XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

USO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NO SUPORTA À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA AMAZÔNIA: UMA REVISÃO SOBRE OS ÍNDICES DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA ÁGUA (NDWI & MNDWI)

Flávio Bernardo Silveira[1]; Rafael Jovito Souza[2]; Francisco Davy Braz Rabelo[3]

RESUMO – A Amazônia abriga a maior bacia hidrográfica do mundo, responsável por aproximadamente 20% da descarga global de água doce nos oceanos, desempenhando papel essencial no equilíbrio hídrico planetário. A dinâmica sazonal de cheias e secas, aliada à complexidade dos sistemas aquáticos amazônicos, exige ferramentas eficientes para o monitoramento e a gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, o sensoriamento remoto e os índices espectrais têm se destacado como importantes instrumentos de análise ambiental. Este estudo objetiva analisar o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) como ferramenta aplicada à gestão de recursos hídricos, com base em revisão bibliográfica sistematizada. A pesquisa possui caráter qualitativo, teórico, descritivo e exploratório. Os resultados demonstram que o NDWI é eficiente na identificação e no monitoramento de corpos hídricos e de suas variações sazonais. Contudo, limitações relacionadas à turbidez, vegetação aquática e diversidade de tipos de água podem afetar sua precisão. Conclui-se que a integração entre geotecnologias e índices espectrais fortalece a gestão hídrica amazônica.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto; NDWI; Amazônia.

ABSTRACT – The Amazon region contains the world's largest hydrographic basin, accounting for approximately 20% of the global freshwater discharge into the oceans and playing a fundamental role in the Earth's water balance. The seasonal dynamics of floods and droughts, combined with the complexity of Amazonian aquatic systems, require efficient tools for monitoring and managing water resources. In this context, remote sensing and spectral indices have become important instruments for environmental analysis. This study aims to analyze the Normalized Difference Water Index (NDWI) as a tool for water resource management, based on a systematized literature review. The research is qualitative, theoretical, descriptive, and exploratory in nature. The results indicate that NDWI is effective in identifying and monitoring water bodies and their seasonal variations. However, limitations associated with turbidity, aquatic vegetation, and the diversity of water types may affect its accuracy. The study concludes that integrating geotechnologies and spectral indices strengthens water resource management in the Amazon region.

Keywords: Remote sensing; NDWI; Amazon.

[1]) Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP/UEA), Estrada Odovaldo Novo, nº 3578, Bairro Djard Vieira, CEP 69152-470, Parintins, Amazonas, Brasil. Fone: (+55 92) 99436-4576. E-mail: fbs.mgr25@uea.edu.br.

[2]) Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP/UEA), Estrada Odovaldo Novo, nº 3578, Bairro Djard Vieira, CEP 69152-470, Parintins, Amazonas, Brasil. Fone: (+55 97) 99433-5554. E-mail: rjovito@uea.edu.br.

[3]) Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Centro de Estudos Superiores de Tefé (CEST/UEA), Estrada do Bexiga, nº 1085, Bairro Jerusalém, CEP 69553-225, Tefé, Amazonas, Brasil. Fone: (+55 97) 98409-3897. E-mail: frabelo@uea.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

A maior bacia hidrográfica do mundo está na Amazônia, que despeja cerca de 20% da água doce que chega aos oceanos, o que mostra sua importância para o meio ambiente em todo o mundo. A grande quantidade de água na região, somada à diversidade de ambientes aquáticos, áreas sujeitas a alagamentos e à intensa dinâmica sazonal relacionada aos ciclos de inundação, torna a gestão dos recursos hídricos um tema estratégico tanto para o monitoramento ambiental quanto para o planejamento do uso do solo (VAL et al., 2010; JUNK, 1979)

Nesse sentido, as geotecnologias, em especial as técnicas e dados de sensoriamento remoto, tem sido fundamental para a análise dos recursos hídricos, pois permite a aquisição de informações sobre a superfície terrestre em diferentes escalas, tanto temporais, quanto espaciais. Eles permitem a observação contínua de corpos hídricos, zonas de inundação e mudanças ambientais causadas por fenômenos extremos ou atividade humana, o que pode ajudar a melhorar a análise ambiental e a tomada de decisões (MIRANDA, 2017; BRENNER; GUASSELLI, 2015).

