

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

# **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A VETORIZAÇÃO MANUAL E O NDWI NA ESTIMATIVA DE ESPELHOS D'ÁGUA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

*Eduardo de Melo Rodrigues Cunha<sup>1</sup>; Maria Júllia Souza Pontes<sup>2</sup>; Daniela Rodrigues dos Santos<sup>3</sup>;  
Luiz Eduardo Cavalcante Martins<sup>4</sup>; Bruno Berkamp Mota Brandão<sup>5</sup> & Alexandro Medeiros Silva<sup>6</sup>*

**Abstract:** This study aims to evaluate the application of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the analysis of water bodies under different rainfall conditions in the semi-arid region of Paraíba, Brazil. The research was conducted at the Estevam Marinho Reservoir, located in the Piancó microregion, in the Sertão of Paraíba. Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI satellite images, obtained from the United States Geological Survey (USGS) platform, were used in conjunction with remote sensing and geoprocessing techniques, considering the seasonal variation in water availability. The results showed that NDWI performed satisfactorily during the rainy period, with a high accuracy rate (86%) and low commission error (0.49 km<sup>2</sup>), demonstrating its capability to reliably represent water surfaces. However, during the dry period, there was a significant decrease in accuracy (50%) and an increase in omission error (5.96 km<sup>2</sup>), indicating limitations of the index in detecting reduced or intermittent water bodies. The comparison with manual vectorization highlights the sensitivity of NDWI to seasonal hydrological variation and the influence of suspended materials, particularly in shallow areas. **Keywords:** NDWI, geoprocessing, water resources.

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) na análise de corpos hídricos sob diferentes condições pluviométricas no semiárido paraibano. O estudo foi realizado no Açude Estevam Marinho, localizado na microrregião de Piancó, no Sertão da Paraíba. Para isso, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, adquiridas na plataforma United States Geological Survey (USGS). Os resultados demonstraram desempenho satisfatório do NDWI no período chuvoso, com alta taxa de acerto (86%) e baixo erro de comissão (0,49 km<sup>2</sup>), evidenciando sua capacidade de representar adequadamente os espelhos d'água. No entanto, no período seco, observou-se queda significativa na acurácia (50%) e aumento do erro de omissão (5,96 km<sup>2</sup>), indicando limitações do índice na detecção de corpos d'água reduzidos ou intermitentes. A comparação com a vetorização manual reforça a sensibilidade do NDWI à sazonalidade hídrica e à interferência de materiais em suspensão, sobretudo em áreas rasas.

**Palavras-chave:** NDWI, geoprocessamento, recursos hídricos.

<sup>1</sup>) Graduando em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba - Campus I, Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - PB - CEP: 58051-900 - Brasil - emrc@academico.ufpb.br

<sup>2</sup>) Graduanda em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba - Campus I, Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - PB - CEP: 58051-900 - Brasil - souzajullia64@gmail.com

<sup>3</sup>) Graduanda em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba - Campus I, Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - PB - CEP: 58051-900 - Brasil - daniela.santos2@academico.ufpb.br

<sup>4</sup>) Graduando em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba - Campus I, Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - PB - CEP: 58051-900 - Brasil - luiz.cavalcante@academico.ufpb.br

<sup>5</sup>) Voluntário de Iniciação Científica. Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba - Campus I, Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - PB - CEP: 58051-900 - Brasil - contatobrunoberkamp@gmail.com

<sup>6</sup>) Professor Adjunto I do Departamento de Geociências/CCEN na Universidade Federal da Paraíba - Campus I, Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - PB - CEP: 58051-900 - Brasil - alexandro.medeiros@academico.ufpb.br

## INTRODUÇÃO

A água superficial é parte importante do ciclo hidrológico, além de ser indispensável ao desenvolvimento de qualquer sociedade, ela é utilizada para consumo humano, atividades industriais, geração de energia, irrigação, lazer, entre outros usos (Estigoni, 2012). Nesse contexto, os reservatórios possuem papel fundamental, pois, apesar de cobrirem somente 2,4% de todos os continentes (Lehner e Döll, 2004), permitem o armazenamento e a regulação da disponibilidade hídrica ao longo do tempo, garantindo o abastecimento em períodos de escassez e contribuindo para a gestão dos recursos hídricos.

