

# ÍNDICE DE ÁGUA POR DIFERENÇA NORMALIZADA PARA O MONITORAMENTO DE SECA EM AÇUDES NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO

*Mauro Ricardo Roxo Nóbrega<sup>1</sup>; Marx Vinicius Maciel da Silva<sup>1</sup>; Carlos Eduardo Sousa Lima<sup>2</sup>; Greicy Kelly da Silva<sup>1</sup>; Antonio Duarte Marcos Junior<sup>1</sup> & Cleiton da Silva Silveira<sup>3</sup>*

**RESUMO** - O fenômeno da seca pode ser considerado um desastre natural cuja ocorrência é histórica na região Nordeste do Brasil. Os Índices de Umidade por Diferença Normalizada ou Índices de Água obtidos por sensores remotos passivos são ferramentas para delimitar corpos d'água superficiais, que podem contribuir grandemente para com a gestão hídrica a fim de otimizar o planejamento e amenizar os transtornos da escassez de água. Estes índices partem da premissa que a razão entre a diferença e a soma de bandas, com altas e baixas respostas espectrais da água, conferem objetividade e dinamismo em levantamentos de corpos hídricos superficiais. O objetivo deste estudo é propor e avaliar o desempenho de índices de água, para delimitar, mapear e monitorar corpos d'água durante um período de seca prolongada, contribuindo para uma gestão de recursos hídricos mais eficiente. Foram obtidas as reflectância dos alvos naturais. Foi proposto um Índices de Água por Diferença Normalizada, comparado com índices presentes na literatura e foram calculadas as áreas dos açudes monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) durante a seca prolongada de 2013 a 2018. O estudo permitiu ilustrar a severidade da seca prolongada no período analisado e permitiu concluir que a integração das bandas espectrais do Coastal-Aerosol e do verde, bem como do infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas pode representar uma melhoria significativa no mapeamento de corpos hídricos.

**Palavras-Chave** – Gestão hídrica, Resposta espectral da água, Espelhos d'água.

**ABSTRACT** - The drought phenomenon can be considered a natural disaster whose occurrence is historical in the Northeast region of Brazil. The Normalized Difference Moisture Indices or Water Indices search for remote sensing processes, which are tools to delimit surface water bodies that can highly contribute to water management by optimize planning and alleviate water scarcity disturbances. These indices are based on the premise that the ratio between the difference and the sum of bands, with high and low spectral water responses, provides objectivity and dynamism in surveys of water bodies' surfaces. The purpose of the study is to present and evaluate the performance of water indices; to delimit, map, and monitor water bodies during a period of prolonged drought, so contributing to a more efficient management of water resources. They were adjusted as the reflectance of natural targets. A Normalized Difference Water Indices were proposed, compared to indices in the literature, and were calculated as weir areas monitored by the Water Resources Management Company (COGERH) during a prolonged drought that lasted from 2013 to 2018. The study illustrated the severity of the drought extended over the analyzed period and takes advantage of the fact that the integration of Coastal-Aerosol and green spectral bands, as well as near-infrared and short wave infrared, which can represent a significant improvement in the mapping of water bodies.

**Keywords** – Water Management, Spectral Reflectance of Water, Water Mirrors

1) Doutorando(a) em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, e-mail: mauro.nobrega@alu.ufc.br marx.silva@alu.ufc.br, greicykellysilvagks@gmail.com e duarte.jr105@gmail.com.

2) Mestrando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, e-mail: eduardolima@alu.ufc.br.

3) Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, e-mail: cleitonsilveira@ufc.br.

## INTRODUÇÃO

O fenômeno da seca pode ser considerado um desastre natural cuja ocorrência é histórica na região Nordeste do Brasil (NYS *et al.*; 2016). Wilhite & Glantz (1985) classificam esse fenômeno em quatro categorias: seca meteorológica, seca agrícola, seca hidrológica e socioeconômica.

A ocorrência de secas e a escassez de água exercem impactos substanciais à segurança hídrica e energética, e no âmbito da agricultura de subsistência, suas consequências costumam ser ainda mais intensas (CUNHA, *et al.*; 2019; MARENGO, 2018). Além dos efeitos diretos, a seca reduz a oferta hídrica no solo para que ocorra o fenômeno de evapotranspiração e conseqüentemente eleve a temperatura do ambiente (FILHO, *et al.*; 2019). Na região semiárida, tais condições ambientais elevam a propensão a ocorrência de incêndios, sobretudo sob a vegetação caatinga.

As secas tendem a ser especialmente desfavoráveis em áreas susceptíveis a degradação ambiental ou cujas áreas sejam degradadas e susceptíveis aos processos de desertificação (MARENGO *et al.*, 2020). A magnitude de uma seca está associada não apenas da sua duração, intensidade e abrangência espacial, mas também das demandas de uso e ocupação, como as agrícolas, humanas e energéticas.

