracterizado por elevada pressão ambiental nos municípios mais urbanizados e industrializados, como Curitiba e Araucária. Por outro lado, os municípios periféricos, embora submetidos a menor intensidade de pressão antrópica, apresentam condições que podem favorecer processos erosivos e impactos indiretos sobre a dinâmica hídrica do manancial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que as transformações territoriais observadas no manancial do Passaúna entre 2014 e 2025 estão associadas a alterações nas condições ambientais do sistema hídrico, evidenciadas pela retração da superfície de água, pelo aumento espacialmente distribuído da turbidez relativa e por mudanças na cobertura vegetal. A análise integrada dos índices espectrais sugere a ocorrência de processos relacionados ao aumento do escoamento superficial e ao aporte de material particulado, possivelmente associados às mudanças no uso e cobertura do solo.

Em convergência com esses resultados, os indicadores de risco climático do AdaptaBrasil indicam, no contexto regional, níveis médios de estresse hídrico, associados a maior vulnerabilidade, sensibilidade, pressão antrópica e suscetibilidade à erosão em municípios da área de influência do manancial.

Nesse sentido, o estudo demonstra que os índices espectrais multitemporais permitem identificar transformações territoriais que agravam a vulnerabilidade hídrica, como a supressão da vegetação, a impermeabilização do solo e o aumento do aporte sedimentar. Esses fatores podem reduzir a infiltração, ampliar o escoamento superficial e comprometer a qualidade ambiental do manancial. Assim, o risco climático hídrico resulta da interação entre condições climáticas, pressões territoriais e fragilidades ambientais, reforçando a necessidade de estratégias integradas de planejamento territorial, proteção de mananciais e adaptação climática, articuladas aos ODS 6, 11 e 13 e às Soluções Baseadas na Natureza.

Como recomendação metodológica, sugere-se que estudos futuros utilizem plataformas e softwares de processamento em nuvem, para analisar séries temporais contínuas de turbidez relativa e superfície hídrica. Essa abordagem permite incorporar maior número de cenas orbitais, reduzir o viés associado a condições meteorológicas pontuais e conferir maior robustez à identificação de tendências na dinâmica hídrica do manancial.

AGRADECIMENTOS - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Município de Curitiba, por meio da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA), e à Associação Paranaense de Cultura (APC), pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa, no âmbito do Termo de Fomento nº 27.300, decorrente do Chamamento Público nº 003/2024 - SMMA.

Ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD – Deutscher Akademischer Austauschdienst) pelo apoio ao projeto sustainED: Education Network for Sustainable Futures – Sustainability Competencies in Engineering, Management and Higher Education, financiado no âmbito do programa SDG Partnerships, com recursos do Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha (BMZ), desenvolvido em parceria entre a Technische Hochschule Ingolstadt (THI), a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), a Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e instituições parceiras.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S.; FAROOQ, R.; WASEEM, M.; KOHNOVÁ, S. (2025). “How do land use changes affect temperature and groundwater in urban areas? An integrated remote sensing, and machine learning approach”. *Advances In Space Research*, p. 1-25.
- ALVIM, Angélica Tanus Benatti; KATO, Volia Regina Costa; ROSIN, Jeane Rombi de Godoy (2015). “A urgência das águas: intervenções urbanas em áreas de mananciais”. *Cadernos Metrópole*, v. 17, n. 33, p. 83-107.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2010). “Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos: desafios para a gestão”. 96 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia e inovação. (2026). “*Adapta Brasil MCTI*”.

CHAUDHRI, V. L.; NIXON, T. N. (2024). “*Progress in the Application of Multi-Temporal Remote Sensing Technology in Urban Land Use Monitoring*”. *Innovation In Science And Technology*, v. 3, n. 2, p. 44-49.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. “*Plano Municipal de Saneamento de Curitiba: volume IV: rios, drenagem urbana e manejo das águas pluviais*”. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2013. 107 p.

FORMIGA-JOHNSON, R. M.; BRITTO, A. L. (2020). “*Water security, metropolitan supply and climate change: some considerations concerning the rio de janeiro case*”. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, p. 1.

GESUALDO, G. C.; OLIVEIRA, P. T.; RODRIGUES, D. B. B.; GUPTA, H. V. (2019). “*Assessing water security in the São Paulo metropolitan region under projected climate change*”. *Hydrology And Earth System Sciences*, v. 23, n. 12, p. 4955-4968.

IPCC. (2022) “*Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*”. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

KADHIM, N.; MOURSHED, M.; BRAY, M. (2016). “*Advances in remote sensing applications for urban sustainability*”. *Euro-Mediterranean Journal For Environmental Integration*, v. 1, n. 1, p. 1-22.

KAPLAN, G.; YALCINKAYA, F.; ALTÖK, E.; PIETRELLI, A.; NASTRO, R. A.; LOVECCHIO, N.; IEROPOULOS, I. A.; TSIPA, A. (2024). “*The role of remote sensing in the evolution of water pollution detection and monitoring: a comprehensive review*”. *Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C*, v. 136, p. 103712.

LI, H.; FARNSWORTH, A.; LIANG, D. (2023). “*Eco-metropolis: Re-interpreting ecological conservation in the context of innovative agglomeration*”. *Environmental Science and Ecotechnology*, Harbin, CH: Elsevier, v.19, n.100342, p.1-4.

