


Artigo

Análise Multitemporal do Espelho d'água do Açude Jaburu I por Meio de Ferramentas de Sensoriamento Remoto nos Anos de 2013 a 2020

Ademar Almeida de Sousa¹ , Marcos Antônio Tavares Lira² , Ulisses Costa de Oliveira³ ,
Carlos Alberto Mendes Júnior¹ 

¹*Centro de Ciência e Tecnologia, Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações nos Países da CPLP e África, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.*

²*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil.*

³*Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.*

Recebido em: 27 de Maio de 2022 - Aceito em: 3 de Junho de 2022

Resumo

Em regiões com influência do clima semiárido é nítida a escassez hídrica, a qual é consequência, dentre outros fatores, de cenários negativos de precipitação que acarretam secas prolongadas. Tais características reverberam negativamente no desenvolvimento socioeconômico da sociedade envolvida. Nesse contexto, o armazenamento de água em açudes pode ser considerado uma alternativa estratégica importante que requer uma atenção especial em busca da mitigação do déficit hídrico nessas regiões. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise multitemporal do espelho d'água do Açude Jaburu, localizado nos municípios de Ubajara e Tianguá, Ceará, nos anos de 2013 a 2020. Para isto, foi aplicado o Índice Normalizado por Diferença de Água (NDWI), tendo sido utilizadas imagens do satélite Landsat 8, Coleção 1 Tier 1, LANDSAT/LC08/C01/T1_RT, calibrado para reflectância do Topo da Atmosfera (TOA), por meio das bandas 3 e 5, com uma resolução espacial original de 30 m. Os principais resultados mostram que os anos que apresentaram maior recuo foram 2014 e 2015 com 192,21 e 175,05 hectares de espelho d'água a menos, respectivamente. Os anos de 2018 e 2019 apresentaram expansão, com 130,86 e 295,65 hectares, respectivamente. Para avaliar os dados abordados neste trabalho em termos de correlação com a pluviosidade na área, utilizou-se o teste de correlação de Spearman, que apresentou valor de p igual a 0,9349, assumindo-se não haver relação entre a pluviometria e a área do espelho d'água. Sugerem-se estudos mais aprofundados na área para compreender quais fatores podem comprometer a disponibilidade hídrica no reservatório, bem como confirmar, por meio de séries maiores, se realmente não há correlação entre a área do espelho d'água e a quantidade de chuva na área. Por fim, verificou-se que as ferramentas de sensoriamento remoto se mostraram eficazes na análise do espelho d'água da área estudada, bem como guardam um potencial positivo para contribuir com o gerenciamento adequado dos recursos hídricos superficiais em região com clima semiárido.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, NDWI, recursos hídricos.

Multitemporal Analysis of the Water Mirror of the Jaburu I Reservoir Through Remote Sensing Tools in the Years 2013 to 2020

Abstract

In regions with the influence of the semi-arid climate, water scarcity is clear, which is a consequence, among other factors, of negative precipitation scenarios that lead to prolonged droughts. Such characteristics reverberate negatively on the socioeconomic development of the society involved. In this context, water storage in dams can be considered an important strategic alternative that requires special attention in search of mitigating the water deficit in these regions. Thus, the present work aimed to carry out a multitemporal analysis of the water mirror of Açude Jaburu, located in the municipalities of Ubajara and Tianguá, Ceará, from 2013 to 2020. For this, the Normalized Index by Difference of Water (NDWI), using images from the Landsat 8 satellite, Collection 1 Tier 1, LANDSAT/LC08/C01/T1_RT, calibrated

for Top of Atmosphere (TOA) reflectance, through bands 3 and 5, with a spatial resolution original 30 m. The main results show that the years with the greatest decline were 2014 and 2015 with 192.21 and 175.05 hectares of less water. The years 2018 and 2019 showed expansion, with 130.86 and 295.65 hectares, respectively. To evaluate the data discussed in this work in terms of correlation with rainfall in the area, the Spearman correlation test was used, which presented a p-value equal to 0.9349, assuming that there is no relationship between rainfall and the area of the mirror of water. Further studies in the area are suggested to understand which factors can compromise the water availability in the reservoir, as well as to confirm, through larger series, if there is really no correlation between the water surface area and the amount of rainfall in the area. Finally, it was found that the remote sensing tools proved to be effective in the analysis of the water surface of the studied area, as well as having a positive potential to contribute to the proper management of surface water resources in a region with a semi-arid climate.

Keywords: remote sensing, NDWI, water resources.

1. Introdução

As zonas semiáridas se destacam quando o assunto é escassez hídrica, apresentando chuvas irregularmente distribuídas espacial e temporalmente, com períodos de estiagem severa, bem como eventos de chuvas intensas, acarretando problemas para o desenvolvimento econômico e social das regiões localizadas nessas áreas de clima semiárido. Nesse contexto, o armazenamento de água através de reservatórios artificiais tem sido uma alternativa bastante viável para se conviver com a seca. De acordo com [Silva et al. \(2007\)](#), os açudes funcionam como fonte de água para consumo, irrigação, os açudes apresentam-se de grande importância, pois conseguem armazenar água e mantê-la por um determinado período, que varia em função do uso e da evaporação. Entretanto, conforme destaca [Farias \(2004\)](#), apenas a construção de reservatórios não resolve o problema da escassez de água na região, sendo necessária a implementação de políticas operacionais do uso das reservas de água.

