



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE

Antônio Soares Barros<sup>1</sup>, Lucas Menezes de Farias<sup>2</sup>, Jefferson Luiz Alves Marinho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Especialista em Geografia e Meio Ambiente, Universidade Regional do Cariri – URCA, Avenida Leão Sampaio, Bairro Triângulo, nº 107, CEP 63.040-005 – Juazeiro do Norte, Ceará, e-mail: antoniosb65@yahoo.com. <sup>2</sup>Acadêmico em Tecnologia da Construção Civil e bolsista de Iniciação Científica, Universidade Regional do Cariri – URCA, Avenida Leão Sampaio, Bairro Triângulo, nº 107, CEP 63.040-005, Juazeiro do Norte, Ceará, e-mail: lucasmenezes547@gmail.com (autor correspondente). <sup>3</sup>Professor Ms. do Departamento da Construção Civil, Universidade Regional do Cariri – URCA, Rua Maurício Almeida, nº 17, Bairro Zacarias Gonçalves, Crato, Ceará, e-mail: jeff.marinho@urca.br.

Artigo recebido em 06/07/2020 e aceito em 13/12/2020

### RESUMO

Dados de sensoriamento remoto são fundamentais em pesquisas voltadas a estudos do comportamento da vegetação, assim como no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais. Nesse contexto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido amplamente utilizado para o monitoramento e avaliação da vegetação, pois é um dos primeiros produtos analíticos de sensoriamento remoto usado para simplificar as complexidades das imagens multiespectrais. Dessa maneira, o monitoramento preciso e oportuno das características da superfície da Terra fornece a base para uma melhor compreensão das interações e relações entre os fenômenos humanos e naturais visando um melhor uso e gerenciamento de recursos. Nesse sentido, o objetivo desse artigo é realizar a geração de um mapa temático da situação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte-CE a partir do (NDVI). Para a realização deste trabalho foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG QGIS), versão 2.18. O NDVI foi calculado a partir de imagens de satélites obtidas de forma gratuita no site Earth Explorer. Destaca-se como resultados que o NDVI máximo foi 0,60901. Esse valor próximo a 1 (um) indica uma boa quantidade de cobertura vegetal densa. Dessa forma, a aplicação do NDVI foi relevante para identificar como se encontra a atual situação do município em relação à sua vegetação, pois esse índice pode auxiliar nas tomadas de decisões por parte da gestão pública no planejamento ambiental, uma vez que funciona como indicador de áreas verdes. Portanto, essa técnica pode melhorar a detecção de alterações na vegetação em estudos futuros.

Palavras-chaves: Índice de Vegetação, Sensoriamento Remoto, Cobertura Vegetal.

## Application of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Characterization of the Vegetative Cover of Juazeiro Do Norte – CE

### ABSTRACT

Remote sensing data are fundamental in research focused on studies of vegetation behavior, as well as in the monitoring of meteorological and environmental phenomena. In this context, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has been widely used for monitoring and evaluating vegetation, as it is one of the first analytical products of remote sensing used to simplify the complexities of multispectral images. Thus, accurate and timely monitoring of earth's surface characteristics provides the basis for a better understanding of the interactions and relationships between human and natural phenomena aiming at better use and resource management. In this sense, the objective of this article is to generate a thematic map of the situation of the vegetation cover of the municipality of Juazeiro do Norte-CE from the (NDVI). The Geographic Information System (SIG QGIS), version 2.18, was used to carry out this work. NDVI was calculated from satellite images obtained free of charge on the Earth Explorer website. It is noteworthy as results that the maximum NDVI was 0.60901. This value close to 1 (one) indicates a good amount of dense vegetation cover. Thus, the application of NDVI was relevant to identify how the current situation of the municipality is found in relation to its vegetation, because this index can help in decision-making by public management in environmental planning, since it acts as an indicator of green areas. Therefore, this technique may improve the detection of changes in vegetation in future studies.

Keywords: Vegetation Index, Remote sensing, Vegetable Cover.

## Introdução

Em países de grande extensão como o Brasil, a observação da Terra através de sistemas de satélite baseados em scanners multiespectrais de média resolução é uma das formas mais eficientes e econômicas de obter informações relevantes sobre os recursos naturais terrestres e as condições da vegetação (Mallmann, Prado, & Pereira Filho, 2015).