A região Nordeste do Brasil é atingida por períodos de secas prolongadas devido aos seus aspectos climáticos (Medeiros *et al.*, 2022); (Gomes e Willegaignon, 2021). Quanto à geologia, observa-se na maioria de seu território, formações rochosas, que dificultam o armazenamento de água subterrânea (Chaves *et al.*, 2022), tornando a região muito dependente da disponibilidade hídrica superficial. Diante desse cenário, ao longo das últimas décadas, políticas para o desenvolvimento de reservatórios no Nordeste do Brasil ganharam destaque. A partir da necessidade de gestão e regularização dos recursos hídricos, evidencia-se a implantação de grandes obras de infraestrutura, em especial a construção de barragens destinadas à formação de reservatórios de água. Nesse contexto, destaca-se o reservatório Coremas-Mãe d'água, também conhecido como Açude Estevam Marinho, localizado no semiárido paraibano.

À luz desses aspectos, o monitoramento dos recursos hídricos superficiais é uma ferramenta essencial para a gestão ambiental e hídrica do Nordeste. Esse tipo de monitoramento permite a obtenção de informações fundamentais sobre a qualidade e quantidade da água, o que facilita o gerenciamento da água para atender às diversas demandas da região, como o abastecimento humano, animal e a irrigação (Américo-Pinheiro e Ribeiro, 2019). Todavia, apesar da importância do monitoramento, essa não é uma tarefa simples, principalmente dada a grande quantidade de reservatórios presentes no Nordeste do país.

De acordo com Agência Nacional de Águas (ANA), o Nordeste brasileiro possui 543 reservatórios monitorados, entretanto, o número de reservatórios que não são monitorados é muito maior. Com isso, o sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta essencial para o monitoramento hídrico, permitindo extrair informações não somente da dinâmica hídrica, mas também de outros componentes naturais. Sob essa perspectiva, os índices radiométricos se destacam por sua capacidade de identificar, em imagens digitais, uma série de informações da superfície terrestre (França *et al.*, 2012).

No que diz respeito à utilização de sensoriamento remoto nos estudos da hidrologia, o Índice por Diferença Normalizada de Água (NDWI - *Normalized Difference Water Index*) proposto por McFeeters (1996) é um método bastante difundido nas aplicações de geoprocessamento e estudos hídricos. Zhao *et al.* (2024) utilizaram o índice para obter uma extração precisa de corpos d'água urbanos, mostrando alta acurácia na separação de sombras e água em ambientes urbanos na China. Semelhantemente, o estudo produzido por Navin (2024), que também usa o NDWI e aprendizado de máquina para analisar mudanças em corpos d'água no sul da Índia, com alta acurácia.

O NDWI também costuma ser aplicado em estudos no Brasil, Carvalho *et al.* (2024) utilizaram o índice para quantificar áreas inundadas por cheias sazonais em minas desativadas na Floresta Amazônica. Ainda no Brasil, Silva *et al.* (2023) também embasaram sua pesquisa na equação para detectar padrões de disponibilidade hídrica e redução crítica de corpos d'água no semiárido nordestino, correlacionando com variabilidade de chuva e degradação ambiental.

Face ao exposto, o NDWI demonstra uma ampla variedade de aplicações em diferentes âmbitos científicos, sendo utilizado de maneiras diversas para análises de recursos hídricos. Logo, o estudo tem como objetivo analisar o desempenho do NDWI na estimativa da área de espelho d'água no açude Coremas, sob diferentes regimes pluviométricos, avaliando sua eficácia na identificação e delimitação de corpos hídricos em imagens de satélite, a fim de compreender como as variações nas precipitações e no nível do reservatório influenciam a resposta espectral dos corpos hídricos. Por fim, a análise pretende também avaliar a eficiência do NDWI em relação a uma análise manual e visual de imagens de satélites.