Os índices espectrais, entre os diversos produtos analíticos obtidos via sensoriamento remoto, possibilitam a diferenciação de alvos na superfície terrestre com base na variabilidade da reflectância em várias faixas espectrais. No que diz respeito ao estudo das águas superficiais, dentre os diferentes existentes, o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) é bastante relevante, já que foi criado para destacar a presença de corpos hídricos em imagens de satélite e diminuir a influência do solo e da vegetação, além de poder ser utilizado em análises sobre a turbidez e a qualidade da água (MCFEETERS, 1996; KSHETRI, 2018).

No contexto amazônico, o NDWI tem se mostrado útil no monitoramento da dinâmica da água. Pesquisas indicaram a capacidade do método para detectar mudanças sazonais na superfície da água e estudar eventos extremos, como secas severas, indicando que o método possui capacidades de monitoramento ambiental (LIMA; SOUSA; SANTOS, 2021).

Portanto, o presente estudo busca analisar o NDWI como um instrumento para a gestão dos recursos hídricos, de acordo com sua base teórica e as aplicações descritas na literatura científica.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem qualitativa, de natureza teórica, com caráter descritivo e exploratório, fundamentado em revisão bibliográfica sistematizada.

O artigo não envolve o uso direto de técnicas de processamento de imagens digitais; em vez disso, realiza uma análise comparativa das metodologias aplicadas em estudos de caso na Amazônia, focando na eficácia técnica dessas ferramentas para a gestão hídrica.

A construção do referencial teórico baseou-se na análise de obras fundamentais sobre o tema, incluindo McFeeters (1996), Xu (2006), Brenner e Guasselli (2015), Lima, Sousa e Santos (2021), Miranda (2017), Val et al. (2010), Junk (1979) e Kshetri (2018).

Os trabalhos de Oliveira (2025), Albuquerque (2022), Rocha (2021), Santos (2020a), Santos (2020b) e Junior (2019). foram utilizados para identificar as principais ferramentas, sensores e procedimentos metodológicos aplicados no sensoriamento remoto do ambiente amazônico.

A metodologia utilizada incluiu a coleta, leitura, seleção e análise interpretativa dos textos para descobrir convergências teóricas no comportamento espectral da água, as formulações desenvolvidas e restrições do NDWI, as potencialidades do Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) e seu uso para a gestão de recursos hídricos, especialmente no cenário amazônico.

Além de catalogar as aplicações práticas de geotecnologias (como altimetria espacial, aerofotogrametria por VANTs e processamento em nuvem) que complementam o uso de índices espectrais na gestão de recursos hídricos

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sensoriamento remoto é uma ferramenta de monitoramento projetada para obter informações sobre a superfície da Terra através da detecção de radiação eletromagnética por meio das reflexões ou emissões de fontes-alvo, permitindo o monitoramento ambiental em múltiplas escalas espaciais e temporais. Em recursos hídricos, este método é particularmente benéfico na identificação de características aquáticas, monitoramento da variabilidade ambiental e estudo de sistemas hidrológicos complexos (MIRANDA, 2017; BRENNER; GUASSELLI, 2015).

Além disso, observações de satélites orbitais, como os satélites da série Landsat, produzem imagens em diversas bandas espectrais, permitindo distinções entre superfícies, como água, vegetação, solo ou zonas urbanizadas de acordo com sua reatividade radiométrica. Esta propriedade os torna especialmente adequados para uso em índices espectrais e análises ambientais multitemporais (KSHETRI, 2018; MIRANDA, 2017; Brenner e Guasselli, 2015).