Francisco et al. (2020) afirmam que devido o avanço tecnológico na obtenção de dados da superfície terrestre por sensores remotos, as imagens multiespectrais passam a ser a principal fonte de dados, promovendo a redução da frequência de trabalhos de campo, a coleta de dados em locais de difícil acesso e a obtenção de dados com resoluções espaciais, espectrais e radiométricas cada vez mais apuradas.

Nesse sentido, as imagens multiespectrais detectadas remotamente contêm uma combinação de bandas que cria uma imagem composta a ser usada para interpretação e análise. Com imagens multiespectrais, as bandas individuais no composto da banda podem ser transformadas para que certos recursos e padrões se destaquem melhor. As transformações de banda de imagem tornaram-se uma prática comum para gerar novas imagens de duas ou mais bandas de imagem para extração de informações. As novas imagens geradas dessa maneira aprimoram as representações dos objetos no solo, como a vegetação. Existem mais de cem índices de vegetação derivados de imagens multiespectrais (Xue & Su, 2017).

Nesse contexto, na última década, o conhecimento acerca dos índices de vegetação, sobretudo, o NDVI, tem se destacado de forma significativa, em virtude de ser um dos mais relevantes indicadores para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Uma das justificativas dessa ascensão no meio científico é que a utilização desse índice permite a monitoração de mudanças temporais de determinadas atividades, além de analisar o estágio de crescimento da vegetação juntamente com as mudanças na cobertura do solo causadas por atividades antrópicas, assim como seu desenvolvimento.

Os índices de vegetação têm como objetivo enfatizar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e outros alvos da superfície terrestre (Silva et al., 2019). Xue e Su (2017) defendem que esses índices são algoritmos simples e eficazes para avaliar o vigor e a dinâmica da vegetação terrestre. Os autores supracitados ressaltam que esses índices apresentam

particularidades quanto à sua sensibilidade em relação aos alvos, uma vez que essa relação é influenciada por fatores inerentes ao alvo.

Rokni e Musa (2019) afirmam que os índices de vegetação foram desenvolvidos para caracterizar e extrair a cobertura vegetal da Terra do espaço usando imagens de satélite. Para a detecção de alterações na vegetação, as imagens temporais são geralmente analisadas independentemente ou a diferenciação do índice de vegetação é implementada.

Corroborando com esse entendimento, Leite, Santos e Santos (2017) declaram que os índices de vegetação são utilizados como ferramentas apropriadas no gerenciamento e monitoramento da vegetação, uma vez que podem detectar alterações na cobertura vegetal com rapidez e baixo custo operacional.

Em meio a esse contexto, Dagnachew et al. (2020) admitem que o NDVI tem sido o índice mais utilizado na dinâmica da vegetação. Nessa conjuntura, o NDVI é utilizado principalmente em estudos de caráter ambiental, que nos permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada região (Albuquerque et al., 2019).

Janssen et al. (2018) argumentam que o NDVI têm sido amplamente aplicado para o mapeamento da cobertura vegetal porque é altamente sensível à vegetação esparsa e à vegetação densa. Há uma variedade de índices de vegetação e cada um tem suas forças e limitações (Loranty et al., 2018; Xue & Su, 2017). Todavia, a confiabilidade do NDVI determina diretamente a robustez dos modelos relacionados ao seu índice (Butt, 2018).

Para Kalisa et al. (2019), o NDVI, derivado de dados de satélite, é um indicador importante que pode ser usado para analisar a dinâmica da vegetação verde e revelar a resposta da dinâmica da vegetação à variabilidade climática. Destarte, o NDVI é o índice mais utilizado para monitorar a dinâmica espaço-temporal da vegetação verde e estudos ecoclimatológicos (Chu et al., 2019; Kalisa et al., 2019; Detsch et al., 2016; Zewdie et al., 2017).

O cálculo dos valores de NDVI requer o processamento de imagens derivadas de sensores orbitais e, dependendo da abrangência espacial e temporal da análise, processadores robustos e espaço de armazenamento adequado para um grande volume de dados (Aires et al., 2020).

Prever a medida NDVI é relevante pelo menos por duas razões. Primeiro, é uma visão do rendimento futuro no que diz respeito à condição

da vegetação natural, através das imagens geradas por sensores remotos, normalmente por satélites, drones ou sensores terrestres. Segundo, se o verdadeiro valor do NDVI estiver bem abaixo do valor esperado, existe uma anomalia que deve ser atendida.

No entendimento de Leite et al. (2017), os avanços tecnológicos relacionados com o uso de imagens de satélites permitem o monitoramento da superfície terrestre, como por exemplo, de ações antrópicas e modificações ambientais. Esta ciência de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno por meio de dados obtidos por aparelhos distantes do alvo, são conhecidas como sensoriamento remoto, e tornam-se atrativas, pois reduzem custos e apresentam maior rapidez na obtenção de informação.