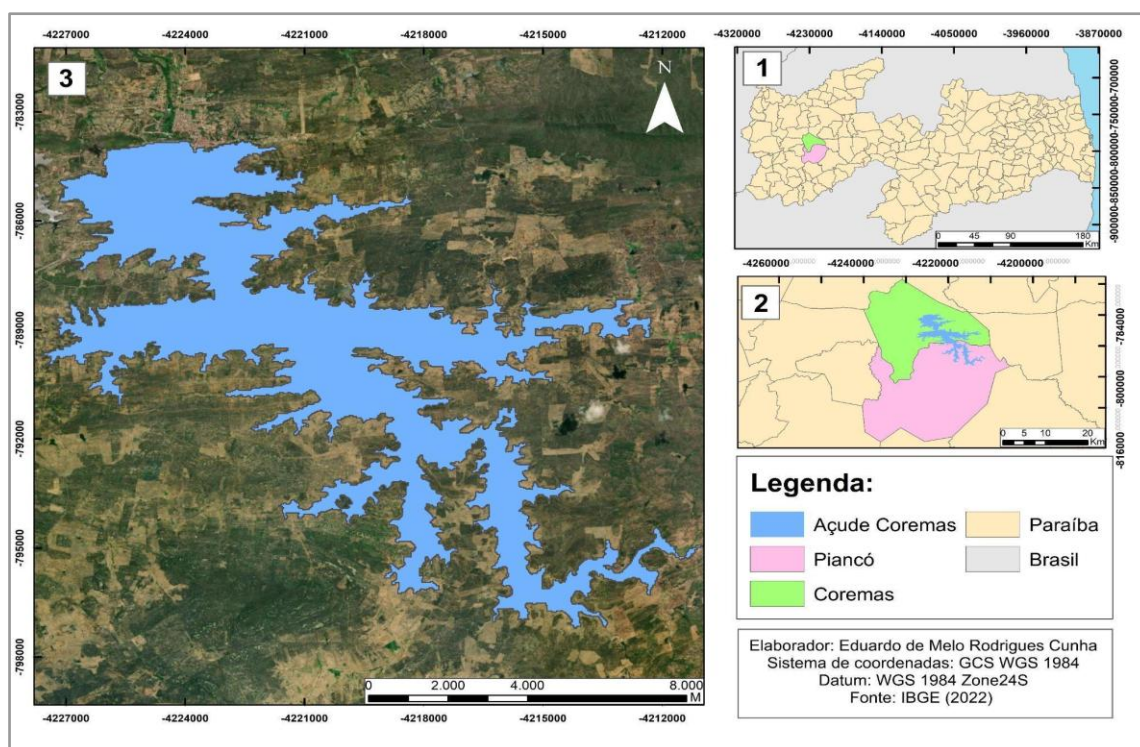
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O Açude Coremas, oficialmente denominado Açude Estevam Marinho, está localizado nos municípios de Coremas e Piancó, na microrregião de Piancó, Sertão da Paraíba, integrando o semiárido nordestino (Figura 1). Situado a aproximadamente 390 km de João Pessoa, capital do estado, o reservatório é formado pelo barramento do rio Piancó e, junto ao Açude Mãe d'Água, constitui o maior sistema hídrico da Paraíba e o quinto maior do Brasil, com capacidade total de 1,358 bilhões de m<sup>3</sup> e área de contribuição de aproximadamente 8.700 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, a área possui clima do tipo BSh, caracterizado como semiárido quente, com temperatura média anual em torno de 27°C e precipitação média de aproximadamente 860 mm (Medeiros, 2018). A estação chuvosa concentra-se entre os meses de fevereiro e maio, enquanto o período seco predomina de setembro a novembro. O sistema Coremas-Mãe d'Água é interligado por um canal vertedor de 237 metros, formando um único espelho d'água, e apresenta coeficiente de deflúvio de 9%, com um deflúvio médio anual de 632,1 milhões de metros cúbicos de água. Essas características ressaltam sua importância estratégica para a segurança hídrica e desenvolvimento socioeconômico do semiárido paraibano. (Morais, 2022).

