



Geotecnologias aplicadas ao estudo da cobertura vegetal em bacia hidrográfica: uso do software “R”

Geotechnologies applied to the study of vegetation cover in watershed: use of the “R” software

Rubens Barrichello Gomes Barbosa¹, George do Nascimento Ribeiro², Paulo Roberto Megna Francisco²,
Deliane Andrade de Arruda³, Romário de Sousa Almeida², Nyanne Maria Gonçalves Leite²

¹ Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

² Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

³ Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, Brasil.

Contato: rubensbarrichello@gmail.com

Palavras-Chave

sensoriamento remoto
índices de vegetação
degradação ambiental

RESUMO

Atualmente, o sensoriamento remoto vem se tornando uma excelente ferramenta para avaliação da degradação ambiental. A presente pesquisa se propôs utilizar o software “R” para avaliar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sucuru-PB, por diferentes índices de vegetação. O processamento das imagens e estimativas dos índices de vegetações (IV's) foram realizados no software “R”, adotando pacotes específicos e rotinas matemáticas que denotaram os IV's requeridos, tais quais: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), Índice de Água por Diferença Normalizada (IADN) e Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (IVAS). De acordo com os resultados, o IVDN, IADN e IVAS para o período seco variaram respectivamente de -0,3 a 0,4, -1,0 a 0,6 e -0,8 a 0,4, indicando assim, presença de solo exposto e vegetação seca, enquanto que para a época úmida o IVDN, IADN e IVAS variaram respectivamente, de -1,0 a 0,4, -0,8 a 0,6 e -0,5 a 0,5, sendo, portanto, constado áreas de agricultura irrigada, cursos d'água, bem como vegetação rala e densa ao entorno da bacia em estudo. Ademais, ressalta-se o papel fundamental do sensoriamento remoto e os diferentes (IV's) no auxílio das tomadas de decisões para avaliação de estudos ambientais.

Key-word

remote sensing
vegetation indexes
environmental degradation

ABSTRACT

Currently, remote sensing has become an excellent tool for assessing environmental degradation. The present research proposed to use the software “R” to evaluate the vegetal cover in the watershed of the river Sucuru-PB, by different indexes of vegetation. The processing of images and estimates of vegetation indexes (IV's) were performed in software “R”, adopting specific packages and mathematical routines that denote the required IV's, such as: Index of Vegetation by Normalized Difference (IVDN), Water Index by Normalized Difference (IADN) and Adjusted Vegetation Index for Soil (IVAS). According to the results, the IVDN, IADN and IVAS for the dry period ranged from -0.3 to 0.4, -1.0 to 0.6 and -0.8 to 0.4 respectively, thus indicating presence exposed soil and dry vegetation, while for the wet season the IVDN, IADN and IVAS ranged, respectively, from -1.0 to 0.4, -0.8 to 0.6 and -0.5 to 0.5, therefore, there are areas of irrigated agriculture, water courses, as well as thin and dense vegetation surrounding the basin under study. In addition, the fundamental role of remote sensing and the different (IV's) are highlighted in helping decision-making to evaluate environmental studies.

Informações do artigo

Recebido: 07 de maio, 2020

Aceito: 25 de janeiro, 2021

Publicado: 30 de abril, 2021

Introdução

Para Priess e Hauck (2014) as bacias hidrográficas surgem como uma escala conveniente para análise ambiental.

Para os autores, bacias hidrográficas são naturais e possuem unidades amplamente aceitas para gestão de recursos naturais. Seus limites e trajetos de fluxo organizam atividades hidrológicas e processos biogeoquímicos que sustentam os ecossistemas como: abastecimento de água, proteção contra inundações e produção de alimentos.

O gerenciamento de bacias hidrográficas vem enfrentando vários desafios globalmente, dentre os quais podem ser destacados: mudanças climáticas, precipitações variáveis e irregulares, solos estão cada vez mais degradados. Dessa forma, a qualidade da água é prejudicada, inundações e as secas aumentam gradativamente, a demanda humana por recursos naturais cresce e a poluição não pontual excessiva ocasiona a eutrofização da água doce que são entraves para as próximas décadas, além de aumentarem as incertezas para a gestão de bacias hidrográficas (RISSMAN; CARPENTER, 2015).

Para Ferreira Junior e Dantas (2018), o sensoriamento remoto é de extrema importância no manejo de bacias hidrográficas, pois ajuda na identificação e monitoramento de possíveis mudanças nos recursos naturais.

Para os autores, com o avanço tecnológico, a utilização de novas plataformas áreas, como os satélites, tornam-se uma das molas propulsoras para analisar e estudar a superfície terrestre, tendo em vista a relevância para detectar e monitorar as mudanças, propiciando melhor avaliação, manejo e gerenciamento dos recursos naturais, como vegetação e o solo.

Sob este viés, é possível mensurar as causas primordiais de degradação dos recursos naturais, que em maior parte, são causados pelo homem, como o desmatamento, uso e ocupação do solo, atividades agrícolas e de pecuária, principalmente ocasionadas por populações com baixo senso crítico ambiental, impactando diretamente nas bacias hidrográficas, que no cenário do semiárido nordestino, são relevantes para o equilíbrio natural do ambiente, que sofre com secas periódicas (FERREIRA JÚNIOR; DANTAS, 2018).

Imagens multitemporais de sensoriamento remoto, transformadas em índices de vegetação (IV's), são ferramentas poderosas usadas para monitorar mudanças ocorridas na cobertura vegetal (KARNIELI et al., 2002).

Em muitos dos estudos com dados de sensoriamento remoto, os que são relacionados com o domínio do tempo, têm proporcionado melhores resultados diante dos casos de domínio espacial, radiométrico e espectrais (ALMEIDA et al., 2008).

Para Karaburun (2010) a cobertura vegetal é um dos mais importantes indicadores biofísicos e pode ser estimada por meio da utilização dos Índices de Vegetação (IV's). Mediante Bhandarie, Kumar e Singh (2012) afirma que cada formato na superfície terrestre possui uma resposta espectral peculiar.

Os autores apontam que os índices são parâmetros de medição usados para destacar estes formatos, espacialmente distribuídas, nas imagens de sensoriamento remoto para subsequente reconhecimento e extração de informações como desenvolvimento de culturas e área de cobertura vegetal, e certificam que estes índices de imagens multiespectrais estejam fundamentados nas resoluções espacial e espectral.

