

## **Spectral Indices for remote sensing with the LANDSAT-5 and SENTINEL-2 satellites around the Poço Cruz reservoir-PE**

Nicelle A. da S. Lima<sup>\*</sup>, Leidjane M. M. de Oliveira<sup>\*\*</sup>, Maria Luiza P. Xavier<sup>\*\*\*</sup>, Ubiratan J. da Silva Junior<sup>\*\*\*\*</sup>,  
Evely F. do Nascimento<sup>\*\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, Brasil.  
E-mail: nicelle.ayanne@gmail.com (autor correspondente),

<sup>\*\*</sup>Professora D.Sc. do Departamento de Engenharia Civil e PPGCGTG da UFPE, Recife-PE, Brasil.  
E-mail: leidjaneoliveira@hotmail.com

<sup>\*\*\*</sup>Graduanda em Engenharia Civil, UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: marialuiza\_mariana@hotmail.com

<sup>\*\*\*\*</sup>Mestrando em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, UFPE, Recife-PE, Brasil.  
E-mail: ubiratan.joaquim@ufpe.br,

<sup>\*\*\*\*\*</sup>Graduada em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, UFPE, Recife-PE, Brasil.  
E-mail: evelynascimento@hotmail

Received 21 August 2019; accepted 31 October 2019

### **Abstract**

Remote Sensing allows the analysis of land surface images, so that it is possible to carry out studies and obtain information about certain areas, thus facilitating the interface between the researcher, the study area and the equipment. It is noticed that over time the anthropic action has been one of the interveners in generating modifications in the terrestrial surface. Not different for the Soxão de Moxotó, this study aimed to make a comparison between biophysical variables of the Poço da Cruz reservoir, to analyze the riparian vegetation vegetative vigor behavior, using satellites of different spatial resolutions, LandSat-5 TM with 30 m and 10 m Sentinel-2. Therefore, the image collected on September 23, 2008 for Landsat-5 and the image of March 7, 2018 for Sentinel-2 were based, so that information on three spectral indices was obtained. Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI). After the NDWI, NDVI and EVI analyzes, it was found that, despite the spectral and spatial differences of the products generated using the TM Landsat-5 and MSI Sentinel-2 optical sensors, they presented very close statistical values and Spectral Indices, detecting effectively delimiting the Poço da Cruz. Keywords: NDVI, EVI, NDWI.

### **Índices Espectrais por Sensoriamento Remoto com os satélites LANDSAT-5 e SENTINEL-2 no entorno do reservatório Poço da Cruz - PE**

#### **Resumo**

O Sensoriamento Remoto permite analisar imagens da superfície terrestre, de forma que seja possível a realização de estudos e obtenção de informações sobre determinadas áreas, facilitando desta forma a interface entre o pesquisador, a área de estudo e o equipamento. Percebe-se que ao longo do tempo a ação antrópica tem sido um dos intervenientes em gerar modificações na superfície terrestre. Não sendo diferente para o Sertão de Moxotó, este estudo visou realizar uma comparação entre variáveis biofísicas do reservatório Poço da Cruz, para análise do comportamento do vigor vegetativo da mata ciliar, utilizando satélites de resoluções espaciais diferentes, Landsat-5 TM com 30 m e do Sentinel-2 com 10 m. Portanto, tomou-se como base a imagem coletada em 23 de setembro de 2008, referente ao Landsat-5 e a imagem do dia 07 de março de 2018 para o Sentinel-2, de forma que informações sobre três índices espectrais foram obtidas, Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (EVI). Após as análises do NDWI, NDVI e EVI, verificou-se que, apesar das diferenças espectrais e espaciais dos produtos gerados utilizando os sensores ópticos TM Landsat-5 e MSI Sentinel-2, os mesmos apresentaram valores estatísticos e Índices Espectrais muito próximos, detectando com eficiência a delimitação do Reservatório Poço da Cruz - PE.

Palavras-chave: NDVI, EVI, NDWI.

## 1. Introdução

A vegetação da margem dos cursos d'água pode ser denominada de floresta ciliar, mata beiradeira, mata de beira-rio ou mata ripária, estando presente em diversos tipos vegetacionais (Ab'Saber, 2000), possuindo grande influência na qualidade da água doce e protegem o ecossistema de ações antrópicas na bacia hidrográfica, além de serem indicadores de preservação ambiental (Li et al., 2018).

Essas áreas de mata ciliar têm sido modificadas nas últimas décadas devido as ações antrópicas que têm alterado-as significativamente essas áreas para fins agrícolas, urbanos, recreações entre outras funcionalidades (Valera et al., 2019). Sendo assim, é importante o investimento em planejamento e programas que possibilitem análises do uso do solo e, qualidade da água das áreas pertencentes às matas ciliares e sua interação com o meio antrópico.

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma alternativa para o monitoramento, principalmente quando se deseja analisar coberturas verdes de grandes extensões que não são viáveis pesquisadas *in loco* (Facco et al., 2019). A utilização do SR para o estudo e mapeamento dos recursos hídricos apresentou um considerável crescimento, devido ao baixo custo e sua ampla área de cobertura, sendo bem maior que métodos convencionais de coleta e análise qualitativa da água. A expansão deste tipo de tecnologia está relacionada com a quantidade de produtos disponíveis que podem ser adquiridos de forma gratuita e online pelos usuários, facilitando, portanto, o seu uso para estudos voltados aos recursos naturais terrestres (Bezerra et al., 2018), proporcionando um acompanhamento das ações antrópicas nas áreas de vegetação dos mais diversos biomas componentes das bacias hidrográficas, como exemplo a bacia hidrográfica do Rio Moxotó, objeto deste estudo, inserida no bioma Caatinga de ampla diversidade de fauna e flora dependente de um uso consciente dos recursos hídricos.

