

Comparison of water masses areas in a semiarid basin using spectral indices and MapBioma's classification

Valéria R. Lourenço^{*}, Ailton A. de Carvalho^{**}, Giselle da C.de Almeida^{***}, Abelardo A. de A. Montenegro^{****}

^{*}Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola - Universidade de Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ramos.valeria74@yahoo.com, ^{**}Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola - Universidade de Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ailtonalvesst@gmail.com, ^{***}Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola - Universidade de Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), gihalmeida01@gmail.com, ^{****}Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola - Universidade de Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), montenegro.ufrpe@gmail.com.

Received 8 October 2021; accepted 18 November 2021

Abstract

Information surveys about water resources availability present in a basin is essential for its multiple use planning. In this context, the purpose of this study was to evaluate the reservoirs area in a semi-arid hydrographic basin, comparing information obtained from spectral indices with data from the MapBiomias classification. The study was carried out in the contribution basin of the Chapéu reservoir, in the Brígida River Basin, Pernambuco State. To assess the area of water masses in the basin, data from the classification carried out by the MapBiomias project - collection 5, referring to the year 2019, were used. The NDWI and MNDWI indices were also applied to images from the Sentinel-2 Satellite, referring to the year 2019, to determine the areas of reservoirs in the basin. The information from the indexes was vectored to obtain the polygons of each reservoir and calculate their respective areas. The use of the NDWI and MNDWI spectral indices for the identification of water bodies provided similar areas for the Chapéu reservoir, the main reservoir in the study basin, approaching the volume values obtained with the local monitoring of the reservoir. The assessment of water masses in the basin based on spectral indices and the MapBiomias classification provided information on the masses with high spatial resolution, enabling the identification of bodies in the basin, and it could be used as a tool for monitoring water resources.

Keywords: NDWI; MNDWI; reservoirs; water resources.

Comparação da área das massas d'água em uma bacia hidrográfica utilizando índices espectrais e classificação do MapBiomias

Resumo

O levantamento de informações acerca dos recursos hídricos disponíveis em uma bacia hidrográfica é fundamental para o planejamento de usos múltiplos. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a área dos reservatórios em uma bacia hidrográfica do semiárido, comparando informações obtidas a partir de índices espectrais com dados da classificação do MapBiomias. O estudo foi realizado na bacia de contribuição do reservatório Chapéu, na Bacia do Rio Brígida, Pernambuco. Para avaliação da área das massas d'água na bacia foram utilizados os dados da classificação realizada pelo projeto MapBiomias – coleção 5, referente ao ano de 2019. Aplicaram-se também os índices NDWI e o MNDWI em imagens do Satélite Sentinel-2, referente ao ano de 2019 para determinação das áreas dos reservatórios na bacia. As informações dos índices foram vetorizadas para obtenção dos polígonos de cada reservatório e cálculo de suas respectivas áreas. A utilização dos índices espectrais NDWI e MNDWI para a identificação de corpos hídricos forneceram área semelhantes para o Açude Chapéu, principal reservatório da bacia de estudo, aproximando-se dos valores de volume obtidos com o monitoramento local do açude. A avaliação das massas d'água da bacia a partir de índices espectrais e da classificação do MapBiomias forneceu informações das massas com alta resolução espacial, possibilitando identificação dos corpos na bacia avaliada, e podendo ser utilizada como uma ferramenta para o monitoramento dos recursos hídricos.

Palavras-chave: NDWI; MNDWI; reservatórios; recursos hídricos.

1. Introdução

O monitoramento dos recursos hídricos presentes em uma bacia hidrográfica, como seus corpos hídricos, é fundamental para a previsão de

fenômenos como enchentes e inundações (Rodrigues et al., 2016; Ataíde et al., 2017), além de permitir avaliar o potencial hídrico da bacia hidrográfica para adoção da gestão integrada dos recursos hídricos (Dias et al., 2020). A qualidade e quantidade desses

recursos sofrem influência direta do uso e ocupação presente na área de captação da bacia (Souza et al., 2012), podendo ser observada esta influência diretamente nos espelhos d'água presentes na área.

Outra característica que ressalta a importância do monitoramento dos reservatórios da região semiárida é sua alta variabilidade de volume em consequência do comportamento das chuvas e associado à reduzida capacidade de retenção de água nos solos de forma predominante na Região Nordeste (Jacomine, 1996), indicando a dependência da população ao regime pluviométrico como fonte para captação e armazenamento hídrico (Moura et al., 2007). A Região está ainda inserida em área caracterizada como de elevado risco hídrico por possuir totais pluviométricos mais baixos e consequentemente menores vazões médias (Ana, 2005).