Nesse contexto, estudos mais robustos são necessários para o monitoramento desses reservatórios e o uso de técnicas de sensoriamento remoto tem se mostrado bastante eficiente, com custo relativamente baixo e facilmente atualizável. O sensoriamento remoto é extremamente útil para compreender a mudança espaço-temporal da superfície terrestre [Orhan et al. \(2014\)](#). O uso de sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas são técnicas que vêm sendo usadas há mais de 20 anos e têm sido bastante úteis e satisfatórios no manejo dos recursos hídricos ([Schultz, 1997](#)). O Sensoriamento Remoto permite uma visão sinóptica do problema, além da possibilidade de resgatar dados do passado, identificando feições de interesse [Pereira e Lapere \(2009\)](#).

Os Sistemas de Informação Geográfica e o Sensoriamento Remoto são usados no monitoramento de corpos d'água com base na disponibilidade de dados de satélite e auxiliam nos processos de decisão e formulação de políticas [Verpoorter et al. \(2012\)](#). Esses tipos de mudanças espaços-temporais em reservatórios podem ser calculados usando as imagens multi-temporais e podem ser quantificados no mapeamento de águas superficiais [Pekel et al. \(2016\)](#). As imagens de resolução espacial média do Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) iniciaram uma era

para o monitoramento de recursos terrestres [Roy et al. \(2014\)](#).

Nessa perspectiva, a identificação de corpos d'água desempenha um papel vital na avaliação do estado da cobertura hídrica e na detecção e monitoramento de mudanças nas águas superficiais [Ouma e Tateishi \(2006\)](#).

Diversas pesquisas aplicadas ao mapeamento de superfície de água têm sido realizadas por meio de uso de ferramentas de sensoriamento remoto ([Duan e Bastiaansen, 2013](#); [Fang-Fang et al., 2012](#); [Li et al., 2013](#); [Bhangale et al., 2020](#)), bem como utilizando NDWI ([Mcfeeters, 1996](#); [Xu, 2006](#); [Ahmed e Akter, 2017](#); [Eid et al., 2020](#); [Teng et al., 2021](#)). O índice NDWI segue a mesma lógica do índice de diferença normalizada da vegetação [Mcfeeters \(1996\)](#), permitindo ressaltar feições de água e minimizar os demais alvos.

A importância das ferramentas supramencionadas é potencializada quando se trata da região nordeste, na qual o clima semiárido atua fortemente e conseqüentemente a escassez hídrica e seca prolongadas são recorrentes nessa região. Ademais, o estudo das tecnologias remotas em análise contribui para o aprimoramento da gestão de recursos hídricos armazenados, bem como para o enfrentamento de futuras crises hídricas [Rabelo e Lima Neto \(2017\)](#).

Assim, o presente trabalho buscou realizar uma análise multitemporal do espelho d'água do Açude Jaburu I, localizado nos municípios de Tianguá e Ubajara, estado do Ceará, nos anos de 2013 a 2020, com auxílio de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

De acordo com dados do Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH, 2015), a área de estudo abrange o Açude Jaburu, situado entre os municípios de Tianguá e Ubajara no extremo noroeste do Estado do Ceará, entre as coordenadas geográficas 3°50'13" S e 3°51'54.04" S e 41°6'20" O e 41°3'43" O. Esse reservatório é decorrente do barramento do rio Jaburu, drenando uma área com aproximadamente 314 km², proporcionando uma capacidade de acumulação de 138 hm³, que

desempenha o importante papel de abastecer várias sedes municipais e localidades na Serra da Ibiapaba, beneficiando mais de 160.000 habitantes [Leme *et al.* \(2017\)](#). A [Fig. 1](#) apresenta a localização do açude supramencionado.

2.2. Aquisição e processamento dos dados

Para aquisição da série temporal NWDI entre os anos de 2013 e 2020 foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, Coleção 1 Tier 1, LANDSAT/LC08/C01/T1_RT, calibrado para refletância do Topo da Atmosfera (TOA), tendo sido utilizadas as bandas 3 e 5, com uma resolução espacial original de 30 m. De acordo com [Ashok *et al.* \(2021\)](#), o *Google Earth Engine - GEE* contém métodos de processamento específicos do Landsat para calcular a radiância no sensor, refletância TOA, refletância de superfície (SR), pontuação de nuvem e compostos livres de nuvem. Além disso, fornece um algoritmo de filtragem de nuvens com base em sua nebulosidade relativa. No GEE o processamento dos dados Landsat foi realizado utilizando a tecnologia de computação em nuvem (<https://code.earthengine.google.com/>). Isso possibilita o proces-

samento de big data e computação paralela viável na área de estudo.

O NDWI é um índice de água proposto por [Mc Feeters \(1996\)](#), para distinguir terra de água aberta e realçar recursos de água aberta em imagens de sensoriamento remoto. O índice NDWI é calculado como uma diferença entre o infravermelho próximo (NIR) e os comprimentos de onda verde ([XU, 2006](#)).