A bacia hidrográfica do Rio Moxotó, pertence totalmente ao Semiárido nordestino, estando situada na porção central do estado de Pernambuco e uma parcela na parte Oeste do estado de Alagoas. O rio Moxotó nasce no município de Sertânia, possuindo cerca de 226 km de extensão e tem o rio Piutá como o afluente mais importante. Após aproximadamente 54 km de extensão, o rio desagua no reservatório Francisco Sabóia, conhecido como Poço da Cruz, exatamente no rio Moxotó (APAC, 2019). O reservatório Poço da Cruz ou Eng. Francisco Sabóia é essencial para o abastecimento de água local, a pesca e o ecossistema da região. Sendo objetivo principal do reservatório, a

garantia do suprimento de água ao perímetro irrigado tanto a montante quanto a jusante do vale, pois essa área irrigada é uma fonte de renda muito importante para a região e para Pernambuco, sendo de fundamental importância a conservação e criação de ações integradas às geotecnologias para o acompanhamento do uso consciente do rio e sua mata ciliar.

Dentre os estudos realizados na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE, sobre o monitoramento espacial da vegetação de mata ciliar do Semiárido pernambucano e sua correlação com os recursos hídricos, destacam-se Oliveira et al. (2010), que aplicaram o NDWI e albedo da superfície, utilizando imagens dos satélites Landsat-5 e 7, com resultados que apontaram uma grande variabilidade na quantidade e periodicidade da precipitação, indicando que o NDWI e o albedo da superfície detectam grandes mudanças na resposta espectral dos alvos em estudo. Verificaram também que as áreas antropizadas apresentaram valores de NDWI negativos, admitindo-se que a vegetação nativa presente nestes locais estivesse com suas folhas secas, considerando a afirmativa de Gao (1996). Também Oliveira e Galvêncio (2008) observaram uma redução da cobertura vegetal e um aumento de albedo na bacia hidrográfica, utilizando imagens do Landsat-5 TM, entre anos de 1992 e 2003.

Em Lopes et al. (2010), foram realizadas análises de distribuição dos índices de vegetação: NDVI, EVI-1 e EVI-2 no entorno de um dos afluentes da bacia do Rio Brígida, relacionando os resultados obtidos com o uso do solo, concluindo que o NDVI apresentou uma resposta espectral com maiores concentrações de vigor vegetativo para a área de estudo, enquanto o EVI-1 e EVI-2 apresentaram concentrações de distribuição espacial menores.

Bezerra et al. (2018), realizaram uma comparação do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) entre os sensores OLI a bordo do Satélite Landsat-8 e MSI a bordo do Satélite Sentinel-2 na região Semiárida, concluindo que ambos os sensores apresentaram momentos estatísticos próximos entre as bandas comparada para os alvos, tendo satélite Sentinel-2 apresentado maior delineamento dos alvos.

Destacam-se também estudos desenvolvidos por Silva Junior et al. (2018) que com auxílio de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) implementaram uma modelagem de álgebra computacional para geração das cartas temáticas expressando a variabilidade dos parâmetros de NDBI, NDVI e SAVI para avaliar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal de Correntes, município do agreste Pernambucano, no período chuvoso, por meio de

técnicas e produtos de Sensoriamento Remoto. Silva Junior e Fonseca (2018) também estudaram a aplicação das técnicas de geoprocessamento como ferramenta para o gerenciamento dos recursos ecossistêmicos associados ao município de Santa Cruz de Baixa Verde, a partir de software de livre acesso QGIS 2.14.18, identificando um padrão de resposta espectral em imagens de satélite através dos índices de vegetação, onde os resultados indicaram que foi possível identificar o comportamento da distribuição da vegetação, uso e ocupação do solo e recursos hídricos, a partir de sua distribuição na região, bem como a relação entre esses fatores e altimetria presentes na área.

Portanto, este trabalho teve por objetivo analisar o comportamento espectral do vigor vegetativo no entorno do reservatório Poço da Cruz em Pernambuco – Brasil, a fim de identificar um padrão de resposta espectral para os alvos nas imagens orbitais

através da análise dos parâmetros biofísicos por Sensoriamento Remoto, utilizando os satélites Landsat-5, sensor TM de baixa resolução espacial e Sentinel-2, sensor MSI, de média resolução espacial, possibilitando assim a compreensão entre a influência da distribuição espacial do uso e ocupação do solo no entorno do reservatório.

## 2. Material e métodos

### Área de estudo e dados utilizados

A área de estudo contempla o entorno do reservatório Poço da Cruz ou Eng. Francisco Sabóia (Figura 1), localizado no município de Ibirimir – PE, pertencente a bacia hidrográfica do Rio Moxotó que, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a referida bacia possui uma área total de 9.744,01 km<sup>2</sup>, sendo sua maior parte, 8.772,32 km<sup>2</sup>, pertencente à Pernambuco.