O uso de imagens orbitais proporciona uma visão sinóptica do terreno e melhor realce dos objetos terrestres através do espectro eletromagnético, possibilitando no melhor aproveitamento do contexto espacial para medir os impactos naturais e antrópicos, sejam eles locais ou regionais (GAMEIRO et al., 2016). Para verificar a vegetação, diversas técnicas podem ser utilizadas, como a identificação da vegetação com o auxílio das imagens de satélite, que se torna uma tecnologia veloz e em algumas situações mais eficientes, principalmente quando a análise ocorre em lugares inóspitos (SILVA et al., 2011).

Para analisar uma vegetação, é possível utilizar processamento de imagens de satélite com o intuito de propiciar uma melhor extração dos alvos analisados. Dentro destes processamentos, têm-se como exemplo processos de classificação automática de imagens, índices de vegetação como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), Índice de Água por Diferença Normalizada (IADN) e o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (IVAS), entre outros, além do modelo linear de mistura espectral (MAGALHÃES; CARVALHO JUNIOR; SANTOS, 2017).

Os índices de vegetação são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (CRUZ; SOUZA; JESUS, 2011). Os índices de vegetação espectral são combinações matemáticas de diferentes bandas espectrais, principalmente nas regiões do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (VIÑA et al., 2011).

Concernente ao software "R", este utiliza uma linguagem de programação especializada em computação com dados, que possui vantagens, tais quais, possui caráter gratuito e disponibilidade para um leque bastante variado de sistemas operacionais, além de ser altamente expansível com o uso de pacotes, que são bibliotecas para estudos ou funções específicas (SILVA; DINIZ; BORTOLUZZI, 2009). Ademais, a linguagem de programação R se tornou uma linguagem popular para a programação de análise espacial e geocomputação (GUO; WESTRA; MAIER, 2016). Mediante os autores, existem muitas bibliotecas ou pacotes de contribuição do usuário para o processamento digital de imagens, que promovem reutilização de código e reduzem o tempo de desenvolvimento.

Nesse contexto, avaliar a cobertura vegetal constitui-se de primordial fator para estudos ambientais, gestão e planejamento de recursos naturais da bacia hidrográfica, possibilitando elucidação e compreensão dos processos hidrológicos, assim como diagnóstico da dinâmica no espaço urbano e no meio rural (PRIESS; HAUCK, 2014).

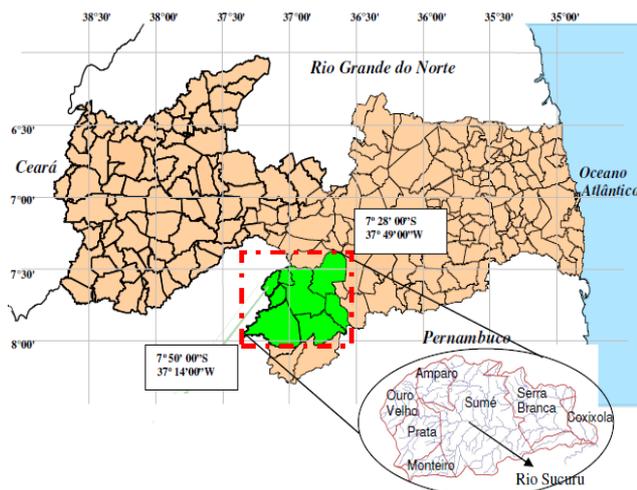
À vista disso, este trabalho tem por objetivo utilizar o software “R” para avaliar a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sucuru, Estado da Paraíba, por meio de diferentes índices de vegetação, para o período seco e úmido da região, utilizando imagens do satélite LANDSAT 8.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

A bacia do Alto rio Sucuru (Figura 1) está localizada no semiárido paraibano, na microrregião homogênea Cariris Velhos, com área territorial de aproximadamente 1.652,5 km²; engloba, total ou parcialmente, os municípios de Amparo, Monteiro, Ouro Velho, Prata, Sumé, Serra Branca e Coxixola. A área se encontra entre as coordenadas geográficas de 7°28'00” e 7°50'00” de latitude sul e 37°14'00” e 36°49'00” de longitude oeste (SANTOS et al., 2009).

Figura 1. Localização da área em estudo



Fonte: Adaptado de Alencar (2008)

A referida bacia hidrográfica é principal contribuinte do maior manancial da região, o açude de Sumé, que está inserida totalmente nos municípios de Sumé, Monteiro, Prata, Ouro Velho e Amparo, sendo que, sua maior área está localizada no território municipal de Sumé. Esta bacia possui 631 açudes distribuídos em 769 km², sendo que 620 açudes, ou seja, 98% dos reservatórios possuem área inferior a 20 hectares (SANTOS et al., 2009).

Tendo como municípios limítrofes, na região Norte, situa-se o município de São José dos Cordeiros, na região Sul limitam-se com os municípios de Camalaú e Monteiro, enquanto que na região Leste fazem parte os municípios de Serra Branca e Congo e na região oeste os municípios de Ouro Velho, Prata e Amparo. Segundo o último censo demográfico brasileiro, a população sumeense é de 16.072 habitantes (IBGE, 2010).

De acordo com a classificação de Gaussen, a área em estudo está sob a influência dos seguintes tipos

climáticos: 4aTh (tropical quente de seca acentuada), 2b (subdesértico quente de tendência tropical) e 3aTh (mediterrâneo quente ou nordestino de seca acentuada). Não obstante, de acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Bsh (semiárido quente), com precipitações médias anuais baixas (em torno de 400 mm) com estação seca que pode atingir até 11 meses. O índice de aridez (IA) de Thornthwaite para a bacia do Sucuru é de 0,22, que caracteriza o seu clima como semiárido (ALENCAR, 2008). Considerando os meses com maior intensidade de chuvas, assim como os meses com menores precipitações pluviométricas, verificou-se que para a região do Cariri paraibano o trimestre chuvoso está relacionado com os meses de fevereiro-março-abril, já para o período trimestral mais seco compreende os meses de agosto-setembro-novembro (SENA; LUCENA; RIBEIRO, 2017).

Para Silva (1994) a geologia da região está representada pelo complexo gnaissico-migmatito e rochas granitóides, do pré-cambriano indiviso e do período quaternário, por sedimentos aluviais. A área de estudo compreende o Planalto da Borborema, correspondente à unidade morfológica Superfície do Planalto ou Superfície dos Cariris, apresentando domínio de relevo suave ondulado e ondulado, com altitudes variando de 380 a 500 m (ALENCAR, 2008).

Na região de estudo predomina a caatinga hiperxerófila de porte arbóreo baixo ou arbóreo arbustivo. A vegetação da caatinga possui alta capacidade de adaptação à escassez hídrica, uma vez que seus recursos bioquímicos e físicos a tornam altamente adaptada aos longos períodos de estiagem da região (RIBEIRO, 2014).