De acordo com [Ashok *et al.* \(2021\)](#), os valores de NDWI estão fortemente relacionados ao teor de água na vegetação e, portanto, é um indicador para a medição do estresse hídrico desse alvo. Esses valores são úteis nos cálculos do status da água líquida da vegetação por sensoriamento remoto do espaço. Este índice está centrado nas propriedades de refletância da vegetação verde e seca, variando de -1 a $+1$, sendo usado na extração dos corpos d'água das imagens de satélite. O NDWI é dado pela [Eq. \(1\)](#):

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{nir}}{\rho_{green} + \rho_{nir}} \quad (1)$$

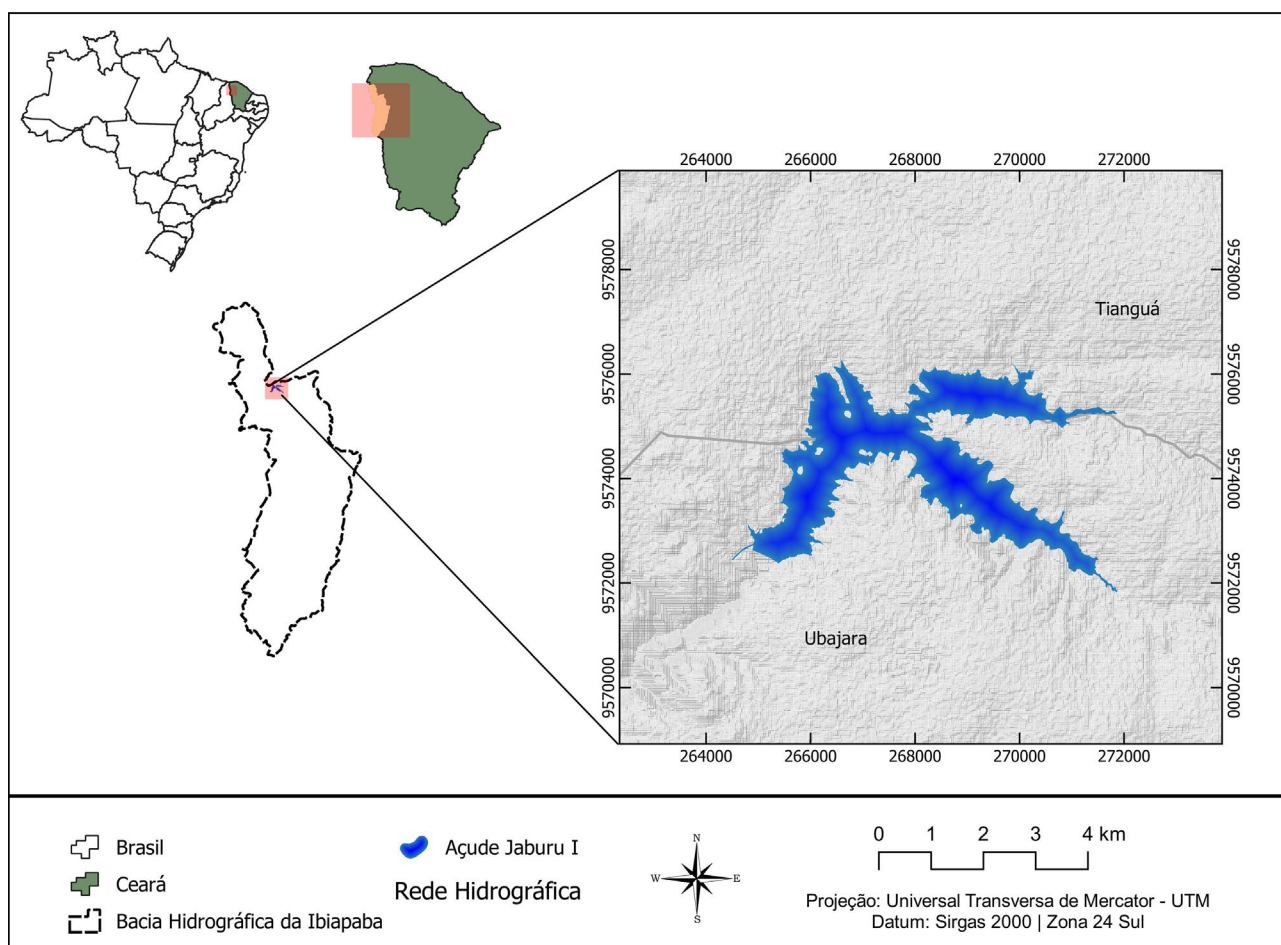


Figura 1 - Localização da área de estudo.

onde ρ_{green} (banda 3) representa a banda verde e ρ_{nir} (banda 5) representa a banda do infravermelho próximo do satélite landsat 8, respectivamente.

Para identificação dos corpos hídricos, toma-se o valor zero como limiar (Mcfeeters, 1996), sendo que acima de zero classifica-se como água.