A detecção de corpos d'água em imagens de satélite é estabelecida no padrão espectral característico da água, que possui alta refletância em certas regiões espectrais do espectro visível e alta absorção no infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. O padrão ajuda a distinguir água de outros objetos na superfície da Terra e pode formar a base para o desenvolvimento de índices espectrais para sua detecção (MCFEETERS, 1996; KSHETRI, 2018).

Entretanto, no contexto amazônico, esse aspecto requer consideração particular, em virtude da grande heterogeneidade dos tipos de água existentes na região. Como enfatiza Junk (1979), as águas amazônicas podem ser divididas em vários subtipos e categorias, por exemplo, águas brancas, pretas e claras, que variam em suas propriedades físicas e químicas (o que exerce controle direto sobre seus processos ecológicos gerais e comportamento espectral).

Existem outros pontos como os observados no rio Miriti, localizada na cidade de Manacapuru/AM; a análise integrada de dados limnológicos e sensoriamento remoto evidenciou relação entre uso do solo e qualidade da água, com aumento da reflectância associado à ação antrópica (FERREIRA JÚNIOR, 2019).

No igarapé do São Raimundo, em Manaus/AM, observou-se degradação da qualidade da água associada a ocupações urbanas, demonstrando a utilidade dos dados de sensoriamento remoto e das geotecnologias para gestão ambiental e hídrica (SANTOS, 2020a).

Complementarmente a esses resultados apresentados na literatura, os demais estudos que fundamentam esta análise demonstram a amplitude das aplicações práticas das geotecnologias na Amazônia demonstra como o sensoriamento remoto supre lacunas de dados em áreas de difícil acesso.

Enquanto o trabalho de Ferreira Junior (2019) utilizou o índice NDVI e o processamento de imagens Landsat para correlacionar a expansão urbana com mudanças na reflectância das águas pretas do rio Miriti, a pesquisa de Wallace Santos (2020b) empregou drones (VANTs) para realizar levantamentos aerofotogramétricos de alta precisão, mapeando ocupações irregulares que degradam a qualidade da água em igarapés urbanos de Manaus.

Complementarmente, Rocha (2021) e Oliveira (2025) demonstram o poder dos modelos matemáticos espectrais e de plataformas como o Google Earth Engine para estimar com alta precisão indicadores críticos, como as concentrações de clorofila-a e fósforo total, permitindo o diagnóstico da eutrofização diretamente via dados orbitais dos satélites Sentinel e PlanetScope.

Por fim, o uso da altimetria espacial, exemplificado por Santos (2020), permite monitorar os níveis de água em bacias continentais como a do rio Madeira, suprindo a escassez de estações de monitoramento físico in situ na região.

Os índices espectrais consistem em combinações matemáticas entre bandas espectrais, desenvolvidas para destacar características específicas da superfície terrestre. Esses índices são frequentemente usados em estudos ambientais devido à sua sensibilidade a alvos, incluindo vegetação, espaços urbanos e corpos d'água (KSHETRI, 2018; MIRANDA, 2017).

Entre os principais índices espectrais, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (relacionado à vegetação), o Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas - NDBI (detecção de áreas urbanizadas) e o Índice de Água por Diferença Normalizada - NDWI (detecção de corpos d'água) têm sido utilizados, entre outros. O uso conjunto desses índices proporciona a oportunidade de interpretação de imagens orbitais para melhorar a interpretação de dados ambientais e a análise de dados dessas imagens (KSHETRI, 2018).

McFeeters (1996) introduziu o NDWI como uma forma de delinear corpos d'água e, portanto, melhorar sua presença em imagens de sensoriamento remoto usando a diferença normalizada entre as bandas verde e infravermelho próximo.