No estado do Ceará o abastecimento de centros urbanos, à pecuária e a agricultura, preponderantemente irrigada, estão integrados aos maiores reservatórios. Sobretudo em períodos de estiagem há uma tendência natural que haja conflitos relacionados ao acesso e ao uso da água (RIGODANZO *et al.*, 2019). A Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe (BHMJ), situada na depressão sertaneja do estado do Ceará, tem chamado a atenção de órgãos de planejamento, uma vez que esta bacia possui a maior capacidade de armazenamento do estado, equivalente a 7,39 bilhões de m<sup>3</sup> mas que, no entanto, é considerada de elevado risco em função de restrições hídricas.

A seca que ocorreu entre 2012 e 2018 causou grandes impactos socioambientais e econômicos nesta região. Em fevereiro de 2017, a BHMJ registrara somente 1,6% da sua capacidade de aporte, e 15 açudes monitorados encontrava-se abaixo de 10% de sua capacidade e apenas um abaixo de 30%; com a seca de 6 açudes e 7 atingindo volume morto no período supracitado. (CORTEZ *et al.*, 2017)

A principal forma de armazenamento de água na região é através da construção de pequenos e grandes açudes. Estes açudes, no entanto, têm apresentado consideráveis reduções em seus aportes. Várias causas contribuem com esta situação, dentre elas a má distribuição das chuvas, no tempo e no espaço, e a susceptibilidade dos solos à perda de massa e erosão laminar do embasamento constituído por rochas cristalinas.

Existem aproximadamente 28.000 açudes no estado do Ceará (CARVALHO, 2017), destes apenas 158 têm seus volumes monitorados, o que evidencia a necessidade de novas abordagens para estimar o aporte hídrico dos açudes não monitorados (CEARÁ, 2016). Neste sentido, ferramentas que viabilizem o levantamento de informações acerca da situação dos recursos ambientais são de grande valia para o planejamento ambiental, uma vez que estas possam contribuir para uma gestão proativa dos recursos hídricos.

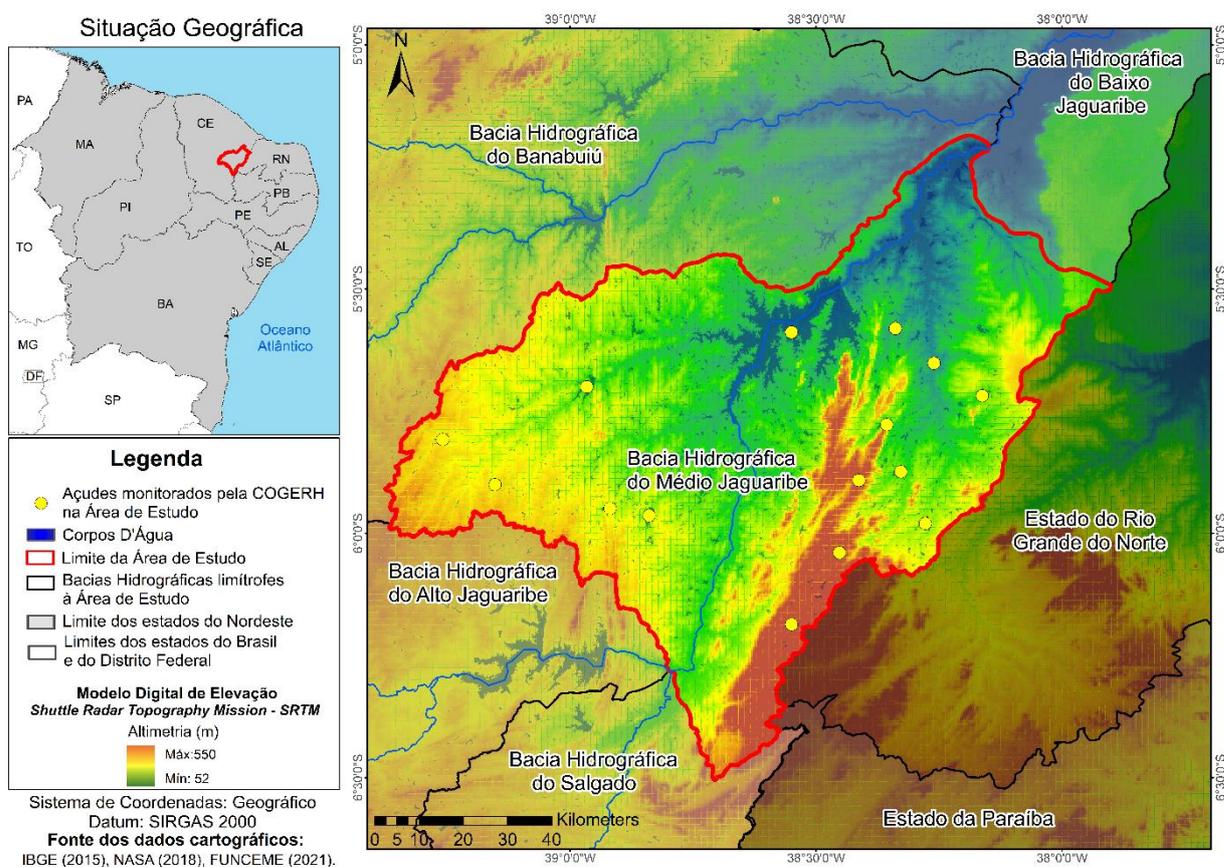
Os Índices de Umidade por Diferença Normalizada ou Índices de Água (NDWI ou NDWI) obtidos por sensores remotos passivos são ferramentas para delimitar corpos d'água superficiais, podendo contribuir grandemente para com a gestão hídrica afim de otimizar o planejamento e amenizar os transtornos da escassez de água. Estes índices partem da premissa que a razão entre a diferença e a soma de bandas, com altas e baixas respostas espectrais da água, conferem objetividade e dinamismo em levantamentos de corpos hídricos superficiais. Além disso, reduzem ruídos residuais e minimizam a confusão com as áreas de sombra ou nuvens. Recentemente, com o advento da banda *Coastal/Aerosol*, projetada para pesquisas em zonas costeiras e em recursos hídricos, novos índices foram propostos explorando esta banda junto com as bandas infravermelho (PEREIRA *et al.*, 2016).

