

MONITORAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR SENSORIAMENTO REMOTO EM MUNICÍPIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Jhon Lennon Bezerra da Silva¹, Pedro Henrique Dias Batista¹, Frederico Abraão Costa Lins¹,
Jozé André de Moraes Rodrigues¹, Douglas Alberto de Oliveira Silva¹, Geber Barbosa de
Albuquerque Moura²

RESUMO: As regiões do semiárido brasileiro cada vez mais estão susceptíveis aos aspectos negativos da seca, como a escassez de água que compromete diretamente os usos múltiplos das regiões. Torna-se essencial o monitoramento dos recursos hídricos no semiárido, no espaço e no tempo. Objetivou-se monitorar e avaliar a disponibilidade hídrica por sensoriamento remoto através do índice de diferença normalizada da água com uso de seis imagens de satélites Landsat no município de Iguatu, Ceará, em anos chuvosos e secos, entre o período de 2008 e 2018. Mapas temáticos da superfície terrestre foram desenvolvidos por meio do processamento digital de imagens, com o auxílio do *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL). Os anos secos (2016; 2017 e 2018) apresentaram baixos percentuais de áreas cobertas por corpos hídricos, com valores de 2,32; 1,82 e 1,66% da área total, respectivamente. Os longos períodos de seca afetaram gradativamente a disponibilidade hídrica da região. A diminuição e suprimento do potencial hídrico dos reservatórios, rios e lagos evidenciaram ao longo do tempo impactos diretos nos setores da agricultura e demais usos múltiplos.

PALAVRAS-CHAVE: MNDWI, recursos hídricos, seca.

SPATIAL-TEMPORAL MONITORING OF THE WATER AVAILABILITY BY REMOTE SENSING IN SEMIARID BRAZILIAN MUNICIPALITY

ABSTRACT: The brazilian semiarid regions are increasingly susceptible to the negative aspects of the drought, as water shortages that directly committed the multiple uses of the

¹ Mestre e doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, PE. Depto. de Engenharia Agrícola. Av. D. Manoel de Medeiros, SN; Dois Irmãos, Recife, PE; CEP: 52171-900. E-mail: jhonlennoigt@hotmail.com; giga_pedro@hotmail.com; frederico_acl@hotmail.com

² Prof. Doutor, Depto. de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, PE. E-mail: geber.moura@ufrpe.br

* O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e também o apoio do CNPq.

regions. With this, the monitoring of water resources in the semi-arid, in space and in time, is essential. The objective was to monitor and evaluate the water availability by remote sensing through of the normalized difference water index using six Landsat satellite images in the city of Iguatu, Ceará, in rainy and dry years, between the period of 2008 and 2018. The thematic maps of the terrestrial surface have been developed through digital image processing, with the aid of the Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL). The dry years (2016, 2017 and 2018) presented low percentage of areas covered by water bodies, with values of 2.32; 1.82 and 1.66% of the total area, respectively. The long periods of drought have gradually affected the water availability of the region. The decrease and suppress of the water potential of the reservoirs, rivers and lakes have shown, over time, direct impacts on agriculture sectors and other multiple uses.

KEYWORDS: MNDWI, water resources, drought.

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro tem sofrido com os eventos severos de seca, fenômeno que favorece à aspectos negativos como a escassez de água e o alto déficit hídrico, que tem afetado diretamente o padrão de paisagem da vegetação natural de Caatinga, aumentando o risco de desertificação e, principalmente, na agricultura de subsistência e nas práticas agropecuárias das regiões semiáridas do Brasil, comprometendo as condições socioeconômicas locais (Gutiérrez et al., 2014; Barbosa et al., 2018; Marengo et al., 2018).

Torna-se essencial o monitoramento dos recursos hídricos e naturais das regiões semiáridas do Brasil principalmente nas épocas de seca, sendo necessário desenvolver estudos do padrão de distribuição espaço-temporal visando o planejamento e gerenciamento eficiente do uso desses recursos. A disponibilidade hídrica nestas regiões vem sendo cada vez mais reduzida em sua quantidade e qualidade. Com o avanço das tecnologias e necessidades de mais estudos neste sentido, adoções de políticas públicas modernas continuam sendo viabilizadas para uma gestão ainda mais sustentável dos recursos hídricos no semiárido, destacando-se a importância de diversos pesquisadores, organizações federais, estaduais e municipais, com o principal intuito de obter um desenvolvimento agrícola eficiente e acesso a água de modo sustentável (Arraes et al., 2012; Gutiérrez et al., 2014; Anjos et al., 2016).