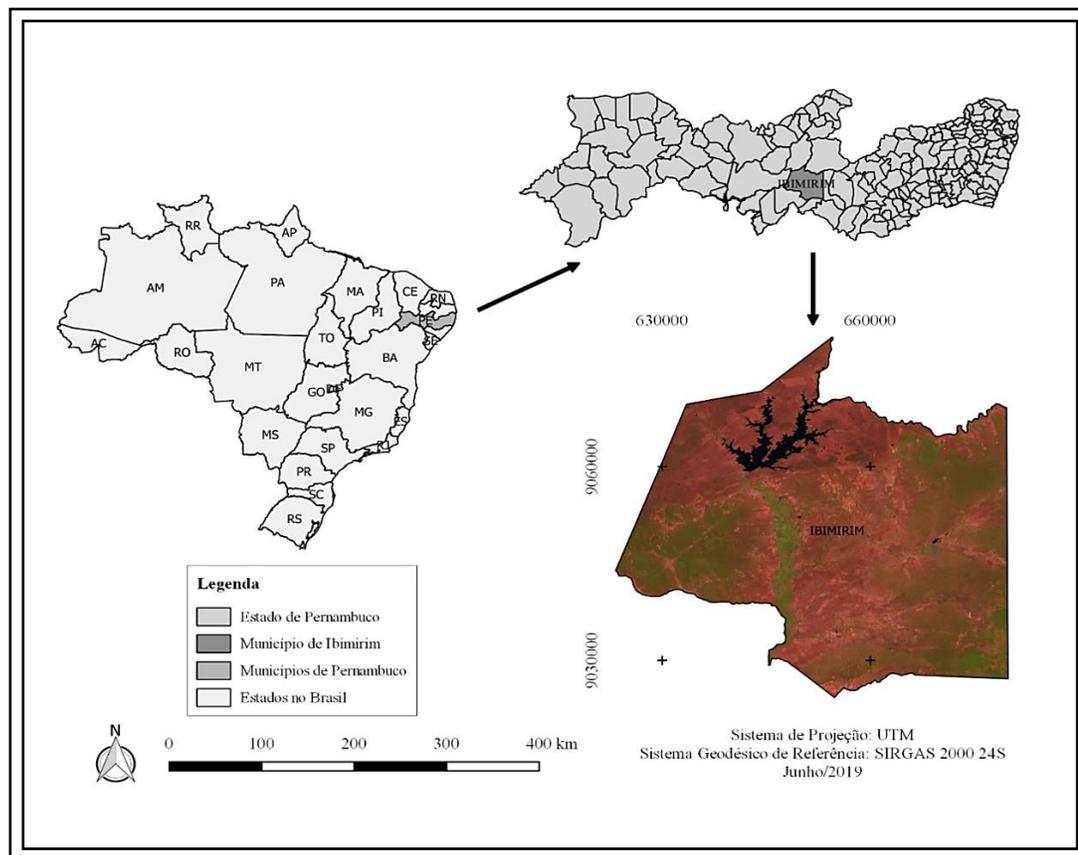


Figura 1 - Localização da área de estudo. Fonte: Autores (2019).

O reservatório Poço da Cruz ou Eng. Francisco Sabóia (Figura 1) localizado no município de Ibirimir – PE, é um afluente de grande contribuição para a bacia hidrográfica do rio Moxotó. A referida bacia se localiza

entre 07°52'21''S e 09°19'03''S de latitude, e 36°57'49''W e 38°14'41''W de longitude, sendo a porção pernambucana parcela constituinte da Unidade de Planejamento Hídrico UP8 (APAC, 2019).

A bacia hidrográfica do rio Moxotó possui um clima do tipo As' segundo a classificação de Köppen, Tropical Chuvoso, com verão seco, está inserido na unidade Geoambiental do Planalto da Borborema, maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros, de relevante influência na manutenção dos componentes ecossistêmicos circundantes, inseridos no bioma Caatinga.

A área de estudo contempla o bioma Caatinga que é caracterizado por ser uma vegetação de vigor moldado à incidência pluviométrica, assim para compreender as respostas dos índices espectrais quanto ao vigor vegetativo, fez-se uma comparação entre os

resultados obtidos com o processamento digital das imagens e as informações pluviométricas (Figura 2), estabelecendo uma correlação entre as características naturais do bioma Caatinga e a presença de umidade. Para tanto, utilizaram-se as séries históricas do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação meteorológica de observação de superfície automática do município de Arcoverde-PE (OMM 82890), comparando o comportamento dos dados climáticos característicos da região e os dados apresentados monitorados.

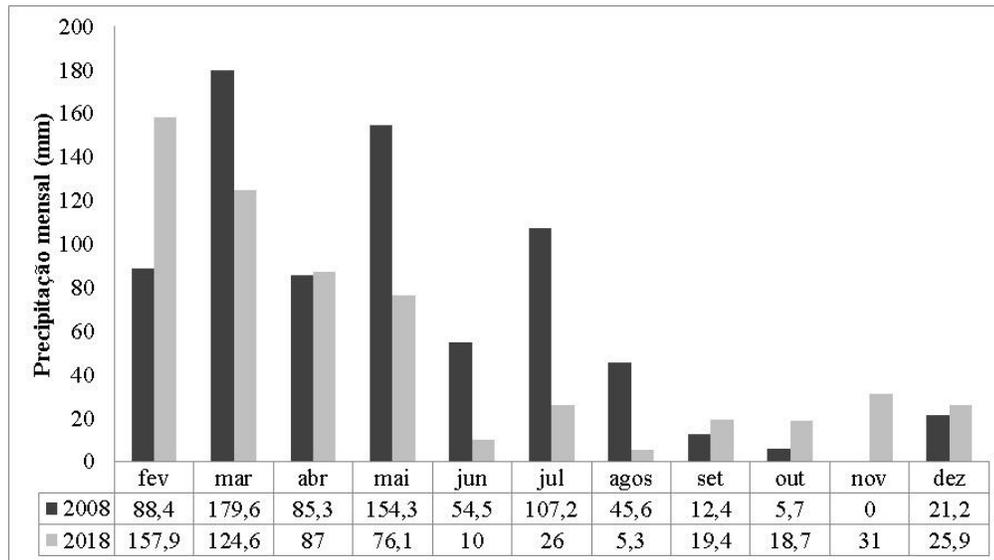


Figura 2 - Precipitação total mensal nos anos de 2018 e 2008 da Estação Meteorológica de Arcoverde-PE. Fonte: INMET (2019)

Conforme a Figura 2 pode-se observar que entre fevereiro a dezembro de 2008 e 2018, apresentaram precipitações totais com valores correspondentes a 754,2 mm e 581,9 mm, respectivamente.