O objetivo deste estudo é propor e avaliar o desempenho de índices de água, para delimitar, mapear e monitorar corpos d'água durante um período de seca prolongada, contribuindo para uma gestão de recursos hídricos mais eficiente.

## METODOLOGIA

A Figura 1 ilustra a situação geográfica da área de estudo, compreendida pela Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe, que corresponde a uma área de 10.376 km<sup>2</sup>. Esta região, é receptora das águas advindas a montante do Rio Jaguaribe, principal rio do estado do Ceará, da Bacia Hidrográfica do Rio Salgado e que integra o sistema de transposição do rio São Francisco até a região metropolitana de Fortaleza.

Figura 1 – Situação Geográfica da Área de Estudo



Na Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe, o rio Jaguaribe possui um curso de, aproximadamente, 171 km de extensão e sua posição geográfica é especialmente estratégica, uma vez que nesta localidade está situado o maior reservatório do Estado, o açude Castanhão. Nesta área também ocorre um dos núcleos de áreas fortemente degradadas susceptíveis a desertificação, o núcleo Jaguaribe, o que gera aflição por parte de ambientalistas e evidencia a necessidade de atenção à esta área.

A série de satélites *Landsat* compreende o projeto de aquisição de imagens orbitais que se encontra ativo durante mais tempo. O programa foi iniciado em 1972, com o lançamento do *Earth Resources Satellite Technology* e prossegue até o presente com o lançamento, em 2013, do sensor *Operational Terra Imager (OLI)*, a bordo do satélite *Landsat 8*. Os sensores remotos OLI e *Thermal Infra Red Sensor (TIRS)* foram lançados em 11 de fevereiro de 2013. Uma série de outros satélites foram lançados destes então disponibilizando produtos e resultados promissores. No entanto, a

compatibilidade com os dados da série *Landsat*, bem como a otimização de suas capacidades de medição, fazem dessa uma ferramenta poderosa, prevendo estudos com uma resolução espacial de 30 metros como uma grande amplitude temporal, deste 1984.

McFeeters (1996) notou que o NDWI baseado nas bandas do verde e do infravermelho próximo era altamente correlacionado com o conteúdo de água. A partir dessa observação outros índices foram confeccionados com objetivo de entregar respostas ágeis para auxiliar aos gestores na tomada de decisão (JIANG et al., 2014), seja para a identificação de áreas inundadas, reservatórios para abastecimento urbano, irrigação ou para o monitoramento da dinâmica sazonal da pastagem e variabilidade interanual de sistemas agro-silvo-pastoris (RODRIGUES et al., 2014; OGILVIE et al., 2016; SERRANO et al., 2019).

O estudo foi estruturado em cinco etapas: a) aquisição das imagens orbitais; b) obtenção da reflectância dos alvos naturais; c) cálculo e proposta dos Índices de Água; d) comparação e validação dos índices; e) análise dos Açudes monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) durante a seca prolongada de 2013 a 2018.

Os procedimentos metodológicos consistiram no processamento digital de 12 imagens do sensor OLI, a bordo do satélite *Landsat 8*, captadas em setembro, outubro ou novembro, no período entre 2013 e 2018 (Tabela 1), correspondente à órbita ponto 216/64 e 217/64. Esse período foi selecionado em função da menor cobertura de nuvens, se comparado com o período da quadra chuvosa. Estritamente no ano 2016 foram exploradas imagens captadas nos meses de julho e agosto, em função de serem as mesmas utilizadas para a confecção do mapa de referência.