O uso do geoprocessamento e técnicas de sensoriamento remoto favorecem na tomada de decisões que visam atenuar efeitos negativos e medidas de reversão através de um

monitoramento espacial e temporal, seja em escala regional e/ou global, atuando de forma prática e eficiente, com baixo custo de operação, destacando principalmente aplicabilidades sobre os padrões de mudanças da cobertura vegetal nos distintos usos e ocupações do solo e, em especial, da condição hídrica, essencial para os usos múltiplos das regiões semiáridas (Arraes et al., 2012; Giongo & Vettorazzi, 2014; Silva et al., 2017).

O índice de vegetação da diferença normalizada da água (*normalized difference water index* - NDWI) tem condição de destaque nos estudos de análise, detecção de mudanças e monitoramento da cobertura vegetal, sendo altamente correlacionado com o conteúdo de água na vegetação, podendo avaliar o estresse hídrico da planta e áreas irrigadas, e também, condições de disponibilidade hídrica de reservatórios com precisão (McFeeters, 1996; Xu, 2006).

Diante deste contexto, objetivou-se monitorar e avaliar a disponibilidade hídrica a partir da modelagem espaço-temporal do índice de diferença normalizada da água por sensoriamento remoto utilizando imagens de satélites para um município do semiárido brasileiro, em anos chuvosos e secos, no período de 2008 a 2018.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é o município de Iguatu, inserido na Mesorregião Centro-Sul do estado do Ceará, semiárido brasileiro, localizado entre os paralelos de 06° 13' 8,25'' S (UTM: 9312590 m) e 06° 35' 58,49'' S (UTM: 9270490 m), e entre os meridianos de 39° 6' 16,77'' W (UTM: 488422 m) 39° 28' 45,16'' W (UTM: 447026 m), altitude de 217,8 m, a oeste do meridiano de Greenwich. Segundo Köppen, a classificação climática é do tipo BSw'h' (clima quente e semiárido). A região apresenta temperatura média anual do ar de 26 a 28 °C. De acordo com a série histórica de dados climatológicos entre os anos de 1989 e 2018 (30 anos), a precipitação média anual é de 817,91 mm, com chuvas irregulares tanto temporalmente quanto espacialmente, registrado pela estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), código: 00639044 (06° 22' 27,4'' S - UTM: 9295412 m e 39° 17' 35,9'' W - UTM: 467563 m) (Alvares et al., 2013; IPECE, 2017).

Na Figura 1 está ilustrada a área de estudo através de uma imagem do satélite Landsat-5 de sensor TM (*Thematic Mapper*), falsa cor infravermelho, com resolução espacial de 30 m. Destacam-se as estações meteorológicas responsáveis pelos dados de precipitação pluviométrica e a cidade do município.