Para seu cálculo é utilizado a seguinte fórmula:

$$NDWI = \frac{Verde - NIR}{Verde + NIR} \quad (1)$$

As bandas espectrais são selecionadas com base na maior reflectância da água na banda verde e sua absorção mais forte no infravermelho próximo, enquanto o solo e a vegetação exibem o comportamento oposto. Essa relação aumenta o contraste espectral, facilitando a diferenciação da água de outros alvos e minimizando erros de interpretação (MCFEETERS, 1996).

Assim, o NDWI evidencia corpos d'água com valores positivos e terrenos ou vegetação com valores nulos ou negativos. De forma complementar, o NDWI pode ser aplicado em estudos relacionados à qualidade da água, especialmente na estimativa de turbidez, ampliando sua aplicabilidade no monitoramento ambiental (MCFEETERS, 1996).

Apesar de sua eficiência, o NDWI apresenta limitações, sobretudo em áreas urbanizadas, onde superfícies construídas podem apresentar comportamento espectral semelhante ao da água, resultando em erros de classificação (XU, 2006; MCFEETERS, 1996).

Além disso, a turbidez da água, a vegetação aquática, fatores atmosféricos e características regionais também podem perturbar os resultados. Na Amazônia, essas deficiências tornam-se ainda mais pertinentes em relação à complexidade ecológica dos sistemas aquáticos e à diversidade de tipos de água (JUNK, 1979; MCFEETERS, 1996).

Com o objetivo de superar parte das limitações do NDWI, Xu (2006) sugeriu o Índice de Diferença Normalizada Modificada da Água (MNDWI), que utiliza a banda do infravermelho médio em vez da banda do infravermelho próximo.

Tal ajuste minimiza uma série de efeitos antropogênicos de áreas urbanas e melhora significativamente a delimitação de corpos d'água, aumentando a precisão da análise. Assim, o MNDWI serve como uma alternativa viável para estudos ambientais usando sensoriamento remoto (XU, 2006; MIRANDA, 2017).

O índice é calculado pela seguinte relação:

$$MNDWI = \frac{Verde - SWIR}{Verde + SWIR} \quad (2)$$

A aplicação do NDWI em séries temporais permite analisar a dinâmica dos corpos hídricos ao longo do tempo, identificando variações sazonais e espaciais associadas a processos hidrológicos, como cheias e secas (BRENNER; GUASSELLI, 2015; LIMA; SOUSA; SANTOS, 2021).

O índice é eficaz no monitoramento de mudanças na extensão da superfície da água. Ele pode detectar uma redução significativa na área inundada durante uma seca severa no complexo rio-lago Curuaí, no Pará, demonstrando seu potencial para o monitoramento ambiental na Amazônia (LIMA; SOUSA; SANTOS, 2021).

Dessa forma, o NDWI permite o monitoramento constante de mudanças espaciais em vários contextos e o torna uma estrutura aplicável para o planejamento ambiental e gestão de recursos hídricos (LIMA; SOUSA; SANTOS, 2021; BRENNER; GUASSELLI, 2015).

4 CONCLUSÃO

Com base na literatura científica é possível concluir que o NDWI é uma ferramenta valiosa para o monitoramento de corpos d'água, pois aponta a presença de água em imagens orbitais e auxilia nas análises espaciais e temporais no campo da gestão ambiental. A formulação original de McFeeters (1996) continua sendo a mais referenciada de tais conceitos em trabalhos acadêmicos sobre delimitação de água, enquanto o MNDWI de Xu (2006) representa uma nova perspectiva sobre ambientes urbanos.

No contexto da Amazônia, os estudos revisados indicam que as geotecnologias, dados de sensoriamento remoto e a aplicação de índices como o NDWI são adequadas para monitorar alterações hidrológicas, eventos extremos e mudanças ambientais, conforme evidenciado por pesquisas realizadas em áreas fluviais e lacustres da região (VAL et al., 2010; LIMA; SOUSA; SANTOS, 2021; MIRANDA, 2017).