De acordo com Francisco (2010) na área ocorrem os Neossolos Litólicos Eutróficos, fase pedregosa substrato gnaiss e granito, e os Vertissolos apresentando relevo suave ondulado e ondulado, predominantemente nas partes mais baixas no entorno da drenagem, e os Planossolos Nátricos, relevo plano e suave ondulado, e a predominância de solos Luvisolos Crômicos bem desenvolvidos, em relevo suave ondulado.

As atividades agrícolas se baseiam na agricultura familiar com o plantio de espécies como feijão macassar ou de corda (*Vigna unguiculata*) e o milho (*Zea mays*), ainda nas culturas de batata-doce, fava, algodão herbáceo, mamona, mandioca, tomate, feijão, banana, coco, goiaba, manga e sisal. A pecuária está embasada na criação extensiva de rebanhos, por ordem de importância: caprino, bovino, ovino, suíno, equino, asinino e muars (ALENCAR, 2008).

Processamento das imagens

Para a realização deste trabalho foram utilizadas 44 imagens do LANDSAT 8, sensor TM/OLI, do ano de 2016, órbita/ponto correspondente à 215/65. As imagens foram adquiridas junto ao site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2016). O processamento das imagens e a obtenção dos índices de vegetação (IV's) foram realizados no software “R”, utilizando-se de pacotes específicos e criando-se rotinas matemáticas que denotaram os índices do IVDN, IADN e IVAS.

Neste trabalho, utilizou-se o pacote *raster* para processamento dos arquivos e execução automática do software R, além de possibilitar operações necessárias para ler, cortar e escrever *rasters* em diversos formatos (CUNHA, 2018). A biblioteca *rgdal* foi utilizada para ler e gravar *rasters* suportados com referências espaciais, bem como a leitura de dados vetoriais. Foram utilizadas funções no pacote *raster* para ajustar os dados de entrada, as funções: *stack* foi utilizada para empilhá-los; o *crop* para recorte de arquivos; *shapefiles* para obter dados de origem como pontos, linhas e polígonos e o *cluster* foi usado para paralelizar partes do algoritmo (SÁNCHEZ-TAPIA, 2016).

Para a confecção dos mapas, foi utilizado o “RStudio” versão *Desktop Open Source License*. O RStudio é um conjunto de ferramentas integradas que inclui um console, editor de realce de sintaxe que suporta execução direta de código e uma variedade de ferramentas robustas para plotagem, visualização de histórico, depuração e gerenciamento do espaço de trabalho, utilizando os *plugins*, *rgdal* e *raster* (AMARAL; CESÁRIO, 2009).

O IVDN foi proposto por Rouse et al. (1973) e tem como objetivo diminuir os efeitos multiplicativos da assinatura espectral nas duas faixas espectrais, reduzindo também o efeito topográfico (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Matematicamente, o IVDN é obtido pela razão entre a diferença das refletâncias do infravermelho próximo (P4) e do vermelho (P3) e a soma das mesmas refletâncias (COSTA FILHO et al., 2007).

$$IVDN = \frac{P4 - P3}{P4 + P3} \quad (\text{Eq. 1})$$

O IADN foi desenvolvido por McFeeters (1996) com o intuito de delinear feições nas águas presentes no ambiente e realçar a presença das mesmas na imagem digital obtida por sensoriamento remoto.

Para determinação do IADN foi aplicado uma série de imagens, visando a análise da dinâmica temporal, posto que muitos elementos podem interferir na resposta espectral da água, permitindo estabelecer relações a bacia hidrográfica em estudo, além disso, utilizou-se a (Equação 2) para determinação do IADN que consiste na razão entre a diferença das refletâncias do verde (P5) e do infravermelho próximo (P4) e a soma das mesmas refletâncias.

$$IADN = \frac{P5 - P4}{P5 + P4} \quad (\text{Eq. 2})$$

No cálculo do IVAS (Equação 3), Silva e Galvínio (2012) mencionam o adição de uma constante L, cujo o objetivo é minimizar o efeito do solo no resultado final do índice, visto que L é uma constante que pode variar entre 0 e 1, segundo os propositores, os valores ótimos de L são: L = 1 (baixas densidades de vegetação), L = 0,5 (densidade médias de vegetação) e L = 0,25 (densidades altas de vegetação). Para a presente pesquisa foi adotado L = 1 em virtude de a região em estudo possuir baixas densidades de vegetação.

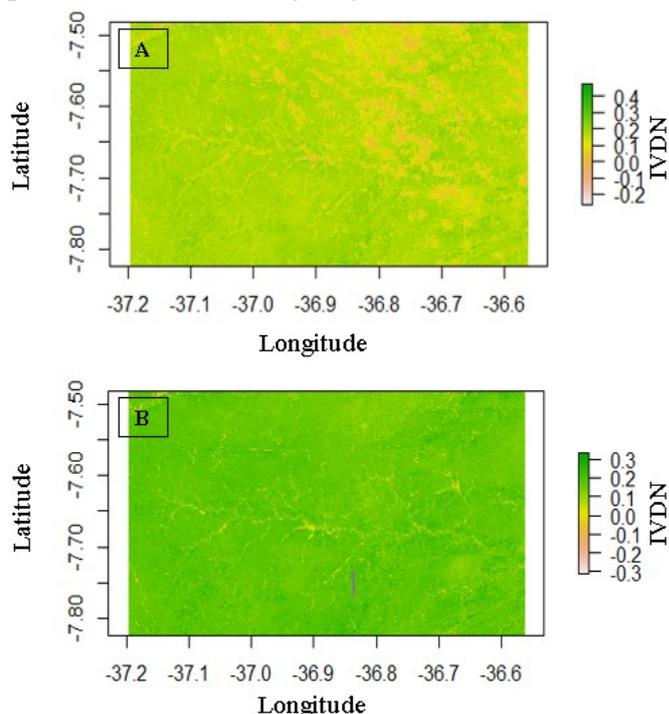
$$IVAS = \left(\frac{P4 - P3}{P4 + P3 + L} \right) \times (1 + L) \quad (\text{Eq. 3})$$

Resultados e Discussão

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

Nas Figuras 2A e 2B, observam-se produtos de IVDN para a bacia do rio Sucuru, para o período seco do ano de 2016.