A importância dos reservatórios superficiais na gestão hídrica da Região semiárida brasileira é basilar (De Araújo e Medeiros, 2013), por exemplo, responsáveis por mais de 90% das reservas de água potável em determinados Estados do Nordeste (De Araújo; Güntner; Bronstert, 2006). Entretanto, o monitoramento destes mananciais pode ser considerado precário. Estudos realizados a partir análise de séries temporais de imagens de satélite permitiram a identificação de uma rede de alta densidade de reservatórios com pouca ou nenhuma informação disponível (Mamede et al., 2012; Peter et al., 2014; Pereira et al., 2019).

A possibilidade do uso de geotecnologias para o monitoramento dos recursos hídricos tem ao longo do tempo fornecido sistemas de suporte a decisão que possibilitam a integração de diversas ferramentas e técnicas que melhor se adaptam ao objeto de estudo e as demandas específicas (Mauad e Lima, 2003). Inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos utilizando o sensoriamento remoto para avaliação da qualidade da água em reservatórios (Castro et al., 2018; Peixoto et al., 2018; Gross et al., 2019), a probabilidade de cheias (Rodrigues et al., 2016; Ataíde et al., 2017), a distribuição de chuvas intensas (Crispim et al., 2019; Ferreira Filho et al., 2019), a dinâmica do escoamento superficial nas bacias (Rodrigues et al., 2020) e até a avaliação do potencial dos reservatórios para produção agrícola (Sonnenberg et al., 2020).

A aplicação de geotecnologias, como o sensoriamento remoto, permite a realização de monitoramentos através de séries temporais sem a necessidade de coletas em campo. Este procedimento é imprescindível para que possam ser realizadas análises temporais reduzindo a necessidade de coletas de dados *in situ* (Meira et al., 2016; Sales et al., 2017;

Silva et al., 2017), diminuindo com isso os custos no monitoramento e avaliação dos recursos hídricos e possibilitando a obtenção de informações que auxiliam na gestão estratégica destes. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a área dos reservatórios em uma bacia hidrográfica do semiárido comparando informações obtidas a partir de índices espectrais com dados da classificação do MapBiomas.

2. Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido na bacia de contribuição do reservatório do Chapéu, inserida na Bacia do rio Brígida, localizada no Alto Sertão de Pernambuco, na unidade de depressão do São Francisco (Figura 1).

A bacia de trabalho possui uma área de 3.149 km² e 514 km de perímetro e uma altitude média de 569,02 m. O clima da região é do tipo BSwh' com precipitação média de 600 mm ano⁻¹ (APAC, 2018). Utilizaram-se dados de precipitação obtidos da estação meteorológica localizada no município de Parnamirim, código 839013 da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada nas coordenadas -8.0922° de latitude e -39.5742° de longitude e em uma altitude de 379 m. Uma série histórica compreendendo os anos 1984 a 2020 foi utilizada para gerar as normais climatológicas. A série histórica de chuvas pode ser observada na Figura 2.

A precipitação total anual média foi de 563,78 mm ano⁻¹, com uma média mensal de 46,95 mm, e uma quadra chuvosa que se distribui entre novembro a maio, quando se inicia a redução na precipitação média mensal. O mês com a maior média pluviométrica é março com 141,61 mm mês⁻¹ e com menor média é agosto com 2,21 mm mês⁻¹. Os dados foram submetidos à análise de Mann Kendall que identificou uma tendência de decréscimo na série histórica a um nível de 5% de significância.

São sediados na extensão da bacia os municípios de Exu, Granito, Serrita, Moreilândia e Parnamirim caracterizados pela produção agropecuária. São responsáveis por cerca de 11% do rebanho bovino, sendo Parnamirim detentora de cerca de 17% do rebanho de ovinos e caprinos do Estado de Pernambuco (IBGE, 2018). O uso e ocupação do solo na bacia é predominantemente caracterizado pela Caatinga de estrato raleado, seguida por áreas com pastagem e agricultura. A sub-bacia selecionada na área da bacia principal possui um ponto de vertedouro que se localiza nas proximidades da Estação de Agricultura Irrigada de Parnamirim – EAIP, da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE.