Num primeiro momento foram adquiridos os padrões espectrais de diferentes alvos da superfície terrestre. Para tanto foram coletadas amostras de águas misturada e pura, sombra, área urbana, solo exposto, agricultura, vegetação de mata ciliar, mata úmida/sub-úmida e caatinga arbustiva. Em seguida foram calculados os seguintes Índices de Água por Diferença Normalizada: (*Normalized Difference Water Index* – NDWI), desenvolvido por McFeeters (1996); NDWI, proposto por GAO (19996); RSWIR, sugerido por Rogers e Kearney (2004); *Modification of Normalised Difference Water Index* (MNDWI) e GSWIR, elaborados por Xu (2006); AWEInsh e AWEIsh, [JIANG et al., 2014] e CAMIR, recomendado por Pereira (2016). Além destes, foi o proposto um novo índice de água por diferença normalizada, intitulado CAGNS. Os quais tiveram suas equações definidas como:

$$NDWI_{McFeeters} = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}} \quad (1)$$

$$NDWI_{GAO} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}} \quad (2)$$

$$RSWIR = \frac{\rho_{Red} - \rho_{SWIR}}{\rho_{Red} + \rho_{SWIR}} \quad (3)$$

$$MNDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{MIR}}{\rho_{Green} + \rho_{MIR}} \quad (4)$$

$$GSWIR = \frac{\rho_{Green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{Green} + \rho_{SWIR}} \quad (5)$$

$$CAMIR = \frac{\rho_{CAerosol} - \rho_{MIR}}{\rho_{Aerosol} + \rho_{MIR}} \quad (6)$$

$$AWEInsh = 4 * (\rho_{Green} - \rho_{NIR}) - (0,25 * \rho_{Red} + 2,75 * \rho_{MIR}) \quad (7)$$

$$AWEIsh = \rho_{Blue} + 2,5 * \rho_{Green} - 1,5 * (\rho_{Red} + \rho_{NIR}) - 0,25 * \rho_{MIR} \quad (8)$$

$$CAGNS = \frac{(\rho_{CAerosol} + \rho_{Green}) - (\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})}{(\rho_{CAerosol} + \rho_{Green}) + (\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})} \quad (9)$$

Onde  $\rho$  representa a reflectância do *Landsat 8*, sendo *Caerosol* (*Coastal aerosol*) a banda 1, compreendendo o intervalo no espectro eletromagnético entre 0.43 – 0.45  $\mu\text{m}$ ; *Blue* a banda 2, com alcance entre 0.45 – 0.51  $\mu\text{m}$ ; *Green* a banda 3, com distância entre 0.53 – 0.59  $\mu\text{m}$ ; *Red*, a banda 4, com espaço entre 0.64 – 0.67  $\mu\text{m}$ ; *NIR* o infravermelho próximo, com intermitência entre 0.85 – 0.88  $\mu\text{m}$ ; *MIR* o infravermelho de ondas médias, com segmento entre 1.57 – 1.65  $\mu\text{m}$ ; e *SWIR* o Infravermelho de ondas curtas, com comprimentos de onda entre 2.11 – 2.29  $\mu\text{m}$ .

Para a avaliação dos métodos foi utilizado como referencia o arquivo em formato vetorial de 2016 do Levantamento Sistemático dos Espelhos d'água do estado do Ceará, o qual fora realizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Dos nove índices investigados, selecionou-se o índice cujo resultado apresentou maior simetria aos dados de referência.

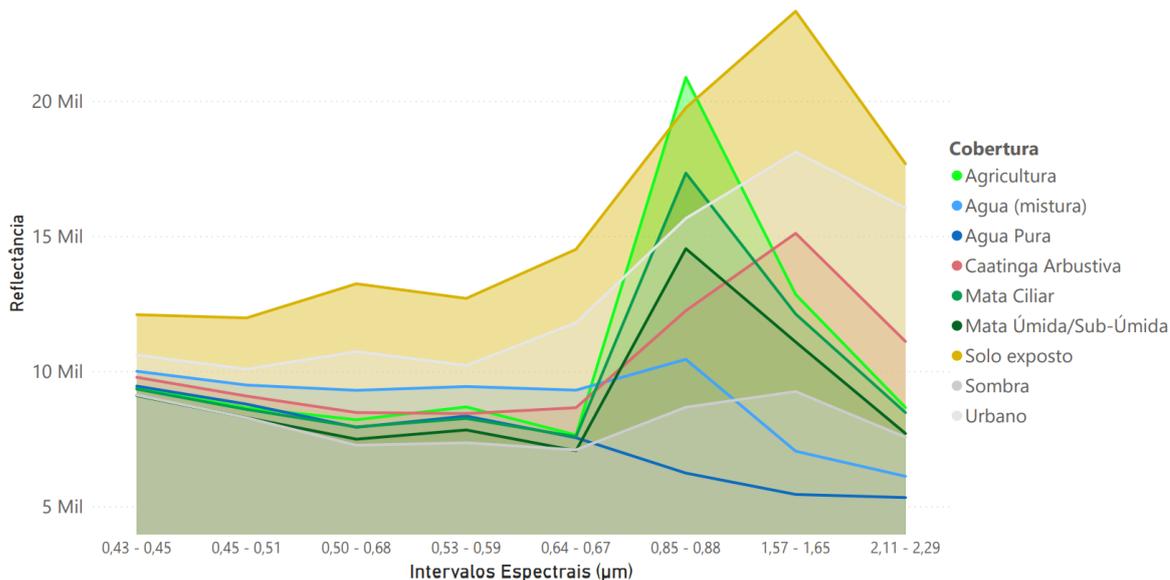
Num próximo momento, foi avaliada a dinâmica da área dos 15 açudes monitorados pela COGERH na BH para os demais anos da série histórica analisada. Em seguida os dados de valores de área foram interpretados com os valores acumulados de precipitação na área de estudo. Como existe uma grande amplitude entre as áreas dos açudes monitorados, para fins de comparação, optou-se por estabelecer como base o maior valor de área registrado na série histórica e analisar os demais anos em função deste.