Figuras 2A e 2. Produtos de IVDN para o período seco do ano de 2016



Fonte: Autores (2019)

Para o período seco, os valores de IVDN máximo e mínimo é de 0,4 e -0,2 (Figura 2A), sendo caracterizados como presença de vegetação viva e corpos d’água na área em estudo, respectivamente. Entretanto para a Figura 2B, os valores de IVDN variam entre $-0,3 \leq IVDN \leq 0,3$, sendo caracterizados como corpos d’água e áreas de pastagem e/ou arbustos, respectivamente. Os resultados obtidos na referida pesquisa estão em consonância com Karaburun (2010) quando aponta que o IVDN tem propriedade de variar de $-1,0 \leq IVDN \leq 1,0$. Ainda para o autor, valores negativos de IVDN ($IVDN < 0$) indicam corpos d’água, valores muito baixos ($IVDN < 0,1$) correspondem as áreas inférteis, já valores considerados moderados ($0,2 \leq IVDN \leq 0,3$) representam áreas de pastagem e arbustos, enquanto ($0,6 \leq IVDN \leq 0,8$) expressam florestas tropicais e temperadas e indicam a presença de “vegetação viva”, e por fim o solo exposto tem valor nulo ($IVDN = 0$).

Em pesquisa conduzida por Andrade et al. (2018) que avaliaram diferentes índices de vegetação no Sertão

Pernambucano nos municípios de Exu e Moreilândia, os mesmos constataram que o IVDN variou entre $(0,17 \leq \text{IVDN} \leq 0,41)$, corroborando, portanto, com os resultados da referida pesquisa, no qual o valor máximo é de 0,4 para a época seca.

Conforme Silva e Galvêncio (2012) para a época seca, foi observado que o IVDN interfere nas respostas do solo e isso pode interferir nas respostas diferenciadas na cobertura vegetal devido a uma subestimativa. Os autores salientam, que o bioma Caatinga apresenta maior fragilidade ambiental no período seco devido aos processos de desertificação, em especial a baixa disponibilidade hídrica.

De acordo com Besalatpour et al. (2013) em pesquisa realizada na bacia hidrográfica altamente montanhosa de Bazoft, no sudoeste do Irã, foi constatado que o IVDN variou de $-0,31 \leq \text{IVDN} \leq 0,47$.

Ghandi et al. (2015) avaliando um estudo de caso no distrito de Vellore na Índia, por meio do *software* QGIS, encontraram valores de IVDN entre $0,1 \leq \text{IVDN} \leq 0,5$.

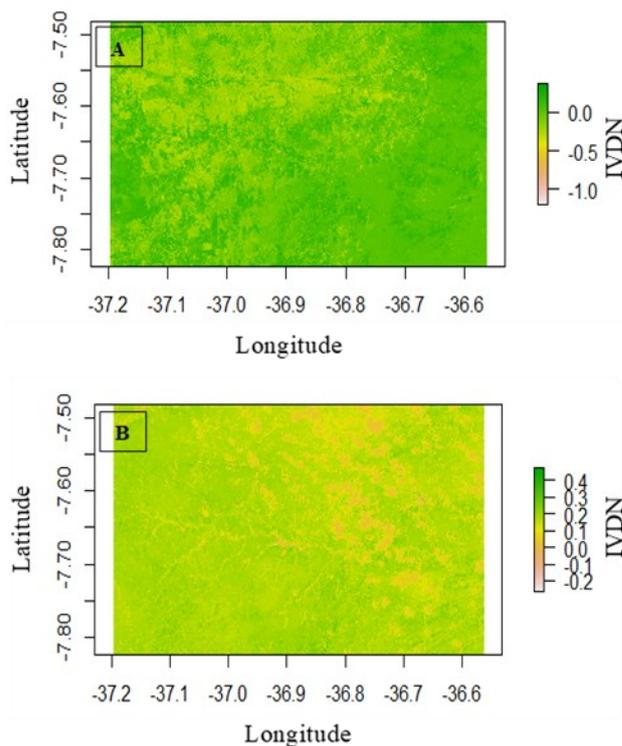
Para Ghandi et al. (2015) o IVDN tem sido bastante utilizado para analisar a relação entre a variabilidade espectral e as mudanças nas taxas de crescimento da vegetação, além de detectar às mudanças na cobertura vegetal. Ainda para os autores, os valores mais baixos de IVDN são encontrados nos solos menos vegetados, porque a reflexão no solo é alta, dessa forma produz menores valores na faixa do infravermelho próximo e altos na faixa vermelha, portanto os valores do IVDN são baixos.

Segundo Trentin e Fonseca (2011) quando o pico de reflectância é deslocado para a banda do vermelho, em função da degradação da clorofila, a reflectância no infravermelho próximo reduz devido à degeneração das membranas celulares do mesófilo durante a senescência, ocorre uma diminuição nos valores de IVDN. Em termos de quantificação e caracterização quantitativa das características da cobertura vegetal, o IVDN é um indicador que está inteiramente relacionado ao crescimento da vegetação e distribuição espacial, que devido ao seu cálculo simples, ao fácil acesso aos parâmetros de cálculo e ampla faixa de monitoramento, é possível quantificar o crescimento das plantas com biomassa, cobertura vegetal, além do índice de área foliar (LI BINBIN et al., 2014).

Nas Figuras 3A e 3B observam-se produtos de IVDN para a bacia do rio Sucuru para o período úmido do ano de 2016. Para o período úmido, os valores de IVDN variam de um máximo de 0 para um mínimo de -1,0 (Figura 3A), sendo caracterizados, respectivamente, como corpos d'água e solo exposto, contudo para a Figura 3B os valores de IVDN variam entre $-0,2 \leq \text{IVDN} \leq 0,4$, sendo caracterizados como corpos d'água na área em estudo e presença de vegetação viva.

Gameiro et al. (2016) avaliando a cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do baixo Jaguaribe-CE, os valores máximos de IVDN foram de 0,5 para o período úmido, devido à presença de vegetação com mais folhas na região, resultado de boa disponibilidade de água no solo, o que fez favorecer o desenvolvimento da vegetação nativa na área em estudo.

Figuras 3A e 3B. Produtos de IVDN para o período úmido do ano de 2016



Fonte: Autores (2019)

Barbosa et al. (2019) comparando médias de IVDN durante os anos de 2008 a 2016 nos municípios de Imaculada-PB, Pedro-PI, Catunda-CE e Macaparana-BA por meio do *software* Meteosat-SEVIRI, constataram que em todos os locais o IVDN foi mais alto em um curto período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro a maio, no qual o IVDN variou de valores máximos e mínimos de 0,7 a 0,3; 0,8 a 0,4; 0,65 a 0,2; 0,75 a 0,5, respectivamente para os municípios de Imaculada-PB, Pedro-PI, Catunda-CE e Macaparana-BA.