Assim, o uso de geotecnologias é indispensável no tratamento e obtenção de imagens da superfície terrestre adquiridas por sensores orbitais, por meio das interações da radiação eletromagnética com alvos ali encontrados (Santos et al., 2015; Marques et al., 2017; Takatori et al., 2017).

Em função disso, o Sensoriamento Remoto passou a ser utilizado em grande escala durante as últimas décadas, pois seus dados são primordiais em pesquisas voltadas a estudos do comportamento da vegetação, assim como no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais (Andrade et al., 2018).

Dessa maneira, a tecnologia de sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite oferece oportunidades importantes para detectar e monitorar mudanças ambientais em escala local, regional ou global (Ochtyra et al., 2020).

A partir do processamento visual e digital de imagens do sensoriamento remoto, é possível extrair informações biofísicas da vegetação, podendo ser aplicadas a estudos sobre variações e dinâmicas dos ecossistemas florestais (Mallmann et al., 2015).

Nesse tocante, a aplicação de técnicas de sensoriamento orbital tornou-se imperativa para o monitoramento adequado das mudanças na cobertura vegetal (Aires et al., 2020). Esse monitoramento fornece informações em larga escala e permite que mudanças sejam identificadas através da análise de componentes meteorológicos, como índices de vegetação (Fathizad et al., 2017).

Seguindo tal perspectiva conceitual, a vegetação é considerada um dos indicadores mais expressivos em estudos de qualidade ambiental, estando diretamente relacionada a outros indicadores igualmente importantes, como os

elementos climáticos, hídricos, geomorfológicos, econômicos e também aos processos de produção do espaço em sociedade (Souza e Amorim, 2016).

Para Wang et al. (2020), o monitoramento das mudanças dinâmicas da vegetação desempenha um papel importante na compreensão das mudanças ecológicas.

Como a vegetação é um dos principais elementos dos ecossistemas terrestres e um indicador de diferentes processos biofísicos, é importante ter ferramentas adequadas para monitorá-la. Os índices espectrais de vegetação têm sido uma das maneiras mais eficazes de avaliar as propriedades de cobertura vegetal em grandes escalas, e o NDVI tem sido um dos mais amplamente utilizados (Flores et al., 2020).

Hu e Xia (2018) declaram que os fatores que influenciam as mudanças da vegetação são de grande preocupação. Não é difícil imaginar que atividades humanas, incluindo atividades econômicas e sociais, possam ter impactos diretos ou indiretos na vegetação em diferentes estágios do desenvolvimento econômico.

Desse modo, a cobertura vegetal se apresenta como um fator importante na manutenção dos recursos naturais renováveis (Albuquerque et al., 2019). Logo, o estudo da vegetação é uma das principais aplicações do sensoriamento remoto, devido à relevância dos recursos vegetais e, também, pela sensibilidade que os sensores possuem para captar informações biofísicas das plantas.

Além disso, a gestão ambiental compreende-se como a gerência das relações entre o ambiente e os seres humanos (Costa et al., 2017). A relação entre pessoas e ambiente é fundamental para o desenvolvimento sustentável, principalmente no que concerne ao ambiente urbano, haja vista que a população aumenta em diferentes escalas concomitantemente a evolução urbana. Assim, a gestão ambiental é essencial para minimizar os impactos gerados pelos seres humanos (Eduvirgem et al., 2018).

Dito isso, este trabalho justifica-se, primeiramente, pelo fato das constantes mudanças ambientais e seus impactos nos sistemas naturais e nas sociedades humanas serem tópicos de pesquisa em uma ampla gama de campos científicos nos últimos anos. Nesse âmbito, o tema a ser estudado é relevante na detecção de alterações na vegetação do município de Juazeiro do Norte, além de monitorar a expansão urbana das atividades que degradam áreas com vegetação. Ademais, o problema de pesquisa a ser analisado interfere também em padrões identificados na vegetação local que podem ser úteis para determinar sinais de

alerta precoce de mudanças no seu crescimento nas áreas territoriais, com base em informações de sensoriamento remoto, pois o mesmo oferece uma maneira eficiente e discreta de monitorar as características da vegetação.

A hipótese levantada nesta pesquisa é que através do resultado do NDVI para toda a extensão territorial da cidade de Juazeiro do Norte, tanto a

sede municipal quanto seus Distritos e povoados, se encontram em um processo de forte urbanização.