O processo de limiarização das imagens de NDWI foi realizado no software QGIS versão 3.16 por meio da ferramenta calculadora *raster* através da diferença entre as imagens de cada ano em relação ao ano anterior, resultando nas imagens de expansão e recuo do espelho d'água. Para estimativa das áreas do espelho d'água utilizou a função "Reporta camada *raster* de valor único" do menu Grass embarcado no QGIS que executa a contagem de cada valor único (categoria) no dado de camada *raster* e calcula a área em m^2 . Em seguida, os valores resultantes foram convertidos em hectares.

Para análise da correlação entre os dados de chuva e área do espelho d'água, primeiramente procedeu-se um teste de normalidade para os dados, tendo sido utilizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com vistas a se definir o tipo de coeficiente de correlação a ser utilizado.

3. Resultados e Discussão

Por meio da utilização das imagens de média resolução do satélite Landsat 8, foi possível realizar o mapeamento da evolução do espelho d'água do Açude Jaburu I ao longo dos anos 2013 a 2020. Durante a série analisada, verificou-se que o tamanho das áreas do espelho d'água, expresso em hectares (ha), variou negativamente nos anos iniciais (2013 a 2016) e positivamente a partir de 2016.

Ao se comparar as Figs. 2 e 3, verifica-se que o levantamento realizado através das imagens de satélite

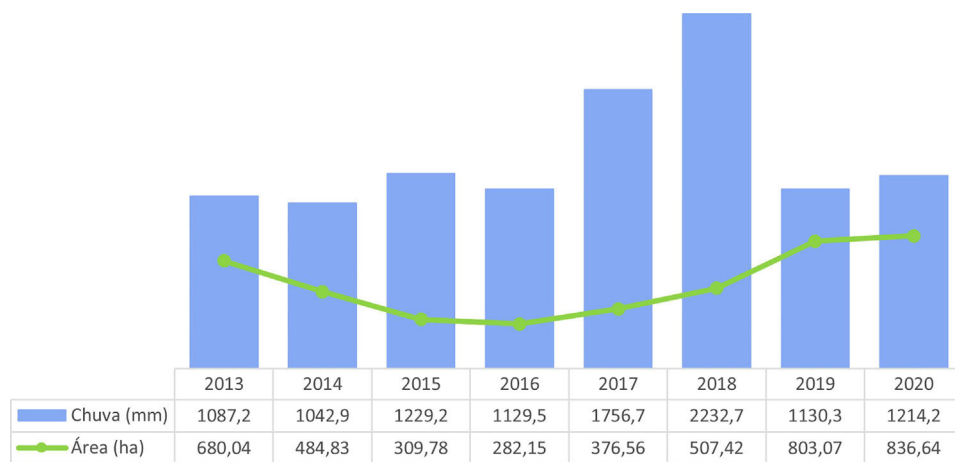


Figura 3 - Pluviosidade na estação Tianguá e área do espelho d'água no Açude Jaburu I, nos anos 2013–2020. Fonte: Elaborada pelos autores.

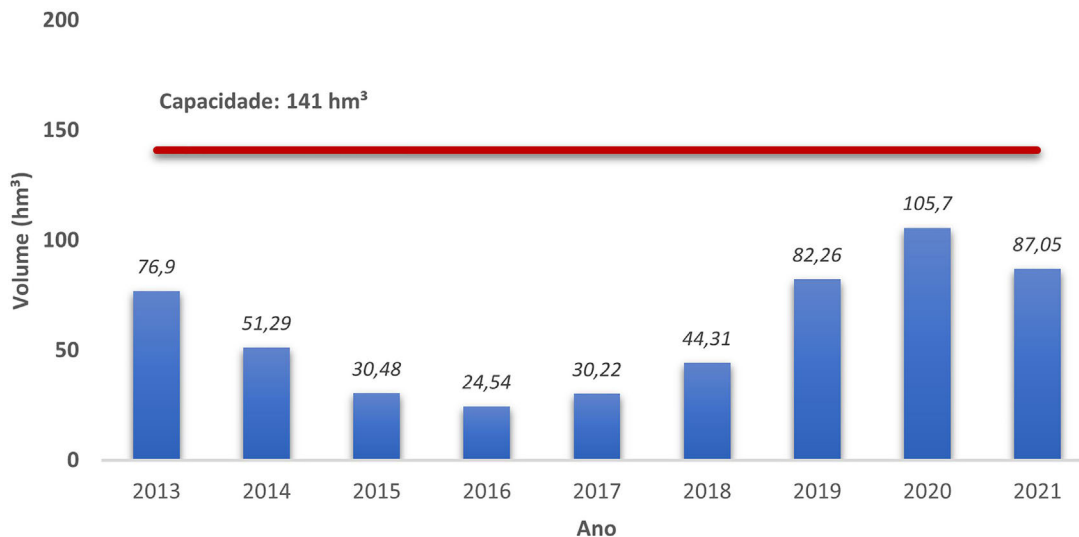


Figura 2 - Volume do Açude Jaburu I ao longo dos anos 2013–2021. Fonte: SRH, 2021.