## RESULTADOS

A Figura 2 ilustra a reflectância de alvos naturais em diferentes intervalos de comprimentos de onda do espectro eletromagnético, onde é possível perceber que a água apresenta suas maiores respostas nos menores comprimentos de ondas, correspondentes a faixa do aerossol e do visível, enquanto que a vegetação, o solo, bem como os demais usos proporcionam maiores respostas nas faixas dos infravermelhos próximo e de ondas curtas. Tal análise permite inferir que os melhores índices de água por diferença normalizada devam incluir as bandas do aerossol e do visível, sobretudo a do azul e a do verde. Por outro lado, nota-se que os pixels compostos por vegetação tendem a apresentar as suas respostas na faixa do infravermelho próximo e o solo, e a caatinga arbustiva, por apresentar menor dossel, responde mais na faixa do infravermelho médio.

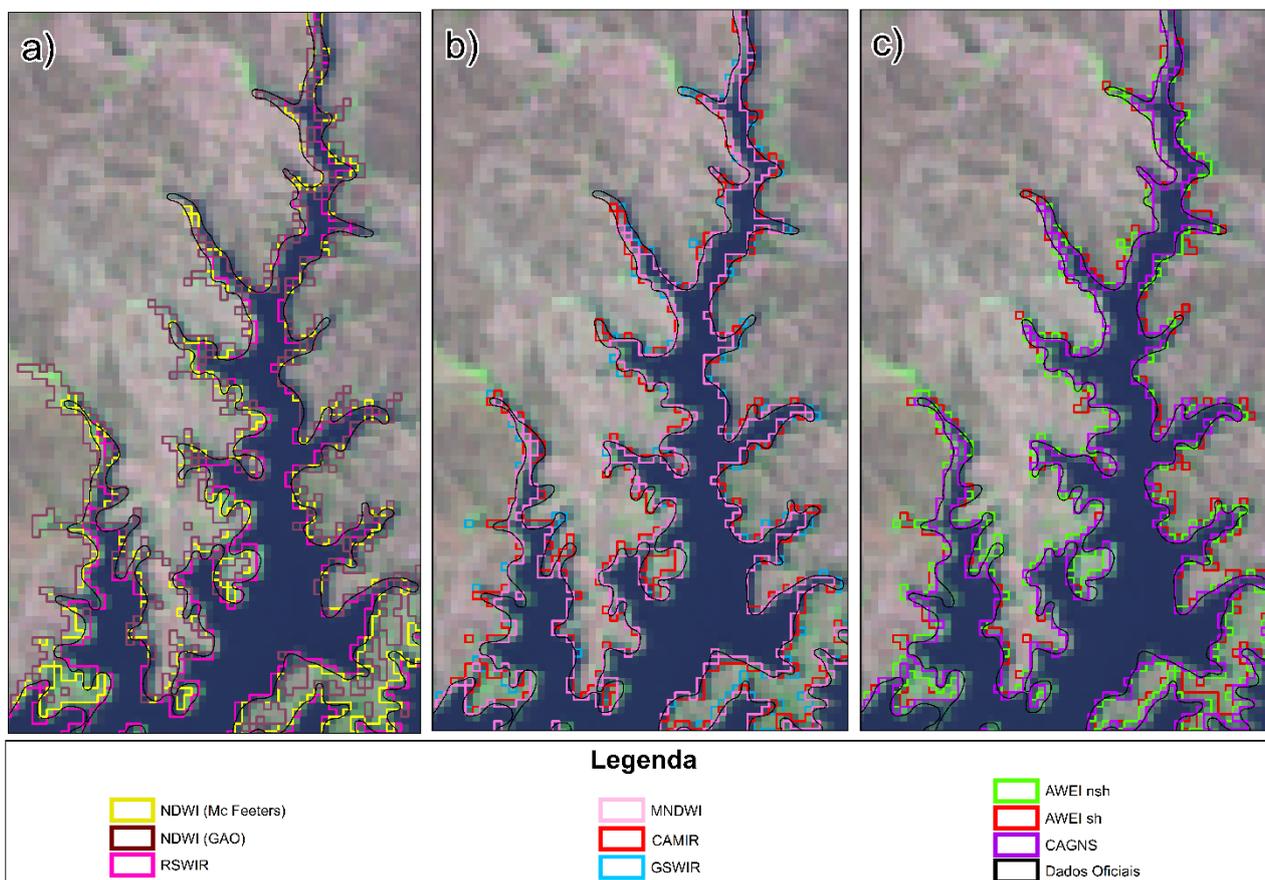
Figura 2 – Reflectância dos Alvos

Reflectância de diferentes usos e coberturas por Comprimentos de ondas



A Figura 3 corresponde aos mapeamentos obtidos pelo cálculo dos diferentes índices e pelo mapa de referência, sobre imagem de 25 de julho de 2016. Todos os nove índices delimitaram de forma satisfatória os corpos d'água. As principais confusões são identificadas em pixels que possuem uma mistura espectral em sua composição.