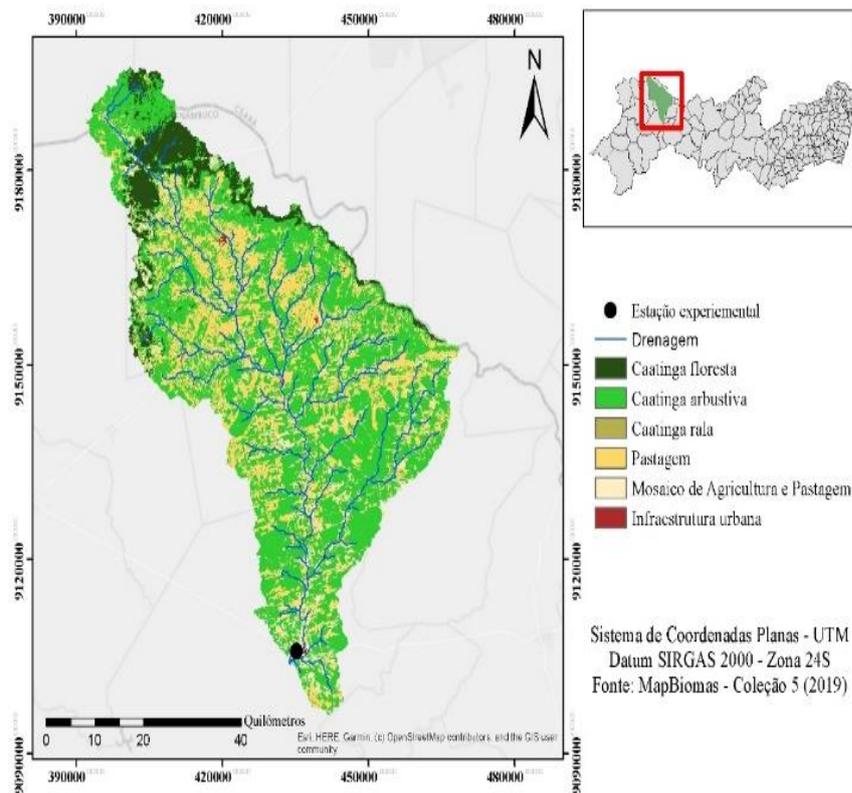


Figura 1- Localização, perímetro, uso e ocupação da sub-bacia de contribuição do Reservatório do Chapéu, a oeste do estado de Pernambuco, região Nordeste do Brasil.

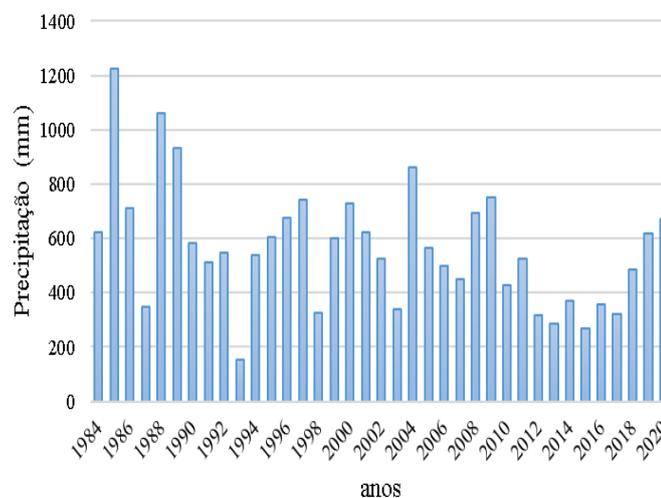


Figura 2 - Série histórica da precipitação anual total referente aos anos de 1984 a 2020 coletados na estação de Parnamirim.

A delimitação da área da bacia foi realizada utilizando dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtidos com a missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado pelo USGS (United States Geological Survey). Os procedimentos para delimitação foram realizados utilizando-se o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) desenvolvido pela USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS) e a Texas A&M AgriLife Research, como parte do The Texas A&M University

System. O modelo foi implementado no software livre Quantum GIS (QGIS) versão 3.16.

Para a determinação da área das massas d'água presentes na bacia foram utilizados os resultados da classificação realizada pelo projeto MapBiomias – coleção 5, referente ao ano de 2019 (Souza e al., 2020). A classificação disponibilizada pelo banco de dados do MapBiomias é realizada utilizando como base, imagens do satélite Landsat-8, que possui resolução espacial de 30 m. Visando avaliar também a influência da resolução espacial das

imagens na determinação da área dos reservatórios, utilizaram-se também imagens do Satélite Sentinel-2, referente a setembro de 2019, para determinação das áreas das massas d'água na bacia.