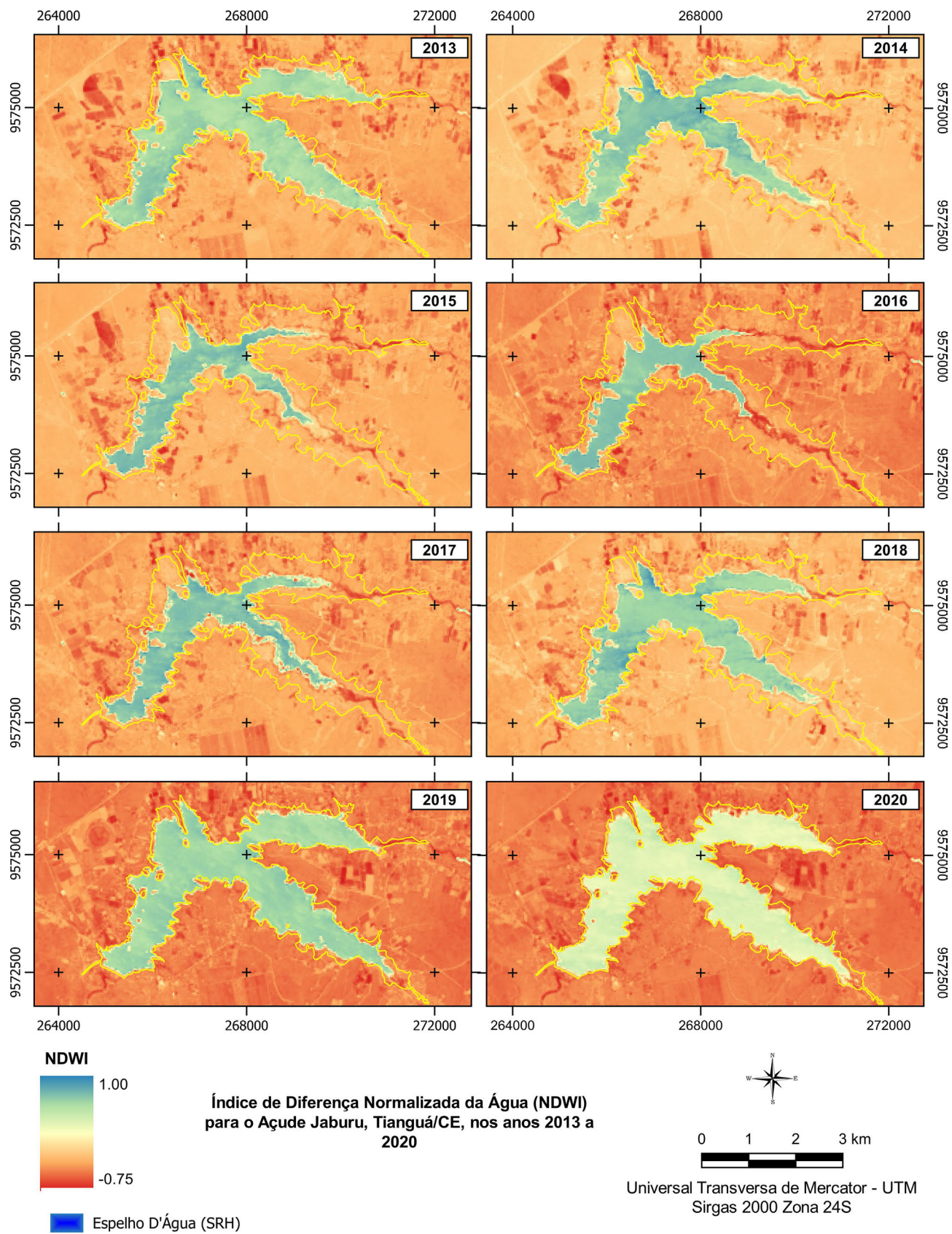


Figura 4 - Evolução do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) para o Açude Jaburu nos anos (2013–2020).