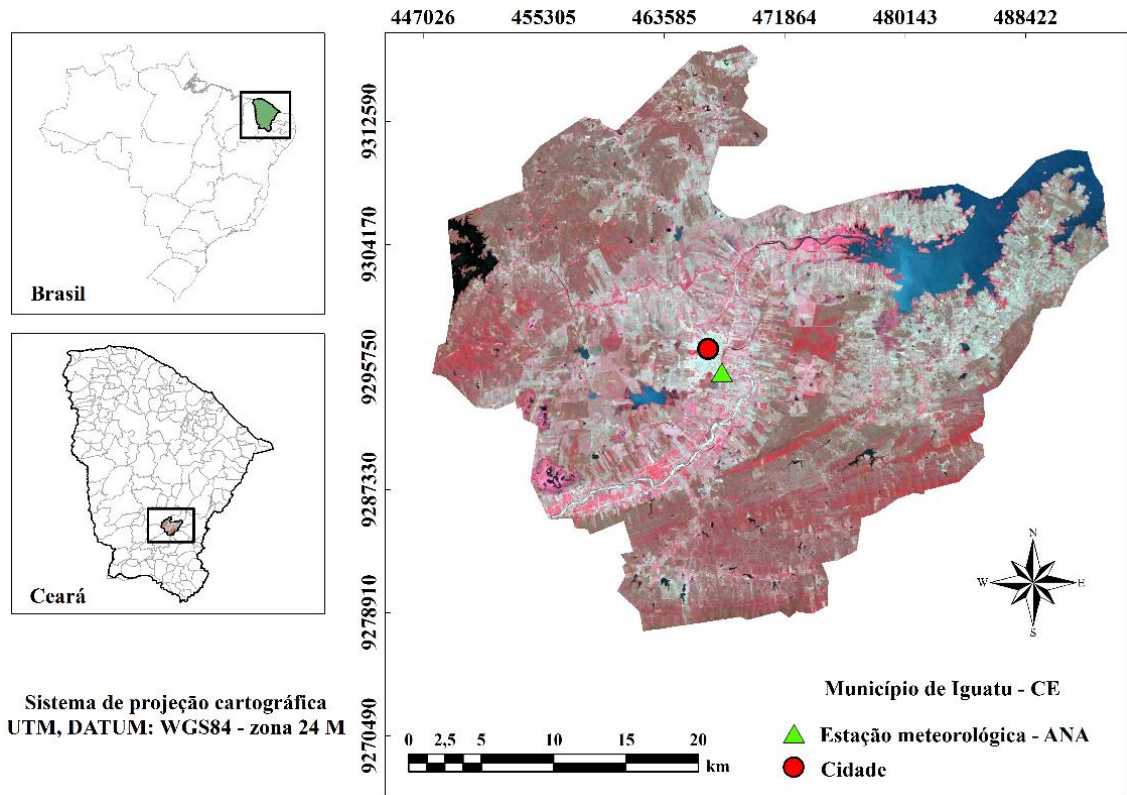


Figura 1. Mapa espacial de localização do município de Iguatu, Ceará, Brasil. Imagem do satélite Landsat-5 TM, composição falsa cor infravermelho (bandas 5; 4 e 3) do dia 29/08/2011.

A Figura 2 apresenta os dados de precipitação pluviométrica total anual referente aos anos das imagens dos satélites, registrado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

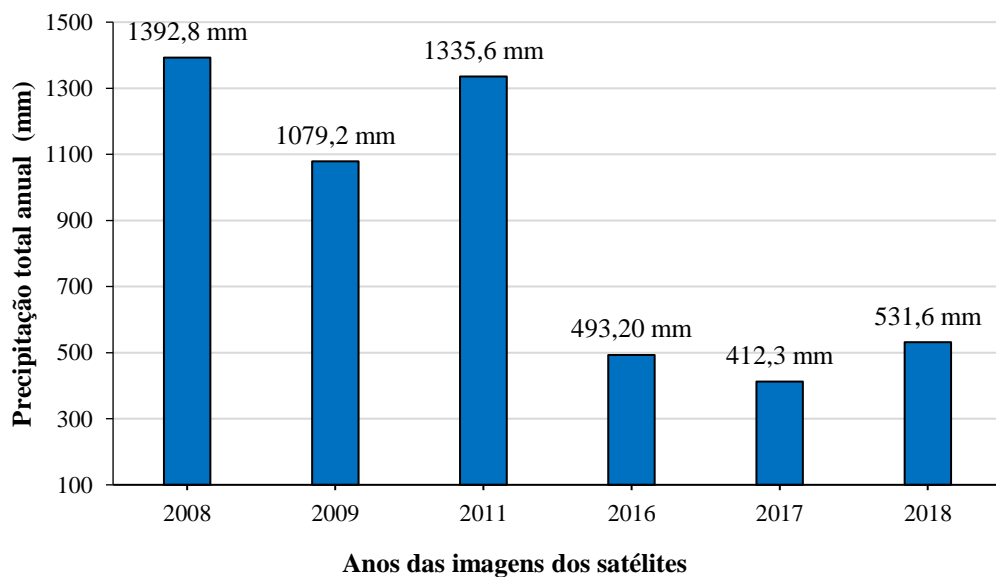


Figura 2. Precipitação pluviométrica total anual referente aos anos das imagens dos satélites.

A presente pesquisa foi realizada através de seis imagens de satélite, sendo três do Landsat-5 de sensor TM (*Thematic Mapper*) e três do Landsat-8 de sensor OLI (*Operational*

Land Imager) (Tabela 1), adquiridas pela NASA/USGS (*National Aeronautics and Space Administration/United States Geological Survey*). O critério de escolha adotado foi a ausência de nuvens e imagens da estação seca da região semiárida.