Figura 01 - Mapa de Localização - Açude Coremas





## Coleta dos dados

No presente estudo foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 TM, nível 2, órbita 216, ponto 065 e Landsat 8 OLI, nível 2 da mesma órbita e ponto, ambas com resolução espacial de 30 metros, adquiridas por meio da plataforma *United States Geological Survey* (USGS). As datas escolhidas para representar os diferentes períodos hidrológicos foram 23 de setembro de 2011 (período chuvoso), com imagem proveniente do Landsat 5, e 25 de agosto de 2020 (período seco), com imagem do Landsat 8. Para definição dos períodos de aquisição, foi utilizado o Atlas pluviométrico da Paraíba (Becker e Bandeira, 2025), que utiliza os dados de todos os pluviômetros do estado, incluindo, um exclusivo para monitorar chuvas no perímetro do açude.

Após a coleta dos dados, foi possível identificar que entre os anos de 2008 e 2011 foram registrados totais anuais de precipitação superiores à média da região, dessa forma o ano de 2011 foi selecionado como um ano representativo do período chuvoso. Já para o período seco, observou-se que de 2012 até 2019 todos os anos apresentaram precipitação anual inferior aos 800mm, com isso, utilizamos a primeira imagem subsequente a esse período, com isso, foi selecionada uma imagem do ano de 2020 como sendo representativa desse período. Ademais, as imagens escolhidas atendiam nossos requisitos quanto a total ausência de nuvens sobre a área do reservatório.

## Estimativa do espelho d'água

Para a identificação de corpos hídricos, foi utilizado o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI – *Normalized Difference Water Index*), proposto por McFeeters (1996). Esse índice é amplamente empregado em estudos de sensoriamento remoto por sua eficácia no realce de massas d'água, permitindo diferenciá-las de outros alvos superficiais como vegetação e solo exposto. O NDWI é calculado conforme apresentado na equação 1, onde G é a banda que compreende a faixa do verde no espectro eletromagnético, e IVP, a banda que compreende a faixa do infravermelho próximo, sendo as bandas 2 e 4 no Landsat 5 e 3 e 5 no Landsat 8.

O funcionamento do NDWI baseia-se no contraste entre a reflectância da água, que é elevada na banda verde e muito baixa no infravermelho próximo, resultando em valores positivos para áreas com presença de água. Por outro lado, alvos como vegetação, solo e áreas urbanas tendem a apresentar valores negativos ou próximos de zero (McFeeters, 1996).

Neste estudo, foi adotado um limiar de 0, conforme a proposta original de McFeeters (1996), para a classificação das áreas com ou sem presença de água. Assim, todos os pixels com valores  $NDWI > 0$  foram considerados como áreas com presença de água superficial, enquanto os demais foram classificados como ausência de água.

$$NDWI = \frac{(G - IVP)}{(G + IVP)} \quad (1)$$

Com o intuito de validar as estimativas obtidas, foi realizada a delimitação manual do espelho d'água do Açude Coremas-Mãe d'Água, mediante análise visual minuciosa das imagens orbitais selecionadas. A vetorização das áreas alagadas foi executada individualmente para cada cena, abrangendo os dois períodos hidrológicos em estudo, conforme metodologia aplicada por Novo et al. (2013), que recomendam a vetorização manual como técnica confiável em casos de imagens com presença de interferências atmosféricas ou limitações espectrais.

O desempenho da metodologia foi avaliado de acordo com as áreas de acerto (coincidência entre a área vetorizada e a estimada pelo NDWI) que correspondem aos pixels que foram corretamente classificados como água tanto na vetorização de referência quanto pela metodologia do NDWI. Áreas de omissão, referem-se aos pixels que foram vetorizados como água na sua referência, mas que não foram identificados como água pelo NDWI. Isso significa que o NDWI "omitiu" a detecção de água em certas áreas. Por fim, as áreas de comissão, tratam-se dos pixels que o NDWI identificou como água, mas que na verdade não eram corpos d'água de acordo com a sua vetorização de referência.

## RESULTADOS

A análise dos resultados foi realizada sob uma perspectiva quantitativa e espacial. A vetorização do espelho d'água serviu como dado de referência, uma vez que permite uma avaliação quantitativa do desempenho do NDWI (Mondejar e Tongco, 2019).