Em escala regional, o uso de dados orbitais é fundamental para o monitoramento hidrológico devido à escassez de dados in situ (ALBUQUERQUE, 2022).

Portanto, a integração de fundamentos espectrais, índices hidrológicos e análise multitemporal constitui uma abordagem consistente para a gestão sustentável da água em regiões de alta complexidade ambiental como a Amazônia.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Convênio CAPES/UNESP nº 951420/2023. Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua pelo suporte técnico-científico ao desenvolvimento desta pesquisa. Reconhecemos ainda o apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por meio dos projetos PARHINTINS e GRHAMA.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Vinicius dos Santos. **Utilização dos satélites altimétricos Sentinel 3A e 3B na rede hidrográfica**. 2022. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022.

BRENNER, Viviane Carvalho; GUASSELLI, Laurindo Antônio. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2015. Disponível em: http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.15.30.37/doc/p0727.pdf?linktype=relative. Acesso em: 23 mar. 2026.

FERREIRA JÚNIOR, João Carlos. **Limnologia e sensoriamento remoto:** qualidade da água do rio Miriti (Manacapuru/AM) e contribuição para a gestão dos recursos hídricos. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2019.

JUNK, Wolfgang Johannes. Recursos hídricos da região amazônica: utilização e preservação. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 9, n. 4, supl., p. 37-51, 1979. Disponível em: https://www.scielo.br/j/aa/a/yPvJ4GfXbmMYqTQncwqzFnc/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 20 mar. 2026.

KSHETRI, Tek Bahadur. NDVI, NDBI and NDWI calculation using Landsat 7 and 8. **GeoWorld**, v. 2, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327971920_NDVI_NDBI_NDWI_Calculation_Using_Landsat_7_8/link/62714c4f3a23744a72600a2c/download. Acesso em: 15 mar. 2026.

LIMA, Joelson Leal de; SOUSA, Keid Nolan Silva; SANTOS, Paulo Roberto Brasil. Detecção remota dos potenciais efeitos de secas intensas sobre a sazonalidade da água no complexo fluvio-lacustre do Curuaí, rio Amazonas, Pará, Brasil. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 38, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.12957/geouerj.2021.42362. Acesso em: 14 mar. 2026.

MCFEETERS, S. K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996. Disponível em: https://doi.org/10.1080/01431169608948714. Acesso em: 13 mar. 2026.

MIRANDA, Michel Jader de Oliveira. **O uso de geotecnologias na análise temporal do processo de expansão urbana sobre a bacia hidrográfica do Puraquequara:** Manaus-AM. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

ROCHA, Angélica Rodrigues. **Análise de dados espectrais de sensoriamento remoto de campo e orbital em águas pretas:** como suporte à gestão de recursos hídricos, no baixo curso do rio Tarumã-Açu, Manaus/Amazonas-Brasil. 2021. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.

OLIVEIRA, Marcio Fernando Prado de. **Sensoriamento remoto orbital para avaliação de clorofila-a e fósforo total:** análise no rio Mocambo do Arari, Parintins-AM. 2025. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025.

SANTOS, Thiago Oliveira dos. **Utilização de dados de sensores remotos como instrumento de gestão de recursos hídricos na bacia do rio Madeira.** 2020a. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2020a.

SANTOS, Wallace de Sousa. **Geotecnologias aplicadas à gestão de recursos hídricos no igarapé do São Raimundo na cidade de Manaus/AM.** 2020b. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2020b.

VAL, Adalberto L. et al. Amazônia: recursos hídricos e sustentabilidade. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p. 95-109. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Adalberto-Val/publication/278964916_Amazonia_recursos_hidricos_e_sustentabilidade/links/558dcecc08ae15962d894d17/Amazonia-recursos-hidricos-e-sustentabilidade.pdf. Acesso em: 19 mar. 2026.

XU, Hanqiu. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1080/01431160600589179. Acesso em: 23 mar. 2026.