Figura 3 – Resposta dos diferentes Índices Espectrais de Água



A Figura 3(a), mostra os resultados obtidos pelos índices  $NDWI_{Mc\ Feeters}$ ,  $NDWI_{GAO}$  e  $SRWIR$ , onde se pode observar que o índice  $NDWI_{Mc\ Feeters}$ , entre estes três, foi o que apresentou resultados com maior similaridade aos obtidos pelos dados de referência. O índice  $NDWI_{GAO}$ , tendeu a superestimar áreas úmidas, classificando pixels que não necessariamente correspondem a espelho d'água como tal, enquanto que o índice  $RSWIR$  apresentou comportamento inverso. A Figura 3(b) expõe as delimitações obtidas pelos índices  $MNDWI$ ,  $CAMIR$  e  $GSWIR$ , onde é possível observar que, entre estes, o índice  $CAMIR$  foi o que apresentou maior concordância com os dados de referência, obtidos por interpretação visual. O índice  $MNDWI$  também apresentou resultados satisfatórios, embora tenha desconsiderado alguns pixels correspondentes à água. O índice  $GSWIR$ , por sua vez tendeu a classificar áreas úmidas que não necessariamente possuíam lâmina d'água.

A Figura 3(b) ilustra as classificações adquiridas por intermédio  $AWEInsh$ ,  $AWEIsh$  e pelo MP ( $CAGNS$ ) onde é possível perceber que o índice  $AWEInsh$  tendeu considerar áreas cujos pixels possuíam alto teor de umidade, mas que não necessariamente eram água. O índice  $AWEIsh$  embora mais conservador, apresentou comportamento similar. O índice  $CAGNS$  também mostrou potencialidade para detalhar as lâminas d'água e tendeu a apresentar concordância com os dados de referência.

Dentre os índices analisados o MP ( $CAGNS$ ) e o índice  $CAMIR$  foram os que apresentaram resultados respectivamente mais próximos aos obtidos pelos dados oficiais. No entanto é possível perceber que o MP representou uma melhoria significativa tanto na integração das bandas do aerossol e do verde, que registraram pixels com alta umidade quanto das bandas do infravermelho próximo e de ondas curtas, pois foi mais conservador, eliminando pixels de vegetação que eram confundidos.

Para estudos os quais se pretende analisar anos anteriores a 2013, quando era indisponível a banda do aerossol, em condições ambientais análogas à área de estudo, recomenda-se a utilização do índice  $MNDWI$ .

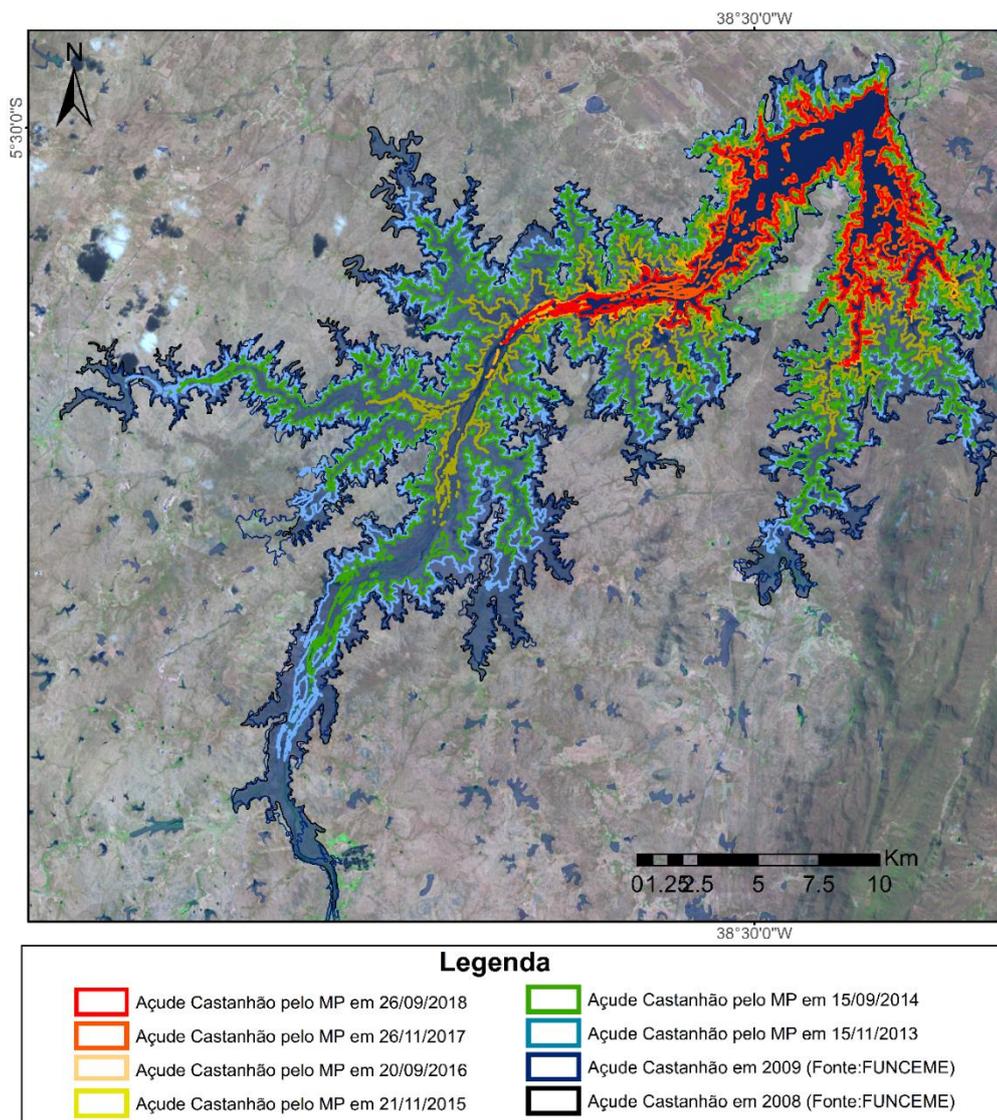
A Tabela 2 ilustra os valores acumulados de precipitação entre 2013 e 2018, na bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe, onde é possível observar que ao longo destes anos os valores de precipitação estiveram abaixo da sua média histórica, que é de 734,7 mm.