Os índices NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) (Du et al., 2016) e o MNDWI (Índice Modificado de Água por Diferença Normalizada) (McFeeters, 1996; Xu, 2006) foram aplicados na imagem Sentinel-2 para a determinação dos píxeis contendo corpos hídricos na área da bacia. Os índices foram calculados conforme as Equações 1 e 2.

$$NDWI = (G-NIR)/(G+NIR) \quad (1)$$

$$MNDWI = (G-SWIR)/(G+SWIR) \quad (2)$$

Em que, G se refere a banda espectral verde, NIR é a banda do infravermelho próximo e SWIR é banda do infravermelho de ondas curtas.

Os rasters contendo os valores da aplicação dos índices foram vetorizados para obtenção dos polígonos de cada reservatório, e posterior cálculo da área das massas d'água, obtidos a partir de cada índice espectral. Como parâmetro de comparação dos valores de área obtidos pelos índices e pela

classificação disponibilizada pelo MapBiomias, utilizou-se a base de dados do mapeamento das massas d'água do Brasil (Ana, 2020). Os dados dessa base são um componente da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) da ANA (Agencia Nacional de Águas e Saneamento), e compreendem as massas d'água existentes no território nacional, tais como: lagos, lagoas, açudes, represas, reservatórios e trechos de rios representados como polígonos, na escala de resolução adotada pela ANA. A base é composta pela junção de levantamentos do IBGE na escala de 1:250.000, contendo trechos de massas d'água, representados por polígonos, com mapeamento de espelhos d'água, realizados na Região Nordeste pela FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia), para espelhos entre 5 e 20 ha, e do processamento de imagens do Landsat para a Região Nordeste, com resolução mínima de 4 ha (ANA, 2020).

3. Resultados e discussão

Os valores de área das massas d'água, obtidas a partir das diferentes metodologias adotadas podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1- Número de massas d'água e estatística descritiva dos resultados de cada metodologia de identificação adotada.

	ANA	MapBiomias	NDWI	MNDWI
Número	54,00	269,00	2609,00	916,00
Área Min.(km²)	0,04	0,00057	0,00001	0,00026
Área Max.(km²)	2,66	3,44	6,63	6,52
Área total (km²)	9,48	8,03	16,02	13,96
Média (km²)	0,18	0,03	0,01	0,15
Desv. Padrão	0,37	0,21	0,13	0,22

A maior área de massa d'água total obtida foi a partir da aplicação do índice NDWI, totalizando 16,02 km², seguida pelo índice MNDWI, com 13,96 km² e a menor foi proveniente da classificação do MapBiomias, com 8,03 km². Em relação ao banco de dados de massas de água produzido pela ANA, utilizado como critério de comparação das metodologias, obteve-se uma área máxima de 9,48 km² de espelhos d'água. O número identificado também variou em função dos métodos adotados, sendo neste caso o menor número obtido pela base de referências da ANA, com apenas 54 corpos hídricos identificados na área da bacia.

Estas diferenças de identificação podem estar associadas principalmente à resolução espacial dos pixels das imagens de satélite utilizadas nas determinações, sendo que os índices calculados com

o Sentinel-2, apresentam melhor resolução (píxeis 10 x 10 m) comparado ao MapBiomias (píxeis 30 x 30 m), proveniente do satélite Landsat-8, que não identifica corpos hídricos com áreas menores que estas resoluções. No caso da base de dados das massas d'água da ANA, esta possui um limiar de 4 hectares (0,04 km²) adotado na metodologia da Agencia, o que explica o menor número de massas d'água, identificados na área da bacia, assim como a menor área de massas que pode ser identificado no banco de dados, enquanto as massas que podem ser identificadas pela classificação do MapBiomias atingem espelhos maiores que 0,057 ha (57 m²), e os índices MNDWI 0,026 (26 m²), e o NDWI 0,001 ha (10 m²).