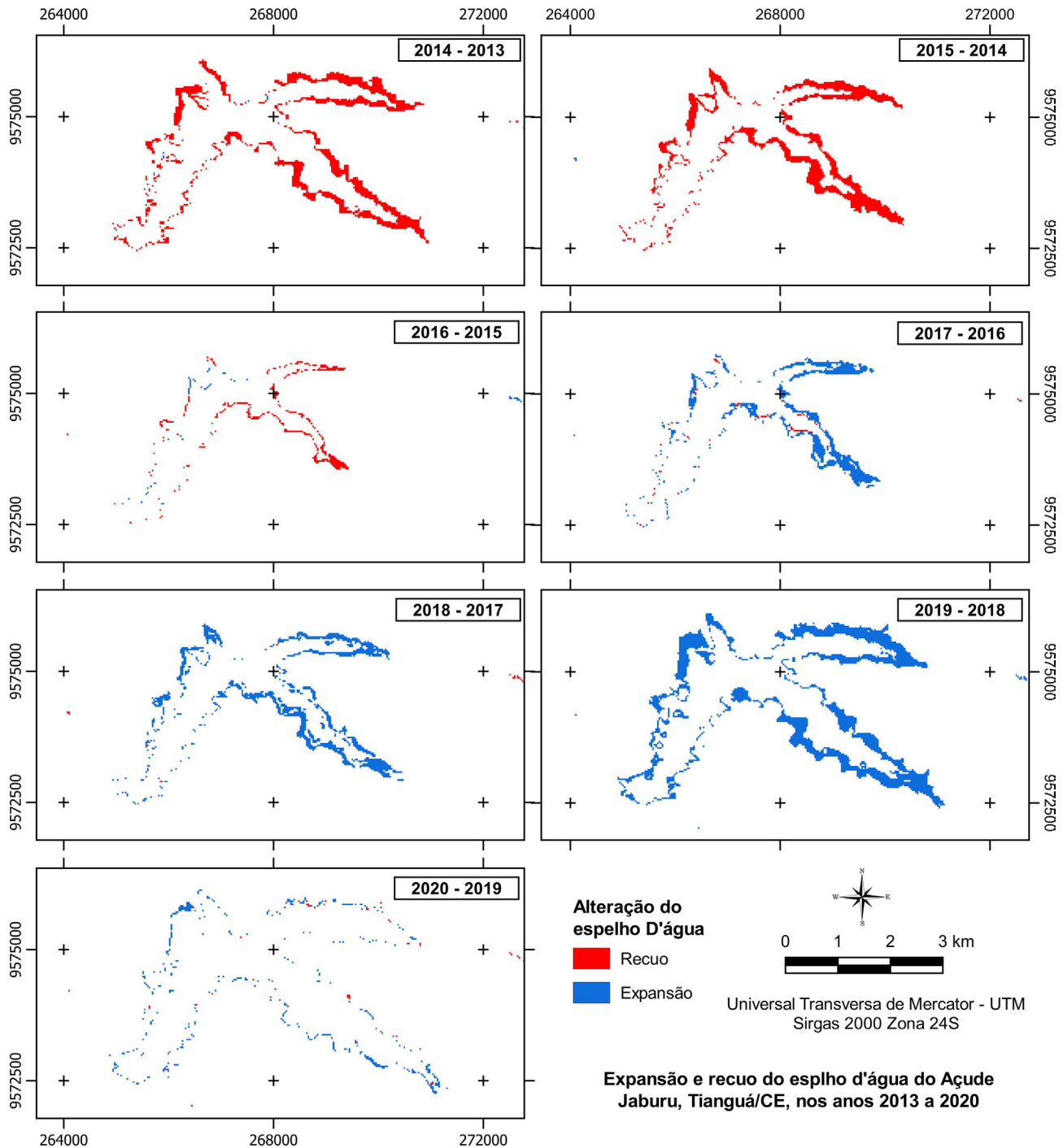


Figura 5 - Expansão e recuo do espelho d'água do Açude Jaburu para os anos (2013–2020).

quanto às áreas do espelho d'água no açude seguem um padrão compatível, com tendência de queda até o ano de 2016 e aumento a partir de 2017. Isso ocorre pelo fato de o nível de cheia do reservatório ser proporcional à área da superfície do seu espelho d'água.

O teste de normalidade de Shapiro Wilk mostrou que os dados de chuva não apresentam distribuição normal ($p\text{-value} = 0.005576$) e os dados das áreas dos espelhos

d'água apresentaram distribuição normal ($p\text{-value} = 0.3657$). Dessa forma, para avaliar a correlação dos dados de chuva e área utilizou-se o teste de correlação de Spearman, que apresentou valor de p igual a 0.9349, assumindo-se não haver relação entre a pluviometria e a área do espelho d'água. Salienta-se que essa ausência de correlação deve ser testada com uma série de dados mais robusta. Uma possibilidade que pode ser levantada, mas que não