Tabela 2 – Precipitação Acumulada na Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe entre 2013 e 2018

Ano	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Precipitação (mm)</b>	647.65	545.04	404.95	511.68	568.15	598.81

A Figura 4 ilustra o comportamento de lâmina d'água do açude Castanhão calculado pelo índice  $CAGNS$ , durante o período de seca prolongada, entre 2013 e 2018. Nesta figura é possível observar um gradiente de cores onde os tons mais quentes representam os anos mais recentes, como 2018, em vermelho, enquanto que os anos mais remotos são exibidos através das cores frias, como 2013, em azul. Também é possível observar dados oficiais de 2009, em azul escuro, e 2008, em preto, cujas áreas de lâmina d'água são respectivamente maiores. Observa-se que o ano de 2017, delimitado na cor laranja foi quando o açude Castanhão apresentou seu menor aporte hídrico, apesar dos valores acumulados de precipitação terem apresentado um leve aumento desde 2016. Tal dinâmica evidencia que apesar do acréscimo dos valores de precipitação, estes acumulados foram insuficientes para suprir as demandas de uso e cobertura, saturar o solo, promover escoamento superficial e aporte hídrico, corroborando a severidade desta seca prolongada.

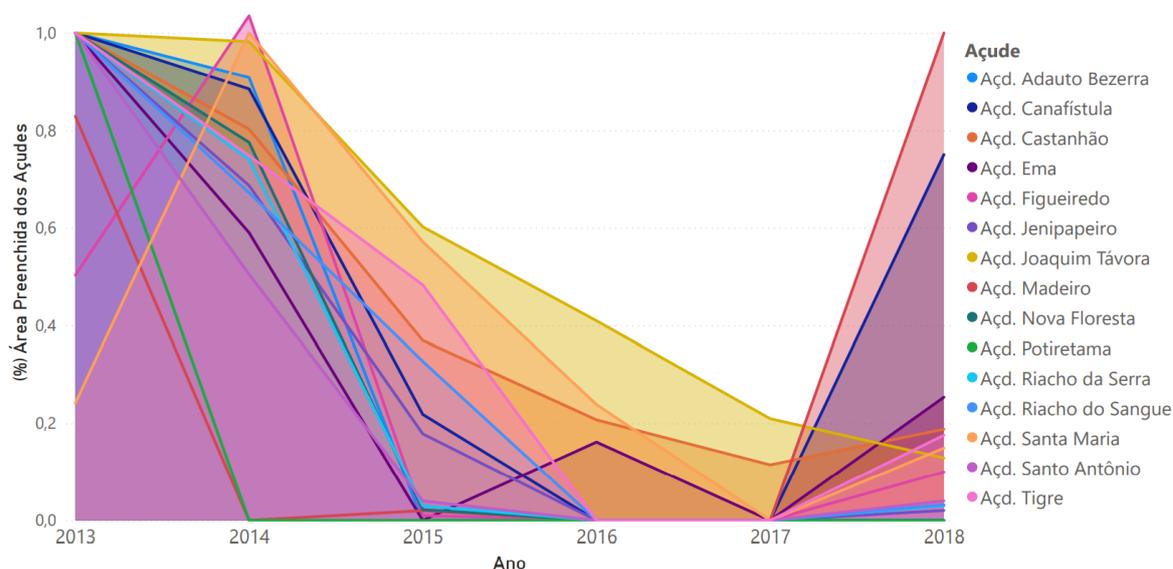
Figura 4 – Dinâmica do Espelho d'Água do açude Castanhão entre 2008 e 2018