No período chuvoso, a área identificada pelo NDWI foi de 42,95 km<sup>2</sup>, e a vetorização manual indicou 49,39 km<sup>2</sup>, com sobreposição de 42,90 km<sup>2</sup> e um percentual de acerto de 86,86%. A área de comissão foi de 0,49 km<sup>2</sup> e a de omissão foi de 6,49 km<sup>2</sup>. Nesse contexto, o NDWI representou com fidelidade os espelhos d'água, como também demonstrado por Silva et al. (2023) e De Carvalho et al. (2024), que aplicaram o índice em ambientes com sazonalidade hídrica.

No período seco, os resultados foram inferiores. A vetorização manual resultou em 13,76 km<sup>2</sup> e o NDWI indicou 7,31 km<sup>2</sup>, com área de acerto de 6,99 km<sup>2</sup> e acurácia de 50%. A área de omissão foi elevada (5,96 km<sup>2</sup>), indicando que o NDWI não conseguiu detectar parte significativa dos corpos d'água reduzidos ou intermitentes. Estudos como os de Zhao et al. (2024) e Navin (2024) também apontam limitações do índice em condições de baixa umidade ou com cobertura vegetal esparsa.

Observou-se que a área correspondente ao erro do tipo comissão foi de apenas 0,49 km<sup>2</sup>, indicando uma reduzida ocorrência de falsos positivos na detecção de corpos hídricos por meio do índice NDWI. Rokni et al. (2014) aponta que a identificação de superfícies de água usando o NDWI de McFeeters (1996) é frequentemente confundida com áreas urbanizadas ("built-up land"), o que pode levar a uma superestimação da área de água.

Com base na análise espacial dos resultados, observa-se que durante o período chuvoso as áreas de áreas de omissão estão majoritariamente localizadas nas bordas do reservatório (Figura 2a), consequentemente nas áreas mais rasas e mais suscetíveis à interferência de materiais em suspensão.

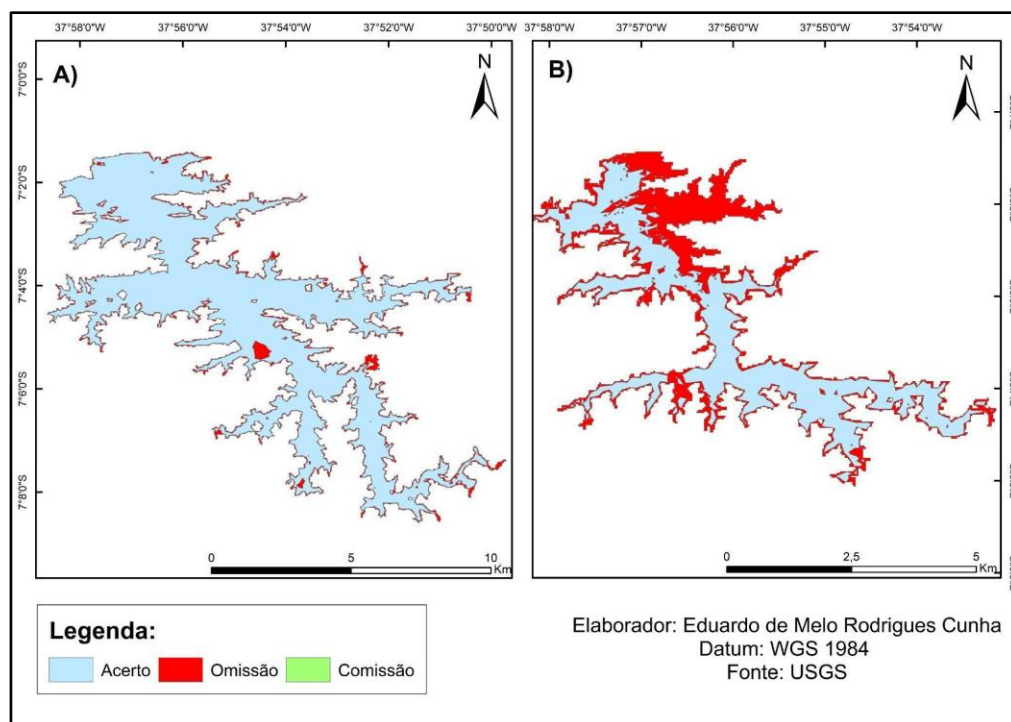
Tabela 1- Comparação entre a vetorização e o NDWI