Já as divergências quanto à área máxima das massas d'água também pode ter sido influenciada

pela diferença nas datas de aquisição das imagens e a dinâmica dos reservatórios no semiárido (Silva et al., 2020, 2019). Os valores máximos de área classificados pelos índices e bancos de dados se refere ao Açude Chapéu, um dos principais reservatórios da bacia de estudo. Segundo dados da APAC, o volume na cota máxima do reservatório é de 238.000.000 m³, equivalente a uma área de 28,5 km². As áreas obtidas a partir da classificação

realizada foram bastante similares para o açude, utilizando tanto o NDWI (6,63 km²) como o MNDWI (6,52 m²), o que segundo a relação cota-volume do açude é equivalente a um volume de 18.000.000,00 m³, cerca de 13% da capacidade, dados semelhantes aos medidos em campo pelo monitoramento da APAC (2020). A distribuição das massas d'água identificadas na área da bacia em cada metodologia podem ser observadas na Figura 3.

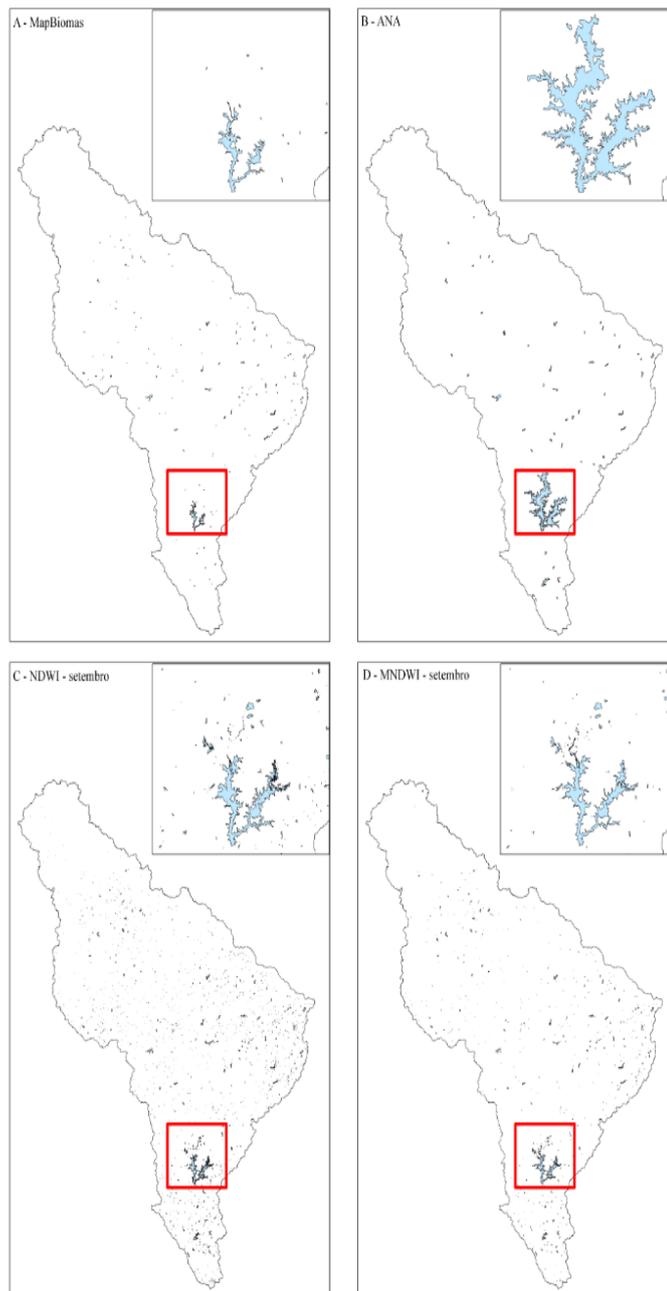


Figura 3- Distribuição das massas d'água na Bacia de Contribuição Reservatório Chapéu com destaque para a identificação do reservatório do Chapéu. A – Classificação realizada pelo banco de dados do MapBiomas B – Base de dados de massas d'água – ANA; C – Índice NDWI; D – Índice - MNDWI.

Pode-se observar uma maior resolução espacial do índice NDWI na classificação das massas, resultando na maior área identificada entre os

métodos avaliados, assim como foi observado por Cardoso et al. (2020), também comparando os dois índices para a identificação de áreas inundadas no

Estado da Bahia. O MNDWI apresentou incremento na precisão e classificação dos corpos hídricos realizada pelo NDWI, a partir da substituição da banda do vermelho próximo por vermelho médio. Tal procedimento possibilita melhor separação entre alvos, permitindo a identificação das áreas construídas e solos de maior reflectância no infravermelho médio (Xu, 2006). A diferença das massas d'água, classificada entre os índices, necessita, portanto, de uma verificação em campo para determinar se foi ocasionada pela melhor adequação do índice NDWI, ou em função da imprecisão na identificação de alvos espectrais, o que tornaria a aplicação do MNDWI mais preciso para o monitoramento, assim como observado por Gil et al. (2019).