A Tabela 1 destaca as datas e horários das passagens dos satélites e informações das imagens como o quadrado da razão entre as distâncias média e instantânea entre a Terra e o Sol (d_r) em dado dia do ano imageado e o ângulo zenital solar (θ).

Tabela 1. Informações das imagens nos instantes das passagens dos satélites na região semiárida

Satélite	Data	Horário	d_r	θ
Landsat-5 Sensor TM	21/09/2008	09h32min	0,99	0,86
	20/06/2009	09h36min	0,97	0,74
	29/08/2011	09h36min	0,98	0,82
Landsat-8 Sensor OLI	26/08/2016	09h47min	0,97	0,85
	13/08/2017	09h47min	0,97	0,82
	13/06/2018	09h46min	0,97	0,77

O processamento das imagens Landsat foi efetivado no Software ERDAS IMAGINE® 9.1, com a implementação de etapas do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*). O SEBAL foi responsável pelas operações matemáticas, procedimento numérico iterativo em função das bandas multiespectrais, no objetivo de obter uma análise espaço-temporal por meio de mapas temáticos da superfície terrestre (Bastiaanssen, 2000). Os níveis de cinza das bandas multiespectrais das imagens foram convertidos em radiância espectral e refletância monocromática por meio de coeficientes de calibração disponibilizados pela NASA/USGS, e aplicados conforme recomendações de Chander et al. (2009).

O índice NDWI foi proposto por McFeeters (1996) e posteriormente modificado por Xu (2006), tal qual se deu o nome de índice de vegetação da diferença normalizada da água modificado (modified normalized difference water index - MNDWI), conforme adotado e desenvolvido neste estudo através das bandas refletivas das imagens dos satélites Landsat-5 TM e Landsat-8 OLI. O MNDWI foi desenvolvido por Xu (2006) substituindo a banda do infravermelho próximo (NIR, banda 4 do Landsat-5 TM e banda 5 do Landsat-8 OLI, utilizadas no NDWI) pela banda do infravermelho médio (MIR, banda 5 do Landsat-5 TM e banda 6 do Landsat-8 OLI, utilizadas no MNDWI). O MNDWI tende a melhorar os recursos de água aberta, com características mais precisas e valores positivos maiores que o NDWI, conforme a Equação 1 (Xu, 2006).

$$\text{MNDWI} = \frac{r_{bV} - r_{bMIR}}{r_{bV} + r_{bMIR}} \quad (1)$$

em que, $r_b v$ - faixa refletiva do verde (bandas 2 e 3 dos sensores TM e OLI, respectivamente); e $r_b MIR$ - faixa refletiva do infravermelho médio (bandas 5 e 6 dos sensores TM e OLI, respectivamente). O MNDWI varia entre -1 e 1. $MNDWI \geq 0$ (áreas com presença de água); $MNDWI \leq 0$ (áreas com ausência de água na superfície terrestre; o solo reflete mais luz do MIR que do NIR e as áreas com vegetação reflete ainda mais luz do MIR que a luz verde).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento espaço-temporal da disponibilidade hídrica no desenvolvimento de mapas temáticos da superfície originou respostas do padrão de comportamento dos anos chuvosos e secos da região semiárida de Iguatu-CE, destacando condições de mudanças ao longo do tempo, entre o período de 2008 e 2018. Tanto nos anos chuvosos como nos secos, os demais usos do solo, como as áreas de solo exposto, urbana, além também das áreas com cobertura vegetal e irrigadas foram minimizados e classificados com valores negativos (Figuras 3 e 4), visto que, o principal objetivo foi identificar áreas cobertas por corpos hídricos.

Na Figura 3 está ilustrado os mapas temáticos do índice de vegetação da diferença normalizada da água modificado - MNDWI, destacando a distribuição espaço-temporal da condição hídrica dos anos chuvosos da região semiárida. O município apresenta distintos usos e ocupações do solo, como atividades agropecuárias, reservatórios, rios e lagos, vegetação de Caatinga densa e rala, e área urbana.