A Figura 5 ilustra a dinâmica dos 15 açudes monitorados pela COGERH precipitação na bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe. Os dados representam a área relativa dos açudes, tendo como referência o maior valor registrado durante a série histórica. O ano de 2013 correspondeu ao período em que um número maior açudes estiveram mais cheios. O ano com menores registros de precipitação foi 2015, coincidindo com queda abrupta das áreas dos açudes. Como comentado anteriormente, o aumento da precipitação em 2016 e 2017, por sua vez, não representou correlação direta com a área de praticamente todos os açudes, que decresceram até 2017. Os piores resultados foram observados neste ano, quando os espelhos d'água de 10 dos 15 açudes desapareceram. Em 2018 houve um crescimento na área dos açudes, todavia correspondera a 21% da originalmente registrada.

Figura 5 – Área dos açudes monitoradores entre 2013 e 2018.

Dinâmica dos açudes monitorados na Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe entre 2013 e 2018



## CONCLUSÕES

A integração das bandas espectrais do *Coastal-Aerosol* e do verde, bem como do infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas demonstrou melhoria no mapeamento de corpos hídricos.

O método proposto apresentou potencialidades como ferramenta de suporte à gestão de recursos hídricos, sobretudo em áreas carentes de estruturas de medição e onde seu acesso seja remoto ou dificultado, contribuindo para o modelo de gestão hídrica proativa.

Contudo, cabe ressaltar que o detalhamento do resultado é relativo à escala temporal e espacial dos planos de informações iniciais e que o método não elimina a necessidade de procedimentos de pós classificação.

**AGRADECIMENTOS** A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo auxílio financeiro e a Universidade Federal do Ceará (UFC), através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), pelo apoio institucional.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, M. S. B. S.; SOARES, A. M. L. LIMA, D. B.; ROCHA, F. S.; ROCHA, I. G.; FILHO, M. R. F.; MEDEIROS, M. P.; TORRES, T. R. C.; SOARES, Z. M. L. Mapeamento dos espelhos d'água do estado do Ceará no ano de 2013. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR** INPE Santos – SP, Brasil. 2017.

CORTEZ, H. S.; LIMA, G. P.; SAKAMOTO, M. S. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. *Parcerias Estratégicas*. Brasília-DF v. 22 n. 44 p. 83-118 jan-jun 2017.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, LUZ A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALA, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019 **Atmosphere** 2019, 10, 642; doi:10.3390/atmos10110642.

DE NYS, E.; ENGLE, N.L.; MAGALHÃES, A.R. Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE; Banco Mundial, 2016. 292 p).

FILHO, J. D. P.; FILHO, F. A. S.; MARTINS, E. S. P. R.; STUDART, T. M. C. Copula-Based Multivariate Frequency Analysis of the 2012-2018 Drought in Northeast Brazil. **Water** 2020, 12, 834.

GAO, B., 1996. NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment** 58, 257-266.

JIANG, H.; FENG, M.; ZHU, Y.; LU, N.; HUANG, J. AND XIAO, TONG. An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery. **Remote Sensing**. 2014, 6,5067-5089;doi:10.3390/rs6065067.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C.S; CUNHA, A. P.; BRITO, S. MORAES, O. L.L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region Anais da Academia Brasileira de Ciências (2018) 90.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; NOBRE, C. A.; NETO, G. G. R.; MAGALHAES, A. R.; TORRES, ROGER R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L. M.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ, K. R. L.; ALVALA, R. C. S. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. **Natural Hazards** (2020) 103:2589–2611. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>.

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. 14251432, 1996.

OGILVIE, A.; BELAUD, G. MASSUEL, S. MULLIGAN, M. GOULVEN, P. L.; CALVEZ, ROGER Assessing Floods and Droughts in Ungauged Small Reservoirs with Long-Term Landsat Imagery **Geosciences** 2016, 6, 4.

PEREIRA, G. H. A.; LOHMANN, M.; MAGANHOTTO, R. F. Proposta e avaliação de índices para delimitar e mapear corpos d'água utilizando imagens do satélite LANDSAT 8 **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.06 (2016) 1956-1968.

SERRANO, J.; SHAHIDIAN, S.; SILVA, J. M. Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System. **Water** 2019, 11, 62; doi:10.3390/w11010062

RIGODANZO, G. H. et al. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. [s.l: s.n.].

RODRIGUES, T. W. P.; GUIMARÃES, U. S.; ROTT, L. H. S.; WATANABE, FERNANDA S. Y.; ALCÂNTARA, E. IMAI, N. N. Delineamento amostral em reservatórios utilizando Imagens landsat-8/OLI: Um estudo de caso no Reservatório de Bova Avanhandava (Estado de São Paulo, Brasil) BCG - **Boletim de Ciências Geodésicas** - On-Line version, ISSN 1982-2170

ROGERS, A.S., KEARNEY, M.S., 2004. Reducing signature variability in unmixing coastal marsh thematic mapper scenes using spectral indices. **International Journal of Remote Sensing** 25, 2317-2335.

WILHITE, D.A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**. v.10, p. 111–120. 1985

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.