LEIN, James. (2014). “*Toward a Remote Sensing Solution for Regional Sustainability Assessment and Monitoring*”. *Sustainability*, v. 6, n. 4, p. 2067-2086.

LIAO, Z.; LI, Y.; XIONG, W.; WANG, X.; LIU, D.; ZHANG, Y.; LI, C. (2020). “*An In-Depth Assessment of Water Resource Responses to Regional Development Policies Using Hydrological Variation Analysis and System Dynamics Modeling*”. *Sustainability*, v. 12, n. 14, p. 1 -18.

LIMA, E. G.; CHINELLI, C. K.; GUEDES, A. L. A.; VASQUEZ, E. G., HAMMAD, A. W. A.; HADAD, A. N.; SOARES, C. A. P. (2020). “*Smart and sustainable cities: The main guidelines of City Statute for increasing the intelligence of Brazilian cities*”. *Sustainability*, 12, n.3(1025), p.1-26.

MAPBIOMAS (2025). *MapBiomas Atmosfera: versão 1*.

NAHIB, I.; WAHYUDIN, Y.; AMBARWULAN, W.; PRANOTO, B.; RAMADHANI, F.; CAHYANA, D.; NUGROHO, N.; SUWEDI, N.; SURYANTA, J.; KAROLINOERITA, V. (2025). “*Spatial Analysis of Water Conservation and Its Driving Factors in an Urban Citarum Tropical Watershed: geospatial approach*”. *Resources*, v. 14, n. 5, p. 1 -23.

NETA, S. R.; BIAS, E. S.; BRITES, R. S.; SANTOS, C. M. (2019). “*Aplicação de um Modelo de NDVI para Detecção Multitemporal de Mudanças no Uso e Cobertura do Solo*”. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, BR., v. 41, n. 3, p. 592–604.

ONO, G. M.; MANNICH, M.; BLENINGER, T.; HILGERT, S. (2020). “*Monitoramento e análise da sedimentação no reservatório Passaúna*”. In: Anais do XIV encontro nacional de engenharia de sedimentos, Campinas, nov. 2020. p. 1 -8.

PARRA, L. (2022). “*Remote Sensing and GIS in Environmental Monitoring*”. Applied Sciences, v. 12, n. 16, p. 1-8.

PHILIPPI JR., A.; MARCON, G.; GRISOTTO, L. E. G. (2009). “*Desafios para a gestão de recursos hídricos e o desenvolvimento urbano*”. REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 6, n. 2, p. 65-91.

QIAN, J.; LIU, H.; QIAN, L.; BAUER, J.; XUE, X.; YU, G.; HE, Q.; ZHOU, Q.; BI, Y.; NORRA, S. (2022). “*Water quality monitoring and assessment based on cruise monitoring, remote sensing, and deep learning: a case study of qingcaosha reservoir*”. Frontiers In Environmental Science, v. 10, p. 1 -13.

ROA, O. H.; BACHMANN, M.; MECHLER, R.; TROGRLIĆ, R. Š.; REIMANN, L.; MAZZOLENI, M.; AERTS, J. C. J. H.; BUSKOP, F. E.; PIRANI, A.; MYSLIAK, J. (2025). “*Challenges and opportunities in climate risk assessment: future directions for assessing complex climate risks*”. Environmental Research Letters, v. 20, n. 5, p. 1 - 22.

SALERNO, F.; GAETANO, V.; GIANNI, T. (2018). “*Urbanization and climate change impacts on surface water quality: enhancing the resilience by reducing impervious surfaces*”. Water Research, v. 144, p. 491-502.

SHI, F.; LI, M. (2021). “*Assessing Land Cover and Ecological Quality Changes under the New-Type Urbanization from Multi-Source Remote Sensing*”. Sustainability, v. 13, n. 21, p. 1 -21.

SIMEPAR (2026). “*Boletim Climatológico*”. Curitiba: Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná, 2024.

SIMPSON, N. P.; MACH, K. J.; CONSTABLE, A.; HESS, J.; HOGARTH, R.; HOWDEN, M.; LAWRENCE, J.; LEMPERT, R. J.; MUCCIONE, V.; MACKEY, B. (2021). “*A framework for complex climate change risk assessment*”. One Earth, v. 4, n. 4, p. 489-501.

SMITH, W. S.; SILVA, F. L. da; BIAGIONI, R. C. (2019). “*River Dredging: when the public power ignores the causes, biodiversity and science*”. Ambiente & Sociedade, v. 22, p. 1 -20.

TUCCI, CARLOS E.M. (1997). “*Água no Meio Urbano*”. IPH/UFRGS. 40 p.

UN-WATER. (2019) “*Climate Change and Water UN-Water Policy Brief*”. P. 1 – 28.

WEN, T.; YOU, J.; ZHANG, L.; ZHAO, N.; MA, Z.; LIU, X. (2025). “*Integrated Model for Simulation and Regulation of Basin Water Resources Considering Water Quantity and Quality and Its Application*”. Sustainability, v. 17, n. 8, p. 1-28.

ZHANG, X.; CHEN, N.; SHENG, H.; IP, C.; YANG, L.; CHEN, Y.; SANG, Z.; TADESSE, T.; LIM, T. P. Y.; RAJABIFARD, A. (2019). “*Urban drought challenge to 2030 sustainable development goals*”. Science Of The Total Environment, v. 693, p. 133536.