VARIÁVEIS ANALISADAS	CHUVOSO	SECO
Área total vetorizada em km <sup>2</sup>	49,39km <sup>2</sup>	13,76km <sup>2</sup>
Área total NDWI em km <sup>2</sup>	42,95km <sup>2</sup>	7,31km <sup>2</sup>
Área de comissão em km <sup>2</sup>	0,49km <sup>2</sup>	0,45km <sup>2</sup>
área de omissão em km <sup>2</sup>	6,49km <sup>2</sup>	5,96km <sup>2</sup>
área de acerto em km <sup>2</sup>	42,90km <sup>2</sup>	6,99km <sup>2</sup>
percentual de acerto	86%	50%

Para o período seco (figura 2b), ficou evidente uma maior dificuldade na identificação do espelho d'água por meio do NDWI. Apesar de apresentar um comportamento espacial similar ao período chuvoso, é possível verificar que no período seco as áreas de omissão não se restringiram as

bordas do reservatório, fazendo com que a acurácia caísse para 50%. O aumento das áreas de omissão em regiões mais profundas do reservatório pode estar relacionado a um aumento na concentração de clorofila, muito comum em períodos mais secos. Além disso, conforme apontado por estudos anteriores (Xu, 2006; Zhao et al., 2024), o NDWI apresenta limitações em ambientes com elevada turbidez, vegetação aquática ou influência antrópica, fatores que reduzem seu contraste espectral e dificultam a detecção precisa da lâmina d'água.

Figura 02 – Análise espacial das estimativas do NDWI: (a) período chuvoso e (b) período seco



## CONCLUSÃO

A partir da análise realizada, observou-se que o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), conforme proposto por McFeeters (1996) apresenta bom desempenho, especialmente na identificação de áreas alagadas em períodos de maior disponibilidade hídrica.

A vetorização manual, utilizada como referência visual neste estudo, evidenciou melhor capacidade de delimitação dos espelhos d'água em comparação com o NDWI em determinadas condições, especialmente nos períodos úmidos. No entanto, ressalta-se que o método manual não foi submetido a testes de acurácia quantitativa formais neste trabalho, sendo empregado apenas como base para avaliação comparativa. Entretanto, por demandar maior tempo de processamento e elevado rigor técnico, sua aplicabilidade torna-se restrita em estudos de ampla extensão espacial. De acordo com Américo-Pinheiro e Ribeiro (2019), o uso de ferramentas automatizadas, como o NDWI, contribui para o monitoramento de grandes áreas e é recomendado como apoio à gestão de recursos hídricos.

Além disso, é possível inferir que a sensibilidade do NDWI pode ser comprometida não apenas em águas rasas, onde a interferência de materiais em suspensão e a reflectância do fundo podem ser mais acentuadas, mas também em certas condições de águas profundas. Estudos anteriores indicam que águas rasas e profundas absorvem energia de forma distinta e que índices como o NDWI de McFeeters (1996), podem apresentar menor contraste em águas profundas, fazendo-as parecerem cinzentas em vez de escuras Mondejar e Tongco (2019).

Dessa forma, conclui-se que o NDWI é mais eficiente em períodos chuvosos e pode ser utilizado como ferramenta complementar à vetorização manual. Para períodos secos, recomenda-se o uso combinado de métodos, ajustes no limiar de classificação e integração com o conhecimento local (INPE, 2006; França et al., 2012), visando aumentar a precisão na detecção de corpos hídricos no semiárido.

## REFERÊNCIAS

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; RIBEIRO, L. G. (2019). Monitoramento de recursos hídricos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas. In: *Bacias Hidrográficas: Fundamentos e Aplicações*. 2ª ed., cap. 5.

BECKER, C. T.; BANDEIRA, M. M. (2025). *Atlas pluviométrico da Paraíba: 1994–2023*. João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA), 445 p.