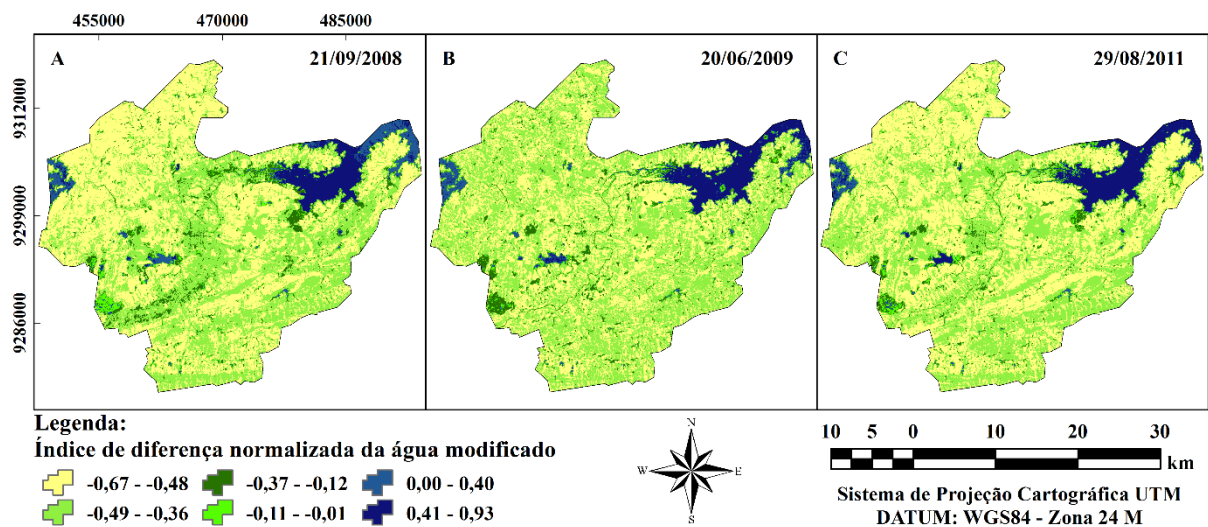


Figura 3. Distribuição espaço-temporal do índice de vegetação da diferença normalizada da água modificado (MNDWI) para o município de Iguatu-CE, para os dias dos anos chuvosos de 21/09/2008 (A); 20/06/2009 (B) e 29/08/2011.

Nos anos chuvosos os mapas temáticos variaram entre os valores de -0,67 e 0,93. Vale ressaltar que os corpos hídricos foram destacados na análise espaço-temporal por valores positivos do MNDWI, como destacado nos respectivos intervalos de 0,00-0,40 e 0,41-0,93 (pixels azul claro e escuro) (Figura 3). Pode-se observar nos anos de 2008, 2009 e 2011 grande disponibilidade hídrica na região, por parte de rios, lagos e reservatórios como Trussu (noroeste da imagem) e Óros (nordeste da imagem) foram épocas com chuvas acima da média histórica (817,91 mm) do município, com 1392,8; 1079,2 e 1335,6 mm (Figura 2), respectivamente.

Na Figura 4 ilustra-se os mapas temáticos do MNDWI com a distribuição espaço-temporal da condição hídrica dos anos secos da região semiárida.