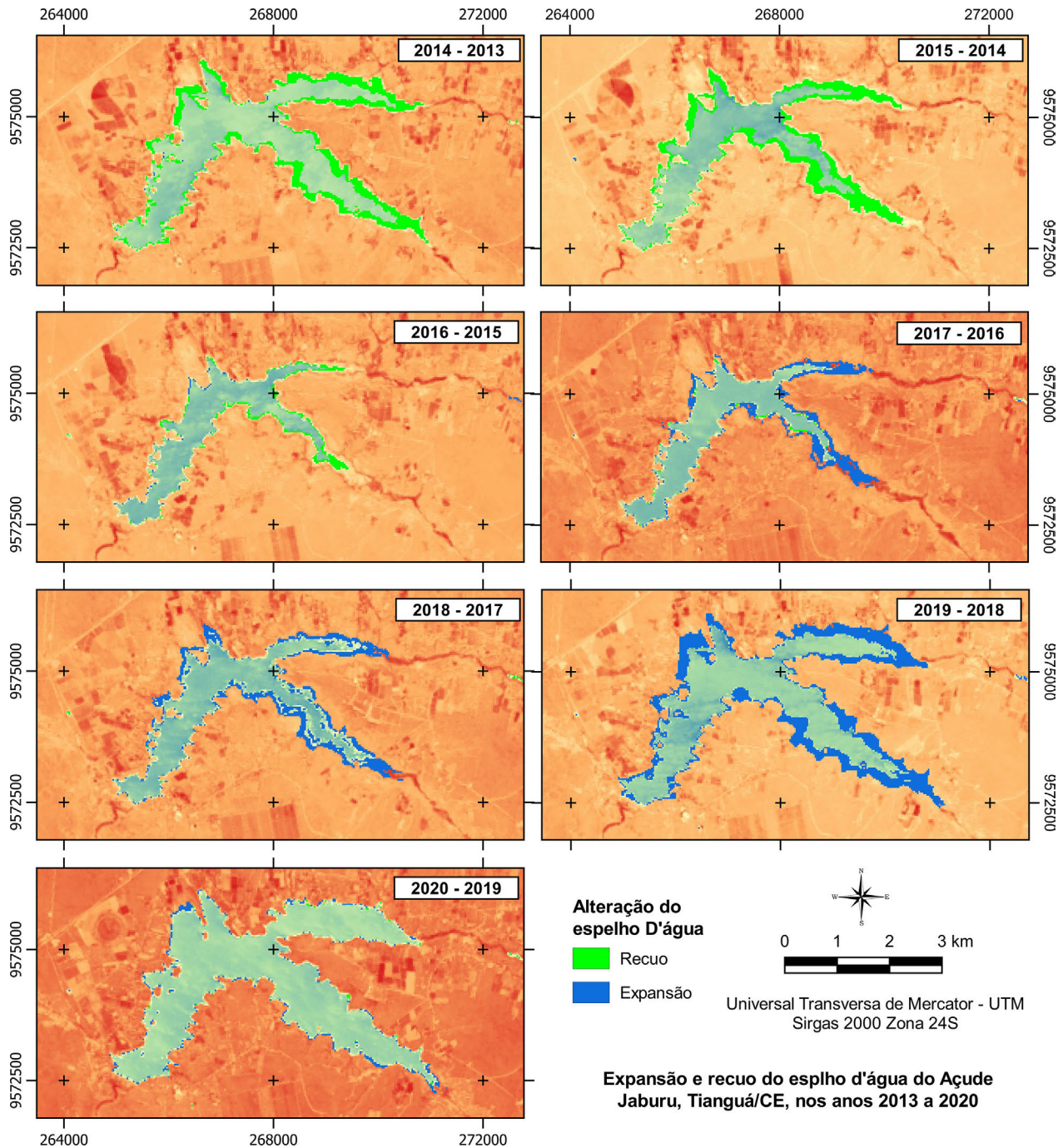


Figura 6 - Expansão e recuo contextualizados com o índice NDWI do espelho d'água do Açude Jaburu para os anos (2013–2020).

será abordada neste trabalho é que os usos no açude é que podem ser determinantes para a área do espelho d'água, porém, é importante que sejam avaliadas informações sobre batimetria, demanda, consumo e alocação da água do referido reservatório.

Quanto aos dados de NDWI, através deste índice é possível estimar a intensidade da ocorrência de mudanças na água, ou seja, será possível verificar se a superfície da água aumenta ou diminui ao longo de um determinado

período. A Fig. 4 mostra a Evolução do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) para o Açude Jaburu em relação à poligonal oficial disponibilizada pelo órgão gestor de recursos hídricos. Nota-se em todos os anos que o espelho d'água encontra-se menor do que o seu tamanho máximo. De 2013 até 2016 nota-se uma tendência de redução do espelho e tendência de aumento a partir de 2017. Essas direções de mudanças (recuo ou expansão) podem ser verificadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Evolução das áreas do espelho d'água do açude Jaburu nos anos (2013–2020) e suas respectivas direções (recoo ou expansão).

Ano	Área (ha)	Alteração	
2013	680,04	-	-
2014	484,83	-195,21	Recoo
2015	309,78	-175,05	Recoo
2016	282,15	-27,63	Recoo
2017	376,56	94,41	Expansão
2018	507,42	130,86	Expansão
2019	803,07	295,65	Expansão
2020	836,64	33,57	Expansão

Na Fig. 5 pode-se verificar espacialmente como as mudanças no espelho d'água do açude ocorreram. Em vermelho são indicadas as áreas onde ocorreu recoo da área. Os anos que apresentaram maior recoo foram 2014 e 2015 com 195,21 e 175,05 hectares de espelho d'água a menos. Destacam-se os anos de 2018 e 2019 como exemplo de avanço, em azul, com 130,86 e 295,65 hectares, respectivamente.

A Fig. 6 mostra de forma contextualizada os recuos (em verde) e a expansão (em azul) do espelho d'água permitindo verificar onde ocorreram tais mudanças no reservatório. Os principais impactos tanto de recoo como de expansão concentram-se na porção nordeste e sudeste do açude. No período estudado, considerando-se as perdas, o reservatório apresentou um saldo positivo de 156,6 hectares, estando em 2020, com área de espelho d'água na ordem de 836,64 hectares.

As expansões ocorrem mais intensamente nos anos de 2018 e 2019, tendo ocorrido uma estabilização no ano de 2020, porém com área máxima nos anos estudados. Comparando-se a Fig. 6 com a Fig. 3, nota-se que a evolução das áreas do espelho d'água do açude se contrapõe aos dados de chuva registrados na estação pluviométrica Tianguá.

Entretanto, ressalta-se a necessidade de analisar os dados com uma série temporal maior tanto em termos de área como em termos de quantidade de estações de monitoramento.