A sensibilidade do método de identificação adotado é fundamental para um preciso monitoramento do balanço nas massas d'água no contexto da bacia. Enquanto o que se tem observado, é a limitação de dados no monitoramento dos recursos hídricos que resulta em uma rede de reservatórios com pouca ou nenhuma informação disponível (Mamede et al., 2012; Peter et al., 2014; Pereira et al., 2019), principalmente os de pequeno porte, com espelho menores que 5 ha (Pekel et al., 2016), como é o caso predominante das massas d'água da bacia de estudo, em que predominantemente os espelhos identificados possuem área menor que 0,5 ha, independentemente da metodologia adotada, como pode ser observado na Figura 4.

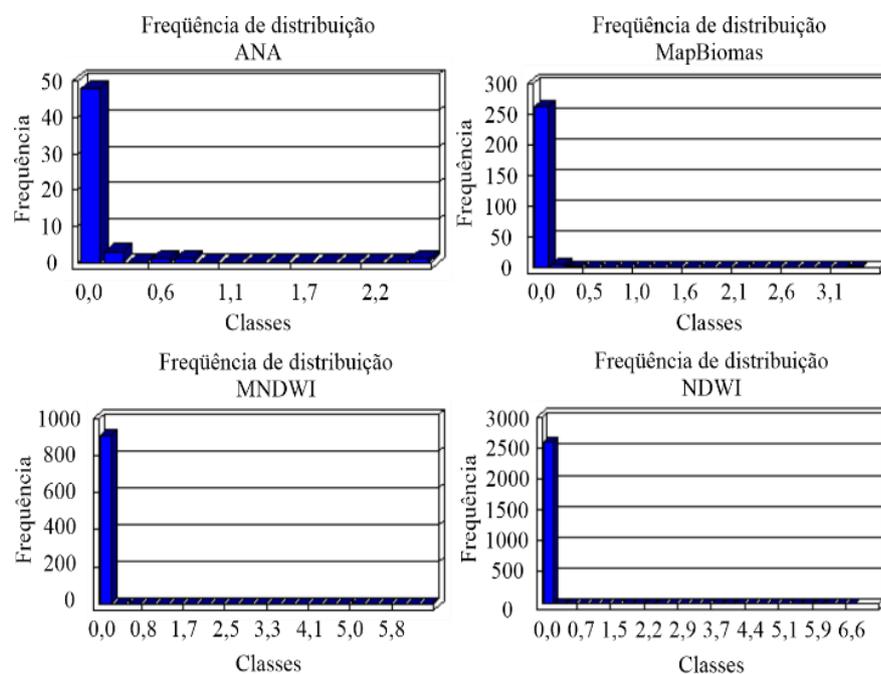


Figura 4 - Frequência de distribuição das massas d'água identificadas na área da Bacia de contribuição do Reservatório do Chapéu, utilizando índices espectrais e dados do MapBiomas.

No caso da bacia de contribuição do Reservatório Chapéu, os dados disponibilizados pela APAC (Agencia Pernambucana de Água e Clima) no boletim de monitoramento dos reservatórios (APAC, 2021) identifica e monitora apenas oito reservatórios na área da bacia em estudo, o que é um número limitado, mesmo levando em consideração a base de dados da ANA que pondera apenas as massas maiores que 4 hectares.

As restrições de dados básicos disponíveis limitam às ações de alocação hídrica e planejamento de uso, verificando-se que frequentemente tais reservatórios não apresentam descarga, consequentemente afetando a qualidade da água pela concentração de sólidos dissolvidos totais (IICA, 2002), levando à salinização e eutrofização dos reservatórios.

A escassez de dados hidrológicos configura-se como um dos impedimentos para realização do planejamento e da gestão estratégica dos recursos em uma determinada área (Silva et al., 2015). Mesmo com a implementação de projetos como o Gerenciamento de Dados Hidrológicos (GDH) pela ANA, que visam facilitar a alimentação dos bancos de dados de monitoramento, o projeto encontra dificuldades na manutenção dos postos e no encontro de operadores treinados para o monitoramento (Ribeiro et al., 2020). Tais dificuldades podem ser atenuadas com a adoção das tecnologias de monitoramento remoto, que se apresentaram como ferramentas úteis no monitoramento das massas d'água e no auxílio para a gestão destas.