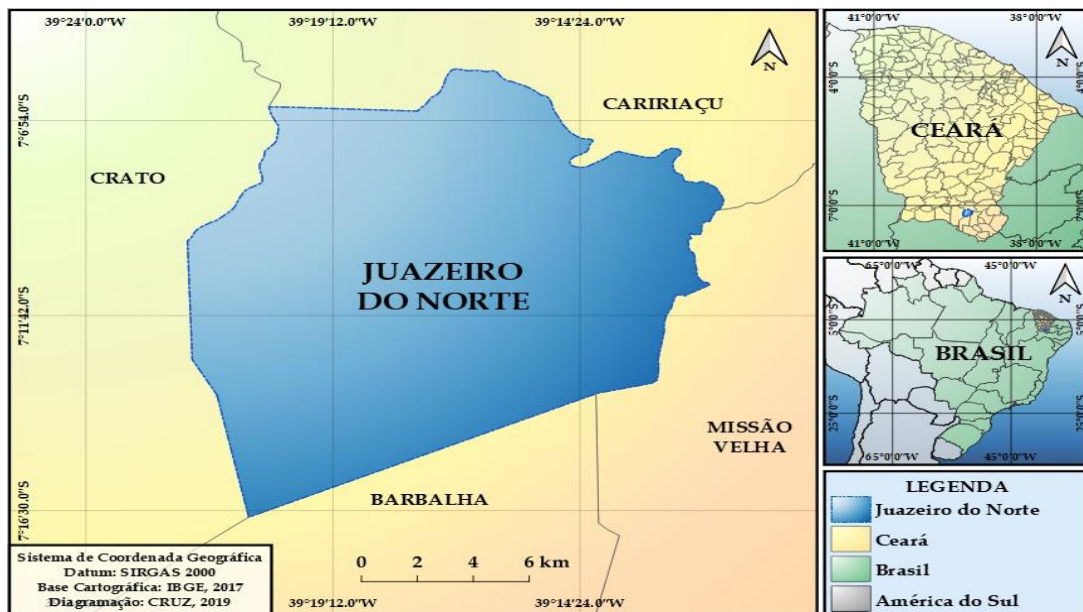
Baseando-se nesses aspectos, o principal objetivo deste trabalho é realizar a geração de um mapa temático da situação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte-CE, a partir do NDVI.

## Material e métodos

### Área de estudo

O município de Juazeiro do Norte-CE, situado no Sul do estado do Ceará, distante 491 km da capital Fortaleza e pertencente à Região Metropolitana do Cariri (RMC) tem uma

ao Sul do estado do Ceará, precisamente entre 7° 12' 47" de latitude Sul (S) e 39° 18' 55" de longitude Oeste (W), e limita-se ao Norte com o município de Caririáçu, ao Sul com o município de



população estimada em 274.207 habitantes, distribuídos em uma área de 248,832 Km<sup>2</sup>, no qual, aproximadamente 96% residem em zona urbana (IBGE, 2019). Está localizado na região Nordeste Figura 1. Área detalhada da região de estudo. Fonte: Autores (2020)

Crato, Barbalha e Missão Velha, ao leste com o município de Missão velha e Caririáçu e ao Oeste com o município de Crato, conforme a Figura 1 abaixo.

### Procedimentos metodológicos

Para o cálculo do NDVI utilizou-se imagens do satélite *Landsat-8*, órbita 217/070, disponibilizadas de forma gratuita no site *United States Geological Survey* (USGS). Rokni e Musa (2019) afirmam que as imagens do *Landsat* são uma das fontes de dados mais amplamente utilizadas no sensoriamento remoto.

Os processos metodológicos foram realizados no (SIG QGIS), versão 2.18, utilizando as imagens selecionadas, por serem as mais atuais e com as características desejadas. Para o cálculo do NDVI, as imagens escolhidas obrigatoriamente foram as bandas 4R (4 Red) e 5NIR (5 Ned Infrared NIR), que trabalham com comprimento de ondas visíveis na cor vermelha e comprimento de ondas

no infravermelho próximo. Utilizou-se também o arquivo vetorial disponibilizado no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do limite do município de Juazeiro do Norte, na escala de 1:15000.