Utilizaram-se cenas de dois sensores para realizar a análise dos índices espectrais, o sensor TM (Thematic Mapper), a bordo do satélite Landsat-5 que possui sete bandas, das quais apenas a banda 6 possui resolução espacial para 120 m e as demais para 30 m (Oliveira, 2014) e; o sensor MSI (Multispectral Instrument), a bordo do satélite Sentinel-2, composto por treze bandas espectrais, dessas quatro com resolução espacial de 10 m, seis bandas de 20 m e três bandas com 60 m (Gomes, 2017).

*Processamento dos Dados*

Foram utilizadas imagens da base de dados digitais do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) de forma gratuita, adquirindo-se imagens de satélite do sensor TM Landsat 5, datada de 23 de setembro 2008, órbita 215 e ponto 66; e do satélite Sentinel – 2 que possui 13 faixas espectrais, datada de 07 de março de 2018.

No processamento das imagens foi utilizado o software de livre acesso QGIS 2.14.18, onde as equações correspondentes aos referidos índices foram inseridas, a partir do empilhamento das bandas, possibilitando o desenvolvimento de imagens georreferenciadas, ao passo que eram processados os índices, tiveram seus valores comparados com os resultados apresentados em planilha eletrônica.

Este tipo de tratamento preliminar das imagens orbitais possibilita corrigir as degradações radiométricas devido aos desajustes na calibração dos

sensores, erros na transmissão de dados, influências atmosféricas e distorções geométricas. Tais imperfeições caso não sejam corrigidas, podem comprometer os resultados das análises e produtos derivados das imagens. Dentre os tratamentos foram processados: reprojeção ao sistema geodésico de referência SIRGAS 2000, adotado oficialmente no Brasil para trabalhos cartográficos; recorte para

adequação da cena a área de estudo; calibração radiométrica e reflectância.

A Figura 3 detalha o procedimento de processamento das cartas georreferenciadas dos índices espectrais Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) e Índice de Vegetação Melhorado (EVI).

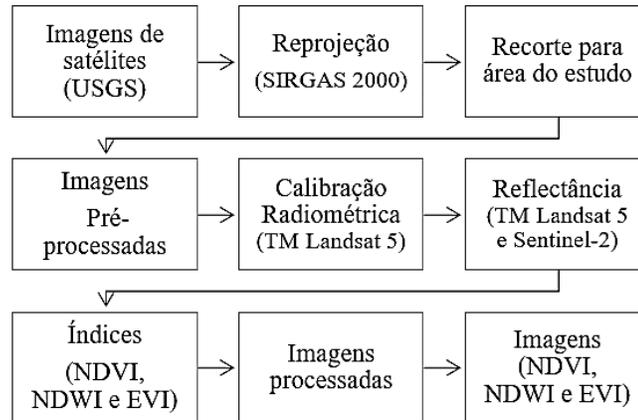


Figura 3 - Procedimento de processamento das cartas georreferenciadas dos índices espectrais Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) e Índice de Vegetação Melhorado (EVI). Fonte: Autores (2019)

#### Processamento do TM Landsat5

Para o TM Landsat-5, utilizaram-se as metodologias de calibração radiométrica e reflectância adotadas por Allen et al. (2002), Epiphanyo et al. (2014) e Silva et al. (2016). Implementando a equação (1), inserida através da ferramenta de álgebra computacional - Calculadora Raster - no QGIS, a modelagem contemplou as bandas necessárias para o processamento dos índices espectrais NDVI, NDWI e EVI.

$$L\lambda_i = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde:  $L\lambda_i$  = Radiância espectral de cada banda e possui unidade de  $Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ; “a” e “b” = Radiâncias espectrais mínimas de máximas, cujas unidades são iguais a radiância espectral e podem ser obtidas em Chander et al. (2009) na Tabela 1; ND = Intensidade do pixel, o qual varia entre os inteiros de 0 a 255 e corresponde a cada banda e; i = Cada banda do TM Landsat-5.

Tabela 1 - Informações sobre as bandas do TM Landsat 5, com os respectivos comprimentos de onda, coeficientes de calibração e irradiância espectral no topo da atmosfera.

Bandas	Comprimento de onda ( $\mu m$ )	Coeficientes de Calibração [ $(Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1})$ ]		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $K\lambda_i$ ) ( $Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ )
		a	b	
1 (azul)	0,452 - 0,518	-1,52	169,0	1983
3 (vermelho)	0,626 - 0,693	-1,17	264,0	1536
4 (IV-próximo)	0,776 - 0,904	-1,51	221,0	1031
5 (IV-médio)	1,567 - 1,784	-0,37	30,2	220

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009)

A reflectância monocromática representa a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente de cada banda e está representada nas equações abaixo Allen et al. (2002), Santos et al. (2015):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DSA \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

onde:  $\rho_{\lambda_i}$  = Reflectância monocromática;  $L_{\lambda_i}$  = Radiância espectral de cada banda e possui unidade de  $Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ;  $K_{\lambda_i}$  = Irradiância solar espectral de banda-a-banda no topo da atmosfera, cuja unidade é  $Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ;  $\cos Z$  = Ângulo zenital solar;  $E$  = Ângulo de elevação do Sol;  $d_r$  = obtido através da equação (4) e;  $DJ$  = Dia juliano.

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), proposto por McFeeters (1996) tem como finalidade detectar águas superficiais em ambientes de zonas úmidas e permitir a medição da extensão da água superficial, calculado conforme:

$$NDWI = \frac{\rho_{verde} - \rho_{IVp}}{\rho_{verde} + \rho_{IVp}} \quad (5)$$

onde:  $\rho_{verde}$  = reflectância da banda do verde (reflectância da banda2) e  $\rho_{IVp}$  = reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda4).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permite a detecção de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividades da vegetação, possibilitando o perfil temporal de crescimento e pico de verde. Apresenta uma variação entre -1 e +1, sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e; na água ou nuvens, os valores predominam menores que zero, sendo obtido pela equação de Rouse et al. (1973):

$$NDVI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_V}{\rho_{IVp} + \rho_V} \quad (6)$$

onde:  $\rho_{IVp}$  = reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda4) e  $\rho_V$  = reflectância da banda do vermelho (reflectância da banda3).