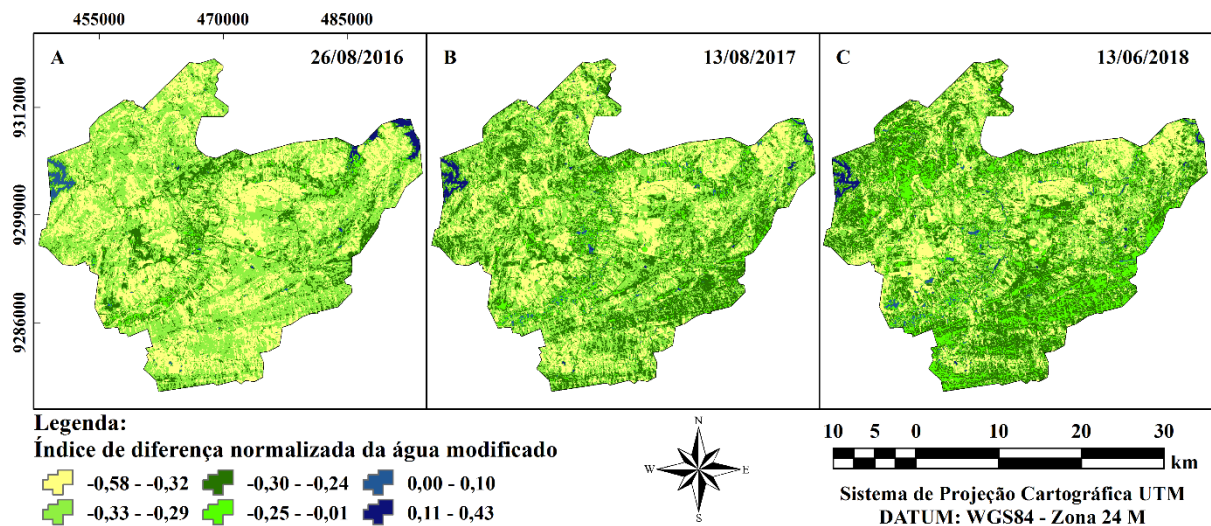


Figura 4. Distribuição espaço-temporal do índice de vegetação da diferença normalizada da água modificado (MNDWI) para o município de Iguatu-CE, para os dias dos anos secos de 26/08/2016 (A); 13/08/2017 (B) e 13/06/2018.

Nos anos secos os mapas apresentaram variação entre -0,58 e 0,43. Os corpos hídricos destacaram valores positivos do MNDWI nos respectivos intervalos de 0,00-0,10 e 0,11-0,43 (pixels azul claro e escuro) (Figura 4). De acordo com estes valores, comparando-os ao período com maior disponibilidade de água (Figura 3), pode-se perceber uma gradativa redução dos espelhos d'água ao longo do tempo na região semiárida. As modificações do uso do solo estão associadas principalmente com os longos períodos de seca, que afetaram as regiões semiáridas severamente. Os anos de 2016, 2017 e 2018 tiveram chuvas abaixo da média histórica (817,91 mm), de 493,20; 412,3 e 531,6 mm (Figura 2), respectivamente.

Vale destacar principalmente o reservatório Óros (à nordeste dos mapas temáticos) pertencente à bacia do Alto Jaguaribe, segundo maior reservatório do estado do Ceará, com capacidade máxima de armazenamento de 1.940.000.000 m³, responsável pelo abastecimento

de diversos municípios, inclusive da capital, Fortaleza. Essencial também nos usos para a agricultura irrigada no cultivo de culturas agrícolas, piscicultura, lazer e turismo. Entretanto, a redução da condição hídrica para os usos múltiplos comprometeu gradativamente várias regiões durante o período deste estudo, afetando as condições socioeconômicas locais (Arraes et al., 2012; SRH, 2019).

A partir do ano de 2012 a seca foi fortemente potencializada no semiárido brasileiro, bem como no estado do Ceará, refletiu negativamente na disponibilidade hídrica dos reservatórios, comprometeu gradativamente os usos múltiplos das regiões, como o abastecimento humano, em áreas mais remotas foi afetada a dessedentação de animais, como também provocou perdas expressivas nos setores da agricultura irrigada (Gutiérrez et al., 2014; Barbosa et al., 2018; Marengo et al., 2018).

Na Figura 5 observa-se a quantificação dos percentuais das áreas cobertas por corpos hídricos ao longo do tempo a partir dos intervalos de classes dos mapas temáticos do MNDWI da região semiárida do Brasil.