4. Conclusão

A utilização dos índices espectrais NDWI e MNDWI para a identificação de corpos hídricos forneceram área semelhantes para o Açude Chapéu, um dos principais reservatórios da bacia de estudo, aproximando-se dos valores de volume obtidos com o monitoramento local do açude.

A avaliação das massas d'água da bacia a partir de índices espectrais e da classificação do MapBiomas, forneceram informações com alta resolução espacial, possibilitando identificação dos corpos na bacia avaliada, e podendo ser utilizada como uma ferramenta complementar para o monitoramento dos recursos hídricos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Chamada CNPq Nº 12/2020. Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio no desenvolvimento dos trabalhos, e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE).

Referências

ANA. Agência Nacional de Água, 2020. Atualização da Base de Dados Nacional de Referência de Massas d'Água. Nota Técnica Nº 52/2020/SPR, Brasília.

ANA. Agência Nacional de Águas, 2005. Atlas Nordeste: Abastecimento urbano de água. Brasília.

Angelakis, A.N., Snyder, S.A., 2015. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. pp. 4887–4895.

Araújo, J.C.de, Güntner, A., Bronstert, 2006. A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hydrological Sciences Journal* 51,157–170.

Araújo, J.C.de, Medeiros, P.H.A., 2013. Impact of Dense Reservoir Networks on Water Resources in Semiarid Environments. *Australasian Journal of Water Resources* 17, 87–100.

Ataíde, L.C.P., Rodrigues, R.S.S., Pessoa, F.C.L., 2017. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tauá, nordeste paraense. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 11, 130-138.

Cardoso, S.B., Cunha, C.F., Engelbrecht, B.Z., Chang, H.K., 2020. Detecção e delimitação de pequenos reservatórios na bacia hidrográfica do rio cachoeira, Bahia, utilizando imagens multiespectrais. *Holos Environment* 20, 458-475. doi: <https://doi.org/10.14295/holos.v20i4.12391>.

Castro, P.H., Pereira, A.C., Barros, M.V., 2018. Modelos Empíricos para Inferência de Componentes Opticamente Ativos em Ambientes Lóticos e Semilóticos do Rio Tibagi/PR, Aplicados à imagens Landsat 8/OLI. *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise* 43.

Crispim, D.L., Rodrigues, R.S.S., Vieira, A.S.A., Silveira, R.N.P.O., Pessoa, F.C.L., 2019. Análise estatística da precipitação do Município de Brasiléia – Acre, Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 8, 104-122.

Dias, D.S., Albuquerque, R.O., Rodrigues, R.S.S., 2020. Temporal evolution land use and occupation on the Parauapebas river watershed, Pará. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 122-129.

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., Li, X., 2016. Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sensing* 8. doi: <https://doi.org/10.3390/rs8040354>.

Ferreira Filho, D.F., Bezerra, P.E.S., Silva, M.N.A., Rodrigues, S.S.R., Figueiredo, N.M., 2019. Aplicação de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas da rede hidrográfica: estudo de caso calha norte – PA. *Revista Brasileira de Climatologia* 24, 277-299.

Gil, A.P., Padovani, C.R., Coelho, A.L.N., 2019. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos.

Gross, J.A., Toniolo, G.R., Gaida, W., Facco, D.S., Dos Santos, F.C., Filho, W., 2019. Reflectância da água em função das concentrações de clorofila-a em um compartimento aquático do reservatório de Itaipu. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos.

Jacomine, P.K.T., 1996. Solos sob caatingas: características e uso agrícola, in: Alvarez, V.H., Fontes, L.E.F., Fonte, M.P.F. (Ed.), *O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado*. SBCS/UFV, Viçosa, pp. 95-111.

Mamede, G.L, Araújo, N.A.M., Schneider, C.M., Araújo, J.C.de, Herrmann, H.J., 2012. Overspill avalanching in a dense reservoir network. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 7191–7195.

Mauad, F.F., Lima, G., 2003. Planejamento estratégico de sistemas hídricos, in: Martins, R.C.E., Valencio, N.F.L.S. (Org.), *Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil – desafios teóricos e político-institucionais*. RiMa, São Carlos.

- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425–1432. doi: 1996.https://doi.org/10.1080/01431169608948714
- Meira, R.T., Sabonaro, D.Z., Silva, D.C.C., 2016. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 21, 77-84.
- Moura, M.S.B., Galvincto, J.D., Brito, L.T.L.; Souza, L.S.B., Sá, I.I.S.; Silva, T.G.F., 2007. Clima e água de chuva no Semi-Árido, in: Brito, L.T.deL., Moura, M.S.B.de, Gama, G.F.B. (Ed.), *Potencialidades da Água de Chuva no Semi-Árido Brasileiro*. Embrapa Semi-Árido, Petrolina, pp. 37-59.
- Peixoto, D.W., Guasselli, L. A., Pereira Filho, W. P., 2018. Estimativa de Concentração de Sedimentos em Suspensão a partir de Imagens Landsat 8 em PCHs no rio Ivaí-RS. *Revista Geociências* 37, 147 – 154.
- Pereira, B., Medeiros, P., Francke, T., Ramalho, G., Foerster, S., Araújo, J.S.de, 2019. Assessment of the geometry and volumes of small surface water reservoirs by remote sensing in a semi-arid region with high reservoir density. *Hydrological Sciences Journal* 64, 66–79.
- Peter, S., Araújo, J.C.de, Araujo, N., Herrmann, H., 2014. Flood avalanches in a semiarid basin with a dense reservoir network. *Journal of Hydrology* 512, 408–420.
- Ribeiro, V.R., Moura, M.R.F., Silva Júnior, J.F., Sobral, M.C.M., Montenegro, S.M.G.L., 2020. Monitoramento hidrológico e ciência cidadã: a experiência de Pernambuco no projeto GDH - (ANA/APAC). Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro, virtual.
- Rodrigues, G.S., Szlafsztein, C.F., 2020. Barragens de rejeitos da mineração no estado do Pará: Análise preliminar do banco de dados quanto ao risco e dano potencial. *Jornal Aplicado em Hidro-Ambiente e Clima* 1, 1-19.
- Rodrigues, R.S.S., Fernandes, L.L., Crispim, D.L., Vieira, A.S.A., Pessoa, F.C.L., 2016. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço-Pará-Brasil. *Revista Verde* 11, 143-150.
- Sales, J.C.A., Silva, D.C.C., Lourenço, R.W., 2017. Identificação de áreas prioritárias para conservação da avifauna na bacia hidrográfica do rio Una, Ibiuna/SP. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais* 8, 128-142.
- Silva, A.L.C., Benini, S.M., Seolin, L., 2015. Zoneamento hidrológico nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, região oeste paulista, Brasil.
- Silva, D.C.C., Albuquerque Filho, J.L., Sales, J.C.A., Lourenço, R.W., 2017. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. *Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise* 42, 72-85.
- Silva, J.L.B., Bezerra, A.C., Silva, T.T.F., Batista, P.H.D., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., 2019. Quantification Caatinga vegetable coverage and water availability by remote sensing in the Brazilian semiarid. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 9, 166.
- Silva, J.L.B., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., Silva, E.F.F., Ortiz, P.F.S., Silva, D.A.O., Silva, M.V., Guedes, R.V.S., 2020. Monitoramento Espaço-Temporal do Risco de Degradação Ambiental e Desertificação por Sensoriamento Remoto em Região Semiárida. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 544.
- Sonnenberg, R.K.H., Santinelli, E.O., Andrade, E.L., Simonetti, V.C., Silva, D.C.C., 2020. Analysis of water parameters by remote sensing for aquaculture in reservoirs. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 168-178.
- Souza, C.F., Cruz, M.A.S., Tucci, C.E.M., 2012. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 17, 9-18.
- Souza, C.M., Jr., Shimbo, J.Z., Rosa, M.R., Parente, L.L., Alencar, A.A., Rudorff, B.F.T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L.G., Souza-Filho, P.W.M., Oliveira, S.W.de, Rocha, W.F., Fonseca, A.V., Marques, C.B., Diniz, C.G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E.R., Vélez-Martin, E., Weber, E.J., Lenti, F.E.B., Paternost, F.F., Pareyn, F.G.C., Siqueira, J.V., Viera, J.L., Neto, L.C.F., Saraiva, M.M., Sales, M.H., Salgado, M.P.G., Vasconcelos, R., Galano, S., Mesquita, V.V., Azevedo, T., 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing* 12, 2735. doi: https://doi.org/10.3390/rs12172735
- Xu, H., 2006. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27, 3025–3033. doi: https://doi.org/10.1080/01431160600589179