O NDVI funciona como apontador da qualidade e quantidade da cobertura verde, podendo variar de 0 a 1, para superfícies com alguma vegetação (Oliveira e Galvêncio 2008). Sendo uma importante ferramenta para distinção do estado de vigor vegetativo, em áreas de grande e pequena escala, sendo estes os motivos de uso do referido índice neste estudo.

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI) foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel, conforme (Huete et al., 1997; Ponzoni et al., 2012):

$$EVI = \frac{G(\rho_{IVp} - \rho_V)}{L + \rho_{IVp} + C1\rho_V - C2\rho_{azul}} \quad (7)$$

onde:  $G$  = fator de ganho (2,5);  $\rho_{IVp}$  = reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda4);  $\rho_V$  = reflectância da banda do vermelho (reflectância da banda3);  $L$  = fator de ajuste para solos (1,0);  $C1$  (6,0) e  $C2$  (7,5) = coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera e  $\rho_{azul}$  = reflectância da azul (reflectância da banda1).

#### Processamento MSI Sentinel-2

As bandas disponíveis do satélite Sentinel-2 sensor MultiSpectral Instrument (MSI) Level 1C utilizadas nesta pesquisa foram detalhadas conforme a Tabela 2. A equação 8 especificou a conversão do nível de cinza (ND) para valores físicos da superfície terrestre.

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{DC}{Quantification\_Value} \quad (8)$$

onde:  $\rho_{\lambda_i}$  = reflectância planetária,  $DC$  = números digitais correspondentes a cada banda,  $Quantification\_Value$  = coeficiente presente no arquivo metadados.

Tabela 2 - Informações sobre as bandas utilizadas para os índices biofísicos pelo Sentinel-2.

Banda	Resolução espacial	Características
Banda2	10 m	Banda do azul (B): utilizada para discriminar o solo e a vegetação, assim como mapear o tipo de floresta e características feitas pelo homem
Banda3	10 m	Banda do verde (G): ótimo contraste entre água límpida e turva, penetrando razoavelmente bem na água limpa.
Banda4	10 m	Banda do vermelho (R): reflete bem a folhagem morta e útil para identificar vegetação, solos e características urbanas.
Banda8	10 m	Banda do infra-vermelho próximo (IVp): indicado para mapear linhas costeiras e conteúdo de biomassa, assim como para detectar vegetação.

Fonte: Adaptado do Sentinel Hub (2019)

Para o NDWI (equação 9), NDVI (equação 10) e EVI (equação 11) utilizam-se as faixas espectrais do MSI Sentinel-2 detalhadas na Tabela 2, conforme a reflectância das bandas:

$$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8} \quad (9)$$

onde: B3 = reflectância da banda do verde e; B8 = reflectância do infravermelho próximo.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (10)$$

onde: B4 = reflectância da banda do vermelho e; B8 = reflectância do infravermelho próximo.

$$EVI = \frac{2,5 \times (B8 - B4)}{((B8 + (6 \times B4) - (7,5 \times B2) + 1,0))} \quad (11)$$

onde: B2 = reflectância da banda do azul; B4 = reflectância da banda do vermelho e; B8 = reflectância do infravermelho próximo.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados do NDVI, para a data 23 de setembro de 2008 e 07 de março de 2018 (Figura 4) resultaram em valores máximo e mínimo para o TM Landsat-5 de -0,436698 a 0,756948, respectivamente. Já para o satélite Sentinel-2, foram respectivamente de -0,856540 a 0,881491 (Tabela 3). Observaram-se que os valores (> 0,45), que representam regiões com alto teor de vigor vegetativo, correspondem as regiões de mata ciliar.

O NDVI para os solos expostos é, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,30 (Huete e Tucker, 1991),

entretanto devido às propriedades óticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação, afirmaram Coelho et al. (2015). Para Oliveira et al. (2010), baixos valores de NDVI configuram vegetação estressada ou área degradada por presença de ação antrópica, decorrente de escassez hídrica, que tem como consequência a exposição do solo.

De acordo com Bezerra et al. (2018), os resultados encontrados dos valores médios e desvio padrão no NDVI entre o sensor OLI e MSI, são próximos e pôde-se observar que os produtos gerados pelos sensores, apresentaram valores estatísticos aproximados. O que implica dizer que os resultados apresentados têm boa correlação.

Ao analisar a Figura 4 e os resultados gerados pelos sensores, os quais foram comparados estatisticamente (Tabela 3), percebeu-se que onde os valores médios (0,296773 e 0,339363) e os desvios padrão (0,127254 e 0,136591), de fato, foram próximos, o que condiz com Bezerra et al. (2018).

Na visualização entre os anos de 2008 e 2018 na Figura 4, ficou bastante destacado o vigor vegetativo em 2018, fato este que, provavelmente foi decorrente dos eventos chuvos nos meses imageados. Ressalta-se ainda que em 23/09/2008 precipitou 12,4 mm no mês, entretanto em cinco dias antecedents ao imageamento, não ocorreu precipitação, denotando baixo vigor vegetativo da Caatinga. Diferentemente, em 07/03/2018, além de precipitar 124,6 mm no mês, nos cinco dias antecedentes ao imageamento precipitou 97,20 mm, aumentando o vigor da Caatinga. Mesmo com esse evento chuvoso em 2018, observou-se a diminuição do espelho d'água do reservatório Poço da Cruz decorrente da condição hídrica local.