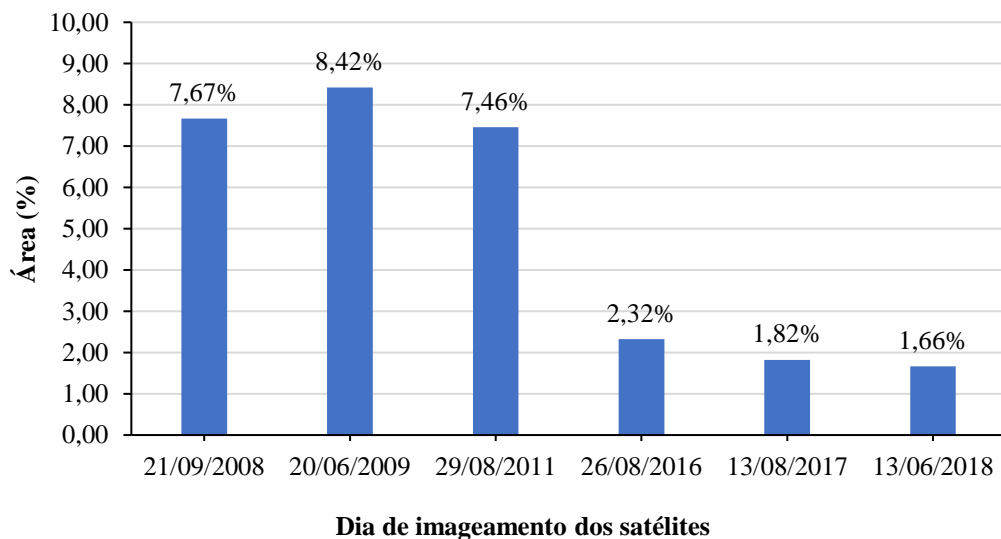


Figura 5. Quantificação das áreas cobertas por corpos hídricos para o município de Iguatu-CE, para os dias dos anos chuvosos (21/09/2008; 20/06/2009 e 29/08/2011) e secos (26/08/2016; 13/08/2017 e 13/06/2018).

Os dias dos anos chuvosos, 21/09/2008 (Figura 3A); 20/06/2009 (Figura 3B) e 29/08/2011 (Figura 3C) destacaram alto potencial hídrico, com respectivos percentuais de áreas cobertas por água de 7,67% (78,86 km²); 8,42% (86,56 km²) e 7,46% (78,86 km²) da área total (Figura 5). Entretanto, a seca evidenciou ao longo do tempo o seu efeito severo, ratificado pela redução e suprimento dos espelhos d'água dos pequenos e grandes reservatórios da região. O agravamento da disponibilidade hídrica foi destacado principalmente nos dias dos anos secos, 26/08/2016 (Figura 4A); 13/08/2017 (Figura 4B) e 13/06/2018 (Figura 4C) quando

apresentaram baixos percentuais de áreas cobertas por corpos hídricos, de 2,32% (23,88 km²), 1,82% (18,72 km²) e 1,66% (17,12 km²) da área total, respectivamente (Figura 5).

CONCLUSÕES

O monitoramento espaço-temporal do índice de vegetação da diferença normalizada da água evidenciou de forma prática e eficiente as condições de mudanças gradativas da disponibilidade hídrica do município de Iguatu-CE, motivados principalmente pelo efeito severo da seca no semiárido brasileiro.

A quantificação das áreas cobertas por corpos hídricos destacou nos anos secos a gradativa redução e suprimento do potencial hídrico dos reservatórios, rios e lagos, que afetaram diretamente os usos múltiplos do município, especialmente à agricultura de subsistência, o que seguramente, de modo geral, se configurou em uma crise socioeconômica local e regional.

Os eventos de seca e a escassez de água favoreceram a um déficit hídrico acentuado, que junto às temperaturas elevadas aumentaram os riscos e a susceptibilidade aos processos de degradação e desertificação das regiões semiáridas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T.; PAREDES, F.; ELLIOTT, S.; AYUGA, J. G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008-2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 148, p. 235-252, 2018.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.

GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal de 2017**. pdf, IPECE, 2017. 18 p. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br/index.php/perfil-municipal-2017>>. Acesso em: 17 de Mai. 2019. IPCE, 2017.

SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/>>. Acesso em: 17 de Mai. 2019. SRH, 2019.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Caatinga**, v. 25, p. 119-127, 2012.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1973-1985, 2018.

ANJOS, A. W.; DELGADO, R. C.; LYRA, G. B.; SOUZA, L. P.; SUHETT, E. R. Evapotranspiração a partir de produtos orbitais para o estado do Rio de Janeiro. **IRRIGA**, v. 1, p. 126-140, 2016.

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, p. 3025-3033, 2006.

MCFEETERS, S. K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 1425-1432, 1996.

SILVA, J. L. B.; BEZERRA, A. C.; OLIVEIRA, J. D. A.; LINS, F. A. C.; ORTIZ, P. F. S.; MOURA, G. B. A. Variabilidade espaço-temporal de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração por sensoriamento remoto em região semiárida. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, p. 137-147, 2017.

GIONGO, P. R.; VETTORAZZI, C. A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 833-838, 2014.