De acordo com Yang, Tang e Mustard (2014) existem alguns fatores que influenciam no crescimento da vegetação e por conseguinte afetam a resposta do IVDN, dentre os quais podem ser citados: o efeito da descarga maciça de folhas é de um ou alguns meses, após a primeira chuva na estação chuvosa e a refletividade das folhas, que possivelmente mudam com a idade, podem levar de um a dois meses para atingir a expansão total com maior refletividade.

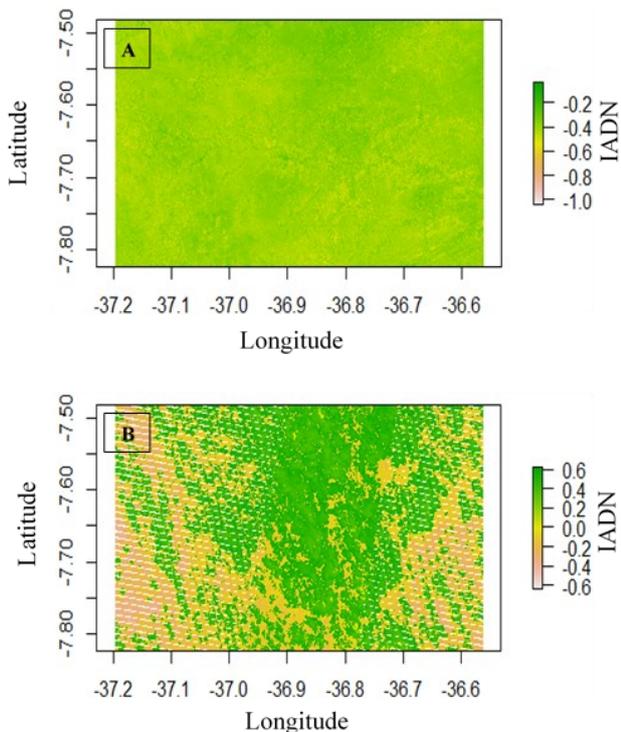
A diferença de valores existentes entre os dois períodos se faz presente, primordialmente, pelo fato de a caatinga ser uma vegetação que perde as suas folhas na época seca, o que deixa de ser classificada como vegetação densa e passa a ser caracterizada como vegetação escassa e/ou solo exposto (MALDONADO, 2005).

O mesmo autor aponta que para a caatinga, a radiação do infravermelho próximo é sempre superior que a do vermelho e que para o período úmido, a diferença da radiação entre as bandas aumenta, em virtude da maior absorção da energia do vermelho pela fotossíntese, com o aumento da biomassa e pela maior reflexão do infravermelho pela água de hidratação da folhagem.

Índice de Água por Diferença Normalizada (IADN)

Nas Figuras 4A e 4B notam-se produtos de IADN para a bacia do rio Sucuru para a época seca do ano de 2016.

Figuras 4A e 4B. Produtos de IADN para o período seco do ano de 2016



Fonte: Autores (2019)

Para a época seca, valores de IADN máximo é de -0,2 e mínimo de -1,0 (Figura 4A), caracterizando assim como vegetação seca, solo exposto ou áreas urbanas, enquanto que para a Figura 4B, os valores de IADN variam entre $-0,6 \leq \text{IADN} \leq 0,6$, sendo caracterizados como vegetação seca, solo exposto ou áreas urbanas e áreas de agricultura irrigada e cursos d'água, respectivamente.

Os resultados encontrados na referida pesquisa, estão em consonância com Ferreira et al. (2012) quando apontam que o IADN expressa valores que podem variar de $-1,0 \leq \text{IADN} \leq 1,0$. Ainda para os autores, valores negativos indicam vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas, contudo valores positivos são identificados áreas com agricultura irrigada e cursos hídricos.

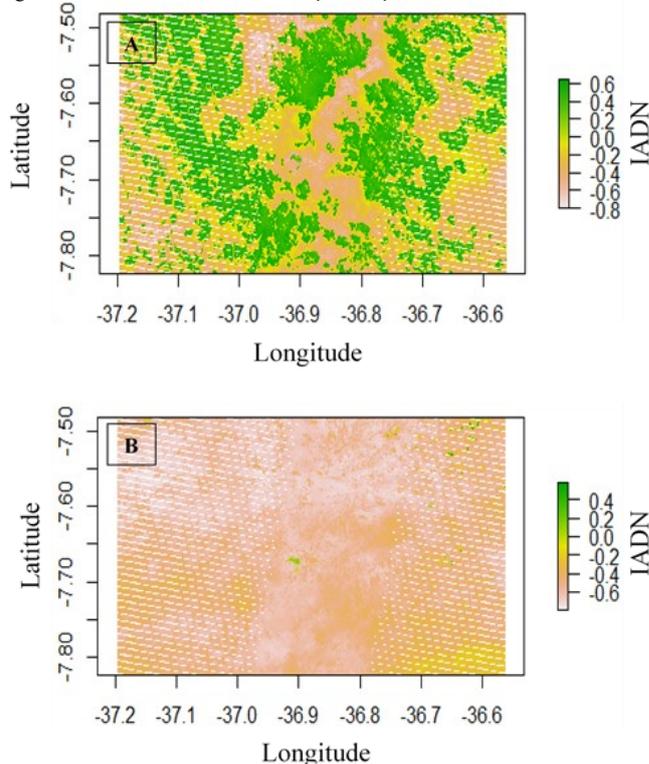
De acordo com Brenner e Guasseli (2015) identificando meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí- RS, por meio dos softwares SAGA e QGIS, os valores de NDWI variaram de um valor máximo de 0,4 para um valor mínimo de -1,0.

Os autores apontam que ao se trabalhar com água, a faixa do visível torna-se restrita, pois a partir do infravermelho a maior parte da resposta espectral da radiação da água é absorvida, no entanto a banda do verde, utilizada na equação do IADN, há uma maior penetração da luz no fundo da água, o que possibilita uma maior discriminação dos alvos.

Zhang e Chen (2016) estudando a aplicação do índice modificado de água (MIADN) e o IADN na recuperação do monitoramento regional da seca no oriente médio da China, constataram que para o MIADN obtiveram resultados satisfatórios, uma vez que esse índice pode ser utilizado para recuperar em tempo real a umidade do solo, fator importante para monitorar o alerta da seca, além de poder diminuir o impacto da saturação da planta sobre a precisão da recuperação da umidade do solo.