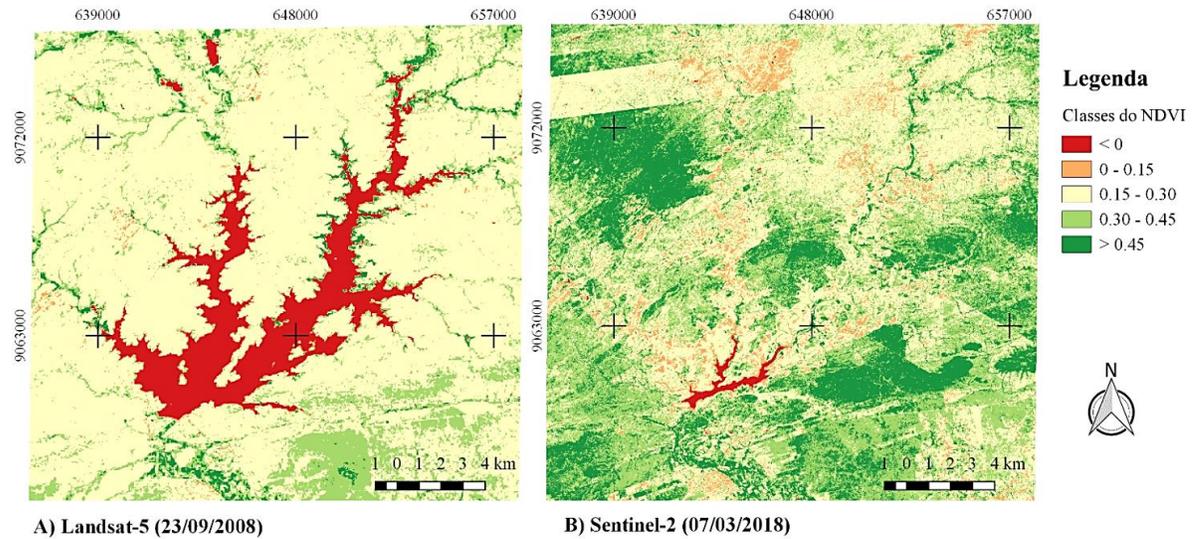


Figura 4 - Carta georreferenciada do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para os satélites Landsat-5 e Sentinel-2. Fonte: Autores (2019).

Tabela 3 - Valores estatísticos sobre os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Satélite	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Landsat-5	-0,436698	0,756948	0,296773	0,127254
Sentinel-2	-0,856540	0,881491	0,339363	0,136591

Fonte: Autores (2019)

Os resultados do EVI para a data 23 de setembro de 2008 e 07 de março de 2018, podem ser analisados na Figura 5. Percebeu-se que os valores máximo e mínimo com relação ao EVI para o satélite

Landsat-5 foram de 0,766512 e -0,170511, respectivamente. Enquanto os valores máximo e mínimo do EVI para o satélite Sentinel-2, foram respectivamente 0,828593 e -0,202764 (Tabela 4).

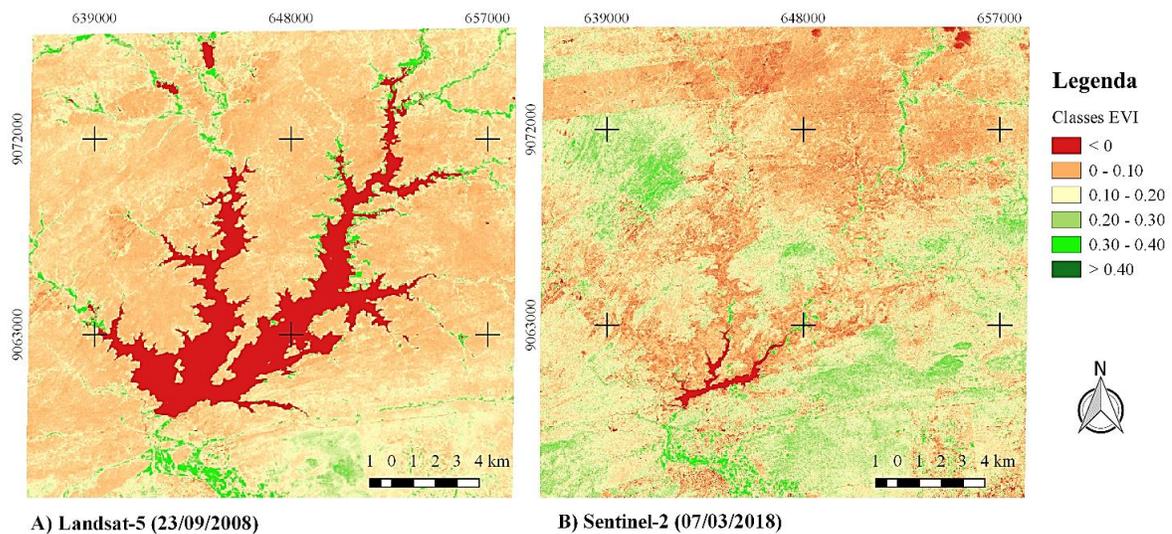


Figura 5 - Carta georreferenciada do Índice de Vegetação Melhorado (EVI) para os satélites Landsat-5 e Sentinel-2. Fonte: Autores (2019)

Tabela 4 - Valores estatísticos sobre os valores do EVI.

Satélite	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Landsat-5	-0,170511	0,766512	0,198726	0,087498
Sentinel-2	-0,202764	0,828593	0,178478	0,068642

Fonte: Autores (2019)

O EVI foi desenvolvido para melhorar a sensibilidade de regiões densamente vegetadas, ou seja, com elevada cobertura vegetal, otimizando o monitoramento da vegetação à medida que reduz influências atmosféricas (Lopes et al., 2010). Ainda, os referidos autores obtiveram como resultado da distribuição espacial do vigor vegetativo e uso do solo no entorno de corpos hídricos, valores de classes de EVI menores que os de classes de NDVI, condizendo com os resultados desta pesquisa para o Sentinel-2. Com esta pesquisa, fortalece a afirmativa que, vegetações de floresta densa pertencentes ao bioma Caatinga característico da área deste estudo, apresentaram maiores valores de NDVI em relação ao EVI.