CHAVES, L. C. G.; MOURA, W. B.; LIMA, A. L.; ARAÚJO, M. C. (2022). Influência dos fenômenos El Niño/La Niña na variação do espelho d'água do Açude Castanhão, no Estado do Ceará. In: OLIVEIRA, R. J. de (Coord.). *Recursos hídricos: Gestão, planejamento e técnicas em pesquisa*. Vol. 2. Editora Científica Digital.

DE CARVALHO NASSER, F.; MELLO, D.; FRANCELINO, M.; KRAUSE, M.; DE MOURA SOARES, H.; DEMATTÊ, J. (2024). Mapping deactivated mine areas in the Amazon forest impacted by seasonal flooding: Assessing soil-hydrological processes and quality dynamics by remote sensing and geophysical techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101148>.

ESTIGONI, M. V. (s.d.). *Influência da quantidade e disposição de dados na modelação de terrenos aplicada a batimetria de reservatórios. Estudos de caso: UHE Três Irmãos – SP e UHE Chavantes – SP*. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. (2012). Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa Olho D'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. In: *Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 4, Recife-PE, pp. 001–009.

GOMES, F. I. B., & ZANELLA, M. E. (2021). Histórico, causas e características da semiaridez do Nordeste do Brasil. *Geografares*, 2023

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. (2006). *Manuais: Tutorial de Geoprocessamento – Operação Aritmética*. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Acesso em: 25 jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2011). *Censo demográfico 2010: características da população e dos domicílios: resultados do universo*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd\\_2010\\_caracteristicas\\_populacao\\_domicilios.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf).

LEHNER, B.; DÖLL, P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296(1–4), pp. 1–22.

MCFEETERS, S. K. (1996). The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), pp. 1425–1432.



MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. P. (2018). Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco - Brazil. *Revista de Geografia*, 35(3), pp. 219–234. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.229388>

MEDEIROS, R. M. de; SABOYA, L. M. F.; FRANÇA, M. V. de; HOLANDA, R. M. de; CUNHA FILHO, M.; ARAÚJO, W. R. de. (2022). Impactos das anomalias pluviiais nas atividades agrícolas em Alagoa Nova e Lagoa Seca – Paraíba, Brasil. *Research, Society and Development*, 11(3), e32311326608.

MONDEJAR, Jeremy P.; TONGCO, Alejandro F. Near infrared band of Landsat 8 as water index: a case study around Cordova and Lapu-Lapu City, Cebu, Philippines. *Sustainable Environment Research*, v. 29, p. 1-15, 2019.

MORAIS, A. C. S.; BARBOSA, N. F. M. (2022). Análise de dados volumétricos dos açudes Coremas e Mãe D’água da Paraíba. *Research, Society and Development*, 11(10), e49111032397. DOI: 10.33448/rsd-v11i10.32397.

NAVIN, M.; MITHUN, N.; RICHARD, G. (2024). Unveiling the Hydrological NDWI: Random Forest Analysis of Landsat Images – Siruvani Dam, India. In: *International Conference on Smart Systems for Applications in Electrical Sciences (ICSSES)*, Anais [...], IEEE, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSSES62373.2024.10561333>.

NOVO, E. M. L. M., BARBOSA, C. C. F., RENNÓ, C. D., & AMARAL, S. (2013). Monitoramento ambiental por satélites: aplicações na hidrologia e nos recursos hídricos. Em: Epiphany, J. C. N., & Galvão, L. S. (Orgs.), *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações* (4ª ed., pp. 367–412). São José dos Campos: INPE.

ROKNI, K., AHMAD, A., SELAMAT, A., HAZINI, S. 2014. “Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery”. *Remote Sens.* 2014 (6), 4173–4189. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs6054173>.

SILVA, J. et al. (2023). Environmental degradation of vegetation cover and water bodies in the semiarid region of the Brazilian Northeast via cloud geoprocessing techniques applied to orbital data. *Journal of South American Earth Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104164>.

XU H.Q. 2006. “Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery”. *Int J Remote Sens.* 27:3025–33.

ZHAO, Z., WANG, M., CHEN, C., SHI, N., ET AL. (2024). The PCA-NDWI Urban Water Extraction Model Based on Hyperspectral Remote Sensing. *Water*, 16, 963.]