6. Conclusões

Considerando-se os resultados obtidos, conclui-se que as ferramentas e técnicas de geoprocessamento, por meio de processamento digital de imagens e combinação de bandas para mapear espelhos d'água por meio de imagens de satélite, contribuem de maneira significativa para a gestão dos recursos hídricos de maneira eficiente, rápida e de baixo custo.

Com bases nos dados adquiridos estes não apresentaram correlação com a pluviosidade na área, indicando que existem outras formas de uso da água que podem comprometer a disponibilidade hídrica no açude, tais

como batimetria, demanda, consumo e alocação da água do referido reservatório.

Por fim, observou-se que os anos de 2013 a 2016 apresentaram recoo na disponibilidade hídrica do açude, apenas tendo sido verificado expansão a partir do ano de 2017, com destaque para os anos de 2018 e 2019 e estabilidade no ano de 2020.

Referências

- AHMED, K.R.; AKTER, S. Analysis of landcover change in southwest bengal delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with landsat multi-spectral surface reflectance satellite data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 8, p. 168-181, 2017. doi
- ASHOK, A.; RANI, H.P.; JAYAKUMAR, K.V. Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 23, p. 100547, 2021. doi
- BHANGALE, U.; MORE, S.; SHAIKH, T.; PATIL, S.; MORE, N. Analysis of surface water resources using Sentinel-2 imagery. **Procedia Computer Science**, v. 171, p. 2645-2654, 2020. doi
- DUAN, Z.; BASTIAANSSEN, W.G.M. Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. **Remote Sensing of Environment**, v. 134, p. 403-416, 2013. doi
- EID, A.N.M.; OLATUBARA, C.O.; EWEMOJE, T.A.; EL-HENNAWYB, M.T.; FAROUK, H. Inland wetland time-series digital change detection based on SAVI and NDWI indices: Wadi El-Rayan lakes, Egypt. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 19, p. 100347, 2020. doi
- FANG-FANG, Z.; BING, Z.; JUN-SHENG, Li.; QIAN, S.; YUANFENG, W.; YANG, S. Comparative analysis of automatic water identification method based on multi-spectral remote sensing. **Procedia Environmental Sciences**, v. 11, p. 1482-1487, 2011. doi
- FARIAS, S.R.A. **Operação Integrada dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 140 p., 2004.
- LEME, R.F.; XAVIER, L.C.P.; LIMA, F.C.; CARNEIRO NETO, J.A.; TARGINO, D.L.L.; *et al.* Influência do fluxo subterrâneo proveniente de bacia sedimentar na operação de reservatórios - Estudo de caso: Barragem Jaburu I. In: **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, p. 1-8, 2017.
- LI, Z.; SUN, W.; CHEN, H.; XUE, B.; YU, J.; TIAN, Z. Inter-annual and seasonal variations of hydrological connectivity in a large shallow wetland of north China estimated from Landsat 8 images. **Remote Sensing**, v. 13, p. 1214, 2021. doi
- 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. doi

- ORHAN, O.; EKERCIN, S.; DADASER-CELIK, F. Use of Landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the Salt Lake basin area, Turkey. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-11, 2014. doi
- OUYMA, Y.O.; TATEISHI, R.A. Water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM + data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 15, p. 3153-3181, 2006. doi
- PEREIRA, L.E.; LAPERE, A.C.L. Análise multitemporal da lagoa do Jacadigo no município de Corumbá. In: **2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Corumbá, p. 240-248, 2009.
- PEKEL, J.F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, v. 540, n. 7633, p. 418-422, 2016. doi
- QGIS.org. QGIS Geographic Information System. QGIS Association, 2021. <http://www.qgis.org>.
- RABELO, U.P.; LIMA NETO, I.E. Efeito de secas prolongadas nos recursos hídricos de uma região semiárida: Uma análise comparativa para o Ceará. **Dae**, v. 66, n. 212, p. 61-79, 2017. doi
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2021.
- ROY, D.P.; WULDER, M.A.; LOVELAND, T.R.; WOODCOCK C.E.; ALLEN R.G.; *et al.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154-172, 2014. doi
- SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS AÇUDES (SRH). **Características Técnicas. Ficha Técnica Açude Jaburu**. Disponível em http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=97&status=1, acesso em 25 Jun. 2021.
- SCHULTZ, G. Remote sensing and geographic information systems for design and operation of water resources systems. **Hydrologie**, n. 242, 1997. Disponível em http://hydrologie.org/redbooks/a242/iahs_242_0003.pdf.
- SILVA, H.P.; SILVA, M.D.R.; SOUZA E.R.; RISSO, A. Utilização de imagens CBERS na avaliação do volume de água armazenada no açude Cachoeira, no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Florianópolis, p. 1167-1173, 2007.
- TENG, J.; XIA, S.; LIU, Y.; YU, X.; DUAN, H.; *et al.* Assessing habitat suitability for wintering geese by using Normalized Difference Water Index (NDWI) in a large floodplain wetland, China. **Ecological Indicators**, v. 122, p. 107-260, 2021. doi
- XU, H. 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. doi
- VERPOORTER, C.; KUTSER, T.; TRANVIK, L. Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 10, n. 12, p. 1037-1050, 2012. doi