O IADN, assim como o IVDN, está entre os índices radiométricos mais aplicados em estudos ambientais (PEREIRA et al., 2018). O IADN apresentado por McFeeters foi proposto com o objetivo de analisar e avaliar dados de recursos hídricos, como identificação de cursos d'água (BRENNER; GUASSELLI, 2015), monitorar áreas inundadas (MEMON et al., 2015), bem como identificar as áreas que apresentam maior e menos estresse hídrico no meio ambiente (ANDRADE et al., 2018). Nas Figuras 5A e 5B observam-se produtos de IADN para a bacia do rio Sucuru para o período úmido do ano de 2016.

Figuras 5A e 5B. Produtos de IADN para a época úmida do ano de 2016



Fonte: Autores (2019)

Para o período chuvoso, os valores de IADN máximo é de 0,6 e mínimo de -0,8 (Figura 5A), sendo respectivamente caracterizando como áreas de agricultura irrigada e cursos d'água, enquanto que para a Figura 5B os valores de IADN variam entre $-0,6 \leq \text{IADN} \leq 0,4$, sendo caracterizados como vegetação seca, solo exposto ou áreas urbanas e áreas de agricultura irrigada e cursos d'água, respectivamente.

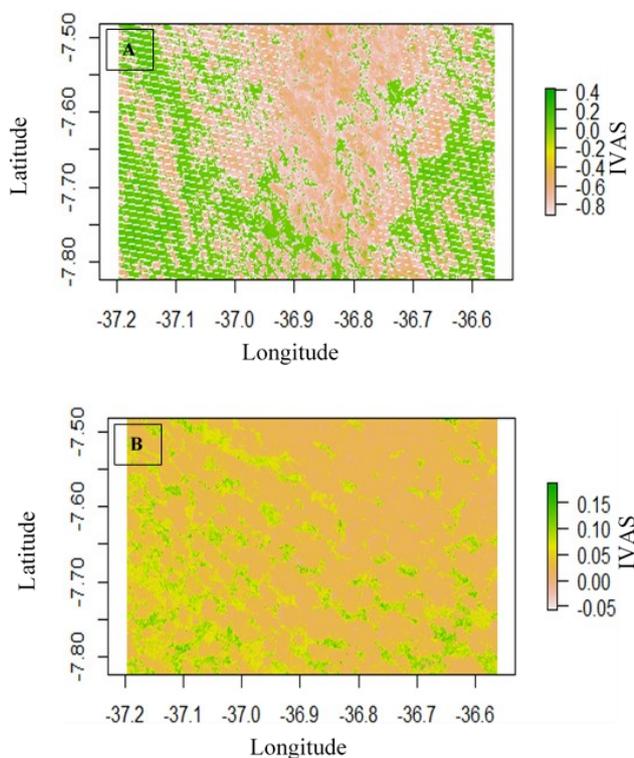
Segundo Memon et al. (2015) em um estudo de caso de inundação no Paquistão em 2012, os autores constataram que a vegetação tem reflectância

relativamente mais alta na banda do infravermelho próximo, e os valores de IADN superestimaram significativamente a área inundada, uma vez que a região em estudo a maior parte era vegetada. Assim, o índice de água (IADN) é sensível a mudanças no teor de água líquida da vegetação e, portanto, deve ser visto não como uma substituição do IVDN, mas como uma maneira de complementá-lo (SERRANO; SHAHIDIAN; MARQUES, 2019).

Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (IVAS)

Nas Figuras 6A e 6B, notam-se produtos de IVAS para a bacia do rio Sucuru no período seco no ano de 2016.

Figuras 6A e 6B. Produtos de IVAS para o período seco do ano de 2016



Fonte: Autores (2019)

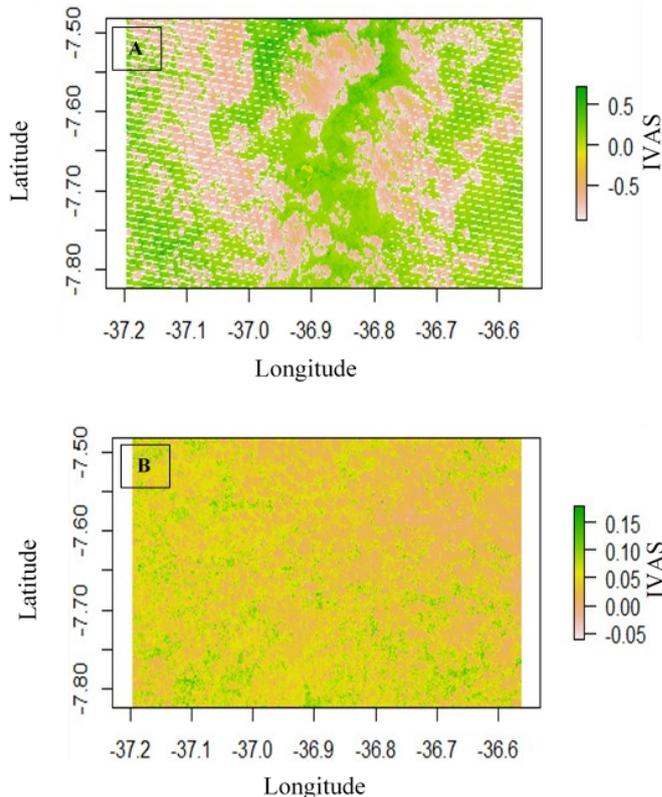
Para a época seca os valores de IVAS máximo e mínimo é de 0,4 e -0,8 (Figura 6A), enquanto que na Figura 6B é de 0,15 e -0,05, sendo caracterizados como presença de vegetação mais densa e solo exposto, corpos d'água ou área construída na área em estudo, respectivamente para ambas as Figuras. Os resultados encontrados na referida pesquisa estão de acordo com Rêgo et al. (2012) quando aponta que o IVAS expressa valores que podem variar de $-1,0 \leq IVAS \leq 1,0$, sendo que valores positivos correspondem a vegetação mais densa, no entanto valores negativos representam solo exposto, corpos d'água ou área construída.