Também, de acordo com Oliveira et al. (2012), o EVI foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação que, por sua vez, depende da umidade disponível no solo. Portanto, a partir dos resultados levantados nesta pesquisa, pôde-se perceber o acréscimo de vegetação no entorno do reservatório Poço da Cruz nas imagens geradas para o ano de 2008 e 2018, representando a mata ciliar. Detectou-se

também a maior expressão do vigor vegetativo em 07/03/2018, como se esperava similar ao NDVI, a ocorrência do evento chuvoso influenciou na paisagem terrestre da Caatinga.

Os resultados do índice NDWI para a data 23 de setembro de 2008 e 07 de março de 2018, foram analisados na Figura 6. Percebeu-se que os valores máximo e mínimo com relação ao NDWI para o satélite Landsat-5 foram de 0,502332 e -0,704722, respectivamente. Enquanto os valores máximo e mínimo do NDWI para o satélite Sentinel-2, foram respectivamente 0,93 e -0,79 (Tabela 5).

De acordo com Gao (1996), os valores negativos do NDWI são caracterizados por apresentar uma vegetação com grande quantidade de folhas ou galhos secos. Portanto, como os valores obtidos, para os sensores foram negativos, pode-se considerar que a área analisada possui vegetações com tais características, o que condiz com os resultados obtidos em pesquisa realizada por Oliveira et al. (2010) quando pesquisaram o NDWI na bacia hidrográfica do rio Moxotó com imagens do Landsat 5 e 7.

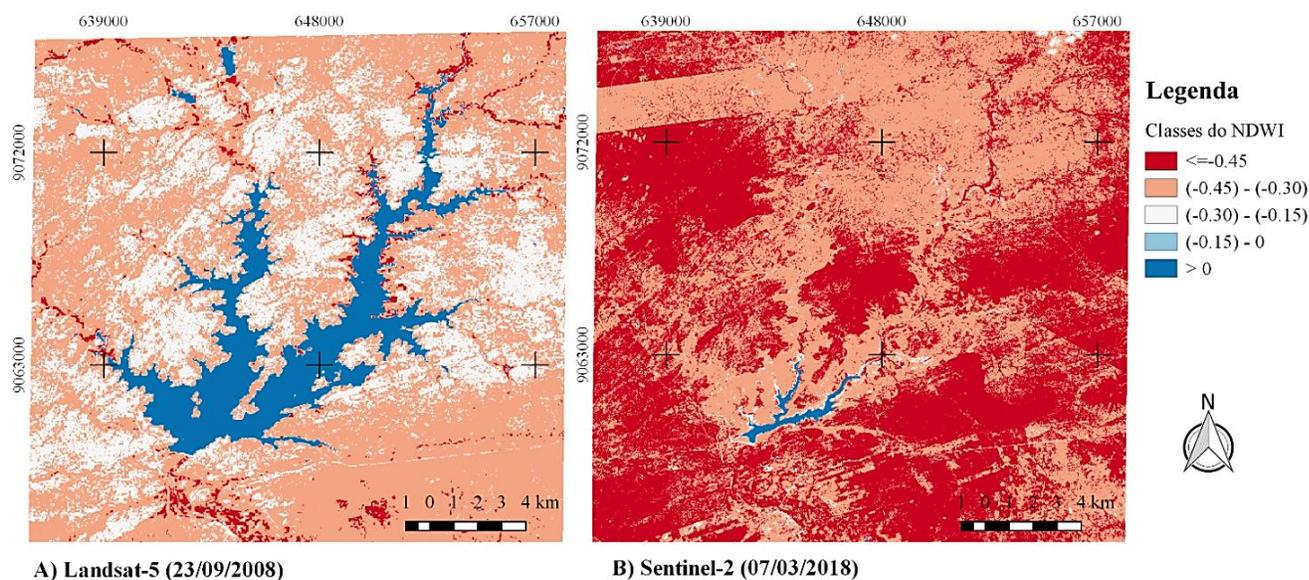


Figura 6 - Carta georreferenciada do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) para os satélites Landsat-5 e Sentinel-2. Fonte: Autores (2019)

Tabela 5 - Valores estatísticos do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI).

Satélite	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Landsat-5	-0,704722	0,502332	-0,350811	0,124226
Sentinel-2	-0,795347	0,930586	-0,462409	0,090315

De acordo com Almeida et al. (2018), as regiões pertencentes à classe com valores de NDWI (>0,08), apresentam áreas com maior presença de água. Também, os mesmos autores, ao realizarem as comparações entre as imagens da lâmina d'água do Poço da Cruz nos anos de 2009 e 2017, constataram uma diminuição expressiva da mesma. Logo, de acordo com a presente pesquisa desenvolvida, como os anos analisados são próximos aos avaliados por Almeida et al. (2018) para a mesma área, pode-se evidenciar a comprovação da diminuição da lâmina d'água entre 2008 e 2018 (Figura 6).

Pode-se observar na Tabela 5 a diferença entre os valores médios do índice NDWI (-0,350811 e -0,462409) processados com os dados orbitais do TM Landsat 5 e MSI Sentinel-2, provavelmente pela diferença da resolução espacial dos sensores, onde a melhor resolução espacial do MSI Sentinel-2 (10 m) possibilitou uma maior visualização espacial do mesmo recorte do TM Landsat 5 com resolução espacial de 30 m.

#### 4. Conclusões

Após a análises do NDWI, NDVI e EVI, verificou-se que, apesar das diferenças espectrais e espaciais dos produtos gerados utilizando os sensores ópticos TM Landsat-5 e MSI Sentinel-2, os mesmos apresentaram valores estatísticos e índices espectrais muito próximos, detectando com a delimitação do reservatório Poço da Cruz em Pernambuco.