A primeira etapa consistiu em realizar um recorte no arquivo vetorial de limites municipais. Esse recorte foi extraído do *Shapefile* do estado do Ceará, que também está disponível no site do IBGE. O recorte foi realizado no QGIS utilizando a ferramenta “Selecionar feição”. A seguinte etapa foi a importação no QGIS das imagens baixadas (Bandas B5 e Banda B4) e o cálculo de reflectância através da Calculadora *Raster*, utilizando

inicialmente a fórmula para correção atmosférica descrita abaixo:

$$P\lambda' = \frac{((M_p \times Q_{cal}) + A_p)}{\text{Seno (SE)}} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$P\lambda'$  = Reflectância planetária, com correção do ângulo solar (elevação do sol)

$M_p$  = Fator de Multiplicação (0,0002)

$Q_{cal}$  = Nível digital (ND) do pixel da banda, (ND da Banda 4 = 30633 e Banda 5 = 35756)

$A_p$  = Fator aditivo de redimensionamento (-0,1)

Seno (SE) = Seno da elevação solar (53,6013)

Utilizando os dados do nível digital (ND) do pixel das bandas utilizadas tem-se os seguintes dados para correção atmosférica: Correção atmosférica (Banda 4) – 0,63767 e Correção atmosférica (Banda 5) – 0,76422.

Com a devida correção atmosférica foi possível calcular o NDVI através da Calculadora *Raster* do QGIS, através da fórmula apresentada a

Vale destacar que a interpretação da magnitude do coeficiente (K) varia entre valores menores que 0 (zero), cuja força de concordância é

**Resultados e discussão**

Os valores obtidos através do cálculo do NDVI estão divididos e classificados conforme o Quadro 1, onde uma grande quantidade de

| Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) | Caracterização                |
|---|-------------------------------|
| -1,0  | Corpos d'água, Área edificada |
| -0,5  | Solo exposto                  |
| 0,0   | Vegetação arbustiva aberta    |
| 0,5   | Vegetação arbustiva fechada   |
| 1,0   | Vegetação arbórea arbustiva   |

Quadro 1. Classificação das classes de NDVI em Juazeiro do Norte/CE. Fonte: Autores (2017)

Os resultados obtidos através da classificação supervisionada com o *Semi-Automatic Classification Plugim*, disponível no QGIS, possibilitaram realizar a quantificação das classes do NDVI, aumentando a confiabilidade das informações avaliada pelo índice (K), calculado a partir dos dados de referência da matriz confusa.

Ao concluir o processo, é possível observar no Quadro 2 a seguir, os resultados das

| Estatística do NDVI |        |        |        |        |         |           |            |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|------------|
| Ano                 | Média  | DP     | Min    | Max    | Curtose | Amplitude | Assimetria |
| 2017                | 0,3551 | 0,2035 | 0,0134 | 0,6090 | 5,2487  | 0,5956    | -1,0678    |

Quadro 2. Estatísticas descritivas e distribuição de frequência do NDVI. Fonte: Autores (2017)

Foram tomados todos os cuidados necessários que o profissional que trabalha com geoprocessamento deve ter em suas análises ambientais por ferramentas remotas. O mapa

seguir, onde,  $\rho_{NIR}$  e  $\rho_{RED}$  são, respectivamente, os elementos de reflectância bidirecional de superfície para as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED).

$$NDVI: \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (\text{equação 2})$$

Para validação dos dados, foi utilizado o método estatístico Kappa (K). A estatística do índice (K) é um método de validação de mapas que estatisticamente possibilita realizar uma análise de forma confrontante aos resultados estabelecidos com o objetivo de mensurar sua qualidade. O coeficiente (K), pode ser encontrado a partir da seguinte equação:

$$K: \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (\text{equação 3})$$

Em que:

K = coeficiente Kappa;

$P_o$  = exatidão geral da classificação;

$P_e = \sum i=1k P_i * P_i$ , sendo,  $P_i$  = Somatório da linha;

$P_i$  = Somatório da coluna.

insatisfatória, até valores de 0,81 a 1, em que sua força de concordância é considerada quase perfeita.

cobertura vegetal densa conotaria um valor de NDVI próximo de (+ 1):

Em seguida, de acordo com a classificação do índice (K), o resultado encontrado é considerado uma validação quase perfeita, conforme a seguinte equação:

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} = \frac{0,92 - 0,36}{1 - 0,36} = 0,87 \quad (\text{equação 4})$$

análises descritivas do NDVI da área de estudo no ano de 2017.

temático representado na Figura 2 não apresenta presença de nuvens, o que poderia influenciar bastante nos resultados. No entanto, foi aplicado a

correção atmosférica nas imagens, por isso foi realizado um tratamento nas imagens.