Para Boratto e Gomide (2013) utilizando o *software* QGIS para avaliar a cobertura vegetal na região Norte de Minas Gerais, os autores encontraram valores de IVAS

variando entre $-0,03 \leq IVAS \leq 0,55$ para a época seca em estudo, estando em consonância com os resultados obtidos neste trabalho que são de -0,05 e 0,4. Mediante os autores Alves et al. (2014), Alves e Azevedo (2015) e Silva e Galvínio (2012) ambos comparando alguns (IV's) com o IVAS, durante o período chuvoso e seco para a região semiárida, foram observados que durante o período seco obtiveram uma resposta melhor quando se comparados aos outros IV's. Consoante Ribeiro et al. (2016) o SR tem propiciado resultados promissores quanto aos estudos relacionados à temática ambiental, sendo que, o uso de técnicas de SR no estudo dos recursos ambientais, torna-se satisfatório a partir dos IV's, principalmente o IVAS, uma vez que estes estudos podem ser aplicados na análise da dinâmica ambiental, em diversas regiões e biomas, como também em zonas urbanas e rurais.

Conforme Silva e Galvínio (2012) o IVAS é um índice que tem por finalidade amenizar os efeitos de *background* (interferência/ruído da refletividade). Para Ponzoni e Shimabukuro (2010) o IVAS constata que o brilho do solo, principalmente em tons escuros é aumentado os valores dos índices de vegetação, especialmente para níveis de cobertura vegetal com aproximadamente 50% de cobertura verde. Nas Figuras 7A e 7B, notam-se produtos de IVAS para a bacia do rio Sucuru no período úmido no ano de 2016.

Figuras 7A e 7B. Produtos de IVAS para o período úmido do ano de 2016



Fonte: Autores (2019)

No período úmido os valores de IVAS máximo e mínimo é de 0,5 e -0,5 (Figura 7A), enquanto na Figura 7B é de 0,15 e -0,05, sendo caracterizados como presença de vegetação mais densa e solo exposto, corpos d'água ou

área construída na área em estudo, respectivamente para ambas as Figuras.

Em pesquisa realizada por Gameiro et al. (2016) o IVAS apresentou valor de 0,7 para o período úmido, o qual consiste em um aumento da área verde, portanto, apresentando vegetação densa e intermediária. Enquanto Boratto e Gomide (2013) encontraram valores de IVAS para a época úmida, variando de $-0,60 \leq IVAS \leq 0,86$, em estudo realizado na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais.

Para Ribeiro, Silva e Silva (2016) analisando as potencialidades do IVAS, adotando $L=1$, encontraram valores para o período úmido variando de um valor máximo de 0,80 a um valor mínimo de - 0,29. O mesmo comportamento foram encontrados por Alves et al. (2014) com $L=1$, o IVAS variou entre $0 \leq IVAS \leq 0,6$ para o período chuvoso.

Segundo Vani e Mandla (2017) o IVAS é um complemento ao IVDN, onde a vegetação e a cobertura florestal estão presentes na terra que são cobertos por vegetação com um *pixel* de até 15%. Mediante Ribeiro et al. (2016) o uso do IVAS, no bioma Caatinga, é mais apropriado que os demais índices de vegetação uma vez que o mesmo corrige os efeitos do solo na resposta espectral.

Gameiro et al. (2016) apontam que os dados de IVAS e IVDN se assemelham, diferenciando-se o fato de o IVAS possuir quantitativos mais significativos em relação as médias, além de contribuir para o destaque das características de regiões com presença ou ausência de vegetação, além dos corpos d'água. Devido à similaridade entre os resultados desses parâmetros, com o acréscimo do valor das classes no índice IVAS, os autores acrescentam que considerando o fato desse índice eliminar os efeitos do solo, isso contribui para que haja uma visão mais realista da situação da área analisada.

Sob um adendo, Alencar (2008), observando a degradação ambiental, constatou que, na bacia do rio Sucuru, principal contribuinte do açude de Sumé-PB, predominam os níveis de degradação moderado grave, grave e muito grave de degradação das terras, como também um grau acentuado de antropismo com desmatamento da cobertura vegetal de grandes áreas, e as águas subterrâneas da bacia do rio Sucuru apresentam restrição ao uso agrícola no tocante ao problema de salinidade.

Conclusão

Portanto, os diferentes índices de vegetação (IV's) permitiram avaliar que a cobertura vegetal da bacia em estudo, para os períodos seco e chuvoso, apresentaram, respectivamente, vegetação seca e/ou solo exposto como também presença de vegetação viva e corpos d'água, fato comum para essas situações climáticas específicas para o semiárido brasileiro. Vale ressaltar que o sensoriamento remoto e os (IV's) são ferramentas poderosas para estudos ambientais, compreensão de processos hidrológicos, bem como gerir e planejar recursos naturais em bacias hidrográficas, pois possibilitam informações variadas e

confecção de mapas a respeito da cobertura vegetal, auxiliando assim nas tomadas de decisões.

Ademais, outros índices de vegetações como o índice de área foliar e o índice de vegetação melhorado podem ser analisados para um estudo mais aprofundado da área, como também testar recortes de áreas de interesse (limite municipal e limites de micro-bacias).

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Geotecnologias (LaGeo) do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela contribuição na elaboração dos mapas e levantamento dos dados.

Referências

- ALENCAR, M. L. S. **Os sistemas hídricos, o bioma Caatinga e o social na bacia do rio Sucuru: riscos e vulnerabilidades**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.
- ALMEIDA, A. Q.; SILVA, G. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; RIBEIRO, C. A. D. Enhanced Vegetation Index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da reserva biológica de Sooretama, ES. **Revista Árvore**, v.32, n.6, p.1099-1107, 2008.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; SANTOS, C. A. C.; SANTOS, F. A. C. Comportamento sazonal do albedo e dos índices de vegetação na bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, p.1015-1027, 2014.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. Análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, estado da Paraíba, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia [online]**, 35, n.3, p. 530-553, 2015.
- AMARAL, M. R. S.; CESARIO, C. V. **Apostila do minicurso: Software R**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2009. Disponível em: <https://www.ime.uerj.br/~mrubens/slae/minicursosoftwareR.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2019.
- ANDRADE, C. B.; OLIVEIRA, L. M. M.; OMENA, J. A. M.; VILLAR, A. C.; GUSMÃO, L.; ROGRIGUES, F. B. Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.4, n.1, p. 97-107 2018.
- BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; 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, 2019.
- BESALATPOUR, A. A.; AYOUBI, S.; HAJABBASI, M. A.; Mosaddeghi, M. R.; Schulin, R. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. **Catena**, v.111, p.72-79, 2013.
- BHANDARI, A. K.; KUMAR, A.; SINGH, G. K. Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (IVDN): A Case Study of Jabalpur City. **Procedia Technology**, v.6, 2012.

- BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação IVDN, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Nº 16, 2013, Foz do Iguaçu-PR. Anais do SBSR 2013, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2013. p. 7345-7352.
- BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS-Brasil. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2015, João Pessoa-PB. Anais do SBSR 2015, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2015. p.3693-3699.
- COSTA FILHO, J. F. da; FRANCISCO, P. R. M.; ANDRADE, M. V. de; SILVA L. da; DANTAS, R. L. Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. **In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 15, 2007, Aracaju. Anais. Aracaju, 2007. CD Rom.
- CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, IVDN, SAVI e EVI, na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2011, Curitiba-PR, Anais do SBSR 2011, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2011. p.1357-1364.
- CUNHA, J. E. B. L. **Monitoramento ambiental por sensoriamento remoto: avaliação, automação e aplicação ao bioma Caatinga utilizando séries históricas Landsat**. 2018. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.
- FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A.; SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação da caatinga no município de Petrolina- PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.4, p.904-922, 2012.
- FERREIRA JUNIOR, J. J.; DANTAS, M. J. F. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. **Revista Tecnológica**, v. 39, n. 2, p. 1-18, 2018.
- FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA.
- GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; Duarte, C. R.; Souto, M. V. S; Zimback, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (IVDN, SAVI e IAF) na sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Revista Terrae**, v.13, n.13, p.15-22, 2016.
- GANDHI, M. G.; PARTHIBAN, S.; THUMMALU, N.; CHRISTY, A. NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District. **Revista Procedia Computer Science**, v.57, p.1199–1210, 2015.
- GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration. **Environmental Modelling & Software**, v.78, p.216–224, 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. **Histórico e população estimada do Município-2516300**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: jun. 2019.
- KARABURUN, A. Estimation of C factor for soil erosion modeling using IVDN in Buyukcekmece watershed. **Ozean journal of applied sciences**, v. 3, n. 1, p. 77-85, 2010.
- KARNIELI, A.; GABAI, A.; ICHOKU, C.; ZAADY, E.; SHACHAK, M. Temporal dynamics of soil and vegetation responses in a semi-arid environment. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.19, p.4073-4087, 2002.
- LI BINBIN, L.; ZHANBIN, L.; TAO, Y.; PENG, L. Research on fractal dimension of vegetation cover based on normalized difference vegetation index in watershed scale. **Journal of Agricultural Engineering**, v.30, n.15, p.239–247, 2014.
- MAGALHÃES, I. A. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, A. R. Análise comparativa entre técnicas de sensoriamento remoto para mensuração da vegetação urbana no município de Alegre, ES. **Revista Cerrados**, v.15, n.1, p.156-177, 2017.
- MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido**. 2005. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS.
- MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.
- MEMON, A.A.; MUHAMMAD, S.; RAHMAN, S.; HAQ, M. Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v.18, n.1, p.99-106, 2015.
- PEREIRA, L. E., AMORIM, G., GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.41, n.2, p.654-662, 2018.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. Parêntese, São José dos Campos, p.144, 2010.
- PRIESS, J. A., HAUCK, J. Integrative scenario development. **Ecology and Society**, v. 19, n.1, p. 1-14, 2014.
- RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação IVDN e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.1217–1229, 2012.
- RIBEIRO, G. do N. **Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras no município de Sumé-PB**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.
- RIBEIRO, G. A, SILVA, J. N. C; SILVA, J. B. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.6, p.2054-2074, 2016.
- RISSMAN, A. R., CARPENTER, S. R. **Progress on nonpoint pollution: barriers and opportunities**, v. 144, n. 3, p. 35-47, 2015.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts. **In: EarthResourcesTechnologySatellite-1 Symposium**, 3, 1973, Washington, D. C. Proceeding. Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center,1973, v. 1, p. 309-317, 1973.
- SÁNCHEZ-TAPIA, A. **Introdução aos mapas em R**. 2016. Disponível em: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/176768_ec7fb4801e3a4772886d61e65885fbdd.html. Acesso em: 30 jun. 2020.
- SANTOS, F. A. dos; SILANS, A. M. B. P. de; PORTO, R. de Q.; ALMEIDA, C. das N. Estimativa e análise do volume dos pequenos açudes através de imagem de satélite e levantamento de campo na bacia hidrográfica do açude Sumé. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2009, Campo Grande-MS, Anais do XVIII SBRH, 2009, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2009. p.1-14.
- SENA, J. P. DE O.; LUCENA, D. B.; RIBEIRO, G. N. Eventos extremos de precipitação no sertão paraibano: variação espaço-temporal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.4, p.748–755, 2017.

SERRANO, J.; SHAHIDIAN, S.; MARQUES, da S, J. 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**, v.11, n.1, p 62, 2019.

SILVA, F. H. B. **Caracterização dos Padrões de Drenagem a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto para Uso em Levantamentos de reconhecimento (Alta Intensidade) de Solos**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

SILVA, J. F.; DINIZ, J.; BORTOLUZZI, M. A. **Minicurso de Estatística Básica: Introdução ao software R**. 2009. Disponível em: http://www.uft.edu.br/engambiental/prof/catalunha/arquivos/r/r_bruno.pdf. Acesso em: 24 jul. 2019.

SILVA, A. R.; TOMASIELLO, D. B.; PRADO, B. R.; VIEIRA, M. A.; BARBARISI, B. F.; ORTIZ M. J. Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite Geoeye-1. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2011, Curitiba-PB, Anais do SBSR 2011, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2011. p.1576-1583.

SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. Análise Comparativa da Variação nos Índices IVDN e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p.1446-1456, 2012.

TRENTIN, C. B.; FONSECA, E. L. Monitoramento da fenologia da vegetação campestre do bioma Pampa e sua relação com a temperatura média do ar. **In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2011, Curitiba-PB, Anais do XV SBSR 2011, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2011. p. 1628-1635.

USGS. **United States Geological Survey**, 2016. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/>> Acesso em: 24 nov. 2016.

VANI, V.; MANDLA, V. R. Comparative study of ndvi and savi vegetation indices in anantapur district semi-arid áreas. **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**, v.8, p.559-566, 2017.

VIÑA, A.; GITELSON, A. A.; ROBERTSON, A. L.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, v.115, n.12, p.3468–3478, 2011.

YANG, X.; TANG, J.; MUSTARD, J. F. Beyond leaf color: Comparing camera-based phenological metrics with leaf biochemical, biophysical, and spectral properties throughout the growing season of a temperate deciduous forest. **J. Geophys. Res. Biogeosci.**, v.119, n.3, p.181–191, 2014.

ZHANG, H. W.; CHEN, H. L. The Application of Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) by Leaf Area Index in the Retrieval of Regional Drought Monitoring. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, n. 7, p. 141, 2015.