O estudo utilizando imagens do TM Landsat5 e MSI Sentinel-2 no Sertão pernambucano, apresentou resultados compatíveis com outros estudos, confirmando assim a eficiência na aplicabilidade da técnica em Sensoriamento Remoto para fins de definição de áreas de uso e ocupação do solo em grandes áreas, especialmente com a presença de corpos hídricos.

Desse modo, a utilização do Sensoriamento Remoto compreende uma ferramenta prática, econômica e eficiente na geração de subsídios à adequada gestão dos recursos hídricos em grandes áreas.

#### Agradecimentos

Ao *United States Geological Survey* (USGS) pela aquisição das imagens dos satélites TM Landsat 5 e MSI Sentinel-2, à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pelo banco de dados hidrológicos da área de estudos e ao Projeto de Pesquisa intitulado "Coberturas vegetal e hídrica de bacias hidrográficas utilizando imagens orbitais no estado de Pernambuco", aprovado na Chamada Universal MCTIC/CNPq 2018 - FAIXA A, processo nº 433914/2018-1, da segunda autora.

#### Referências

- Ab'saber, A.N., 2000. O suporte geológico das florestas beiradeiras (ciliares), in: Rodrigues, R.R., Leitão-Filho, H.F. (Org.), *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. EDUSP/FAPESP, São Paulo, pp. 15-24.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas, 2019. Sistema de Informação Geográfica. Disponível: [http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=18](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=18). Acesso: 10 jun. 2019.
- Allen, R., Bastiaanssen, W., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R., 2002. *Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL), Idaho implementation. Advanced training and users manual, version 1.0*.
- Almeida, D.N.O., Oliveira, L.M.M., Candeias, A.L.B., Bezerra, U.A., Leite, A.C.S., 2018. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 4, 58-68.
- Bezerra, U.A., Oliveira, L.M.M., Candeias, A.L.B., Silva, B.B., Leite, A.C.L., Silva, L.T.M.S., 2018. Comparativo do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) entre os sensores OLI – Satélite Landsat-8 e MSI – Satélite Sentinel-2 em Região Semiárida. *Anuário do Instituto de Geociências* 41, 167-177.
- Chander, G., Markham, B.L., 2009. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41, 2674-2677.
- Epiphanyo, J.C.N., Gleriani, J.M., Formaggio, A.R., Rudorff, B.F.T., 2014. Índices de vegetação no

- sensoriamento remoto da cultura do feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira 31, 445-454.
- Facco, D.S., Gross, J.A., Toniolo, G.R., Santos, A.K.F., Nascimento, V.F., Guasselli, L.A., 2019. Monitoramento da dinâmica de macrófitas aquáticas a partir do índice de estado trófico e reflectância espectral. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos.
- Gao, B.C., 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment 58, 257-266.
- Gomes, D.F., 2017. Uso de imagens Sentinel-2 na identificação de áreas com infestação do capim-annoni-2 no complexo eólico Cerro Chato, Santana do Livramento, RS. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, UFRGS.
- Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., Van Leeuwen, W.J., 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment 59, 440-451.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=443711>. Acesso: 10 jun. 2019.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2019. Disponível: [www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep). Acesso: 10 jun. 2019.
- Li, K., Chi, G., Wang, L., Xie, Y., Wang, X., Fan, Z., 2018. Identifying the critical riparian buffer zone with the strongest linkage between landscape characteristics and surface water quality. Ecological Indicators 93, 741-752.
- Lopes, H.L., Accioly, L.J.O., Candeias, A.L.B., Sobral, M.C., 2010. Análise de índices de vegetação na bacia o rio Brígida, sertão do estado de Pernambuco. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife.
- Mcfeters, 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.
- Oliveira, T.H., Galvêncio, J.D., 2008. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó – PE usando sensoriamento remoto termal. Revista Brasileira de Geografia Física 1, 30-49.
- Oliveira, T.H., Machado, C.C.C., Silva, J.S., Galvêncio, J.D., Pimentel, R.M.M., Silva, B.B., 2010. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. Revista Brasileira de Geografia Física 3, 55-69.
- Ponzoni, F.J., Shimabukuro, Y.E., Kuplich, T.M., 2012. Sensoriamento Remoto da Vegetação. Oficina de Textos, São Paulo.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. ERTS Symposium, Washington. (NASA SP-351).
- Santos, O.E.J., Nicolete, P.A.D., Filgueiras, R., Leda, C.V., Zimback, L.R.C., 2015. Imagens do Landsat-8 no mapeamento de superfícies em área irrigada. Irriga 1, 30-36.
- Sentinel Hub by Sinergise, 2019. Sentinel 2 EO products. Disponível: [https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo\\_products/Sentinel2EOproducts](https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo_products/Sentinel2EOproducts). Acesso: 10 jun. 2019.
- Silva, B.B., Braga, A.C., Oliveira, L.M.M., Montenegro, S.M.G.L., Barbosa Junior, B., 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 20, 3- 8.
- Silva Junior, J.U.da, Fonseca, C.R., 2018. Utilização de ferramentas de geoprocessamento aplicadas ao estudo de características fisiográficas do município de Santa Cruz de Baixa Verde, PE. Encontro de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife.
- Silva Junior, U.J.da, Oliveira, L.M.M, Fonseca, R.C.da, 2018. Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Correntes - PE. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife .
- USCG. United States Geologic Survey. Disponível: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 10 jun. 2019.
- Valera, C.A., Pissarra, T.C.T., Martins Filho, M.V., Valle Júnior, R.F., Oliveira, C.F., Moura, J.P., Fernandes, L.F.S., Pacheco, F.A.L., 2019. The buffer capacity of riparian vegetation to control water quality in anthropogenic catchments from a legally protected area: a critical view over the brazilian new forest code. Water 11, 549. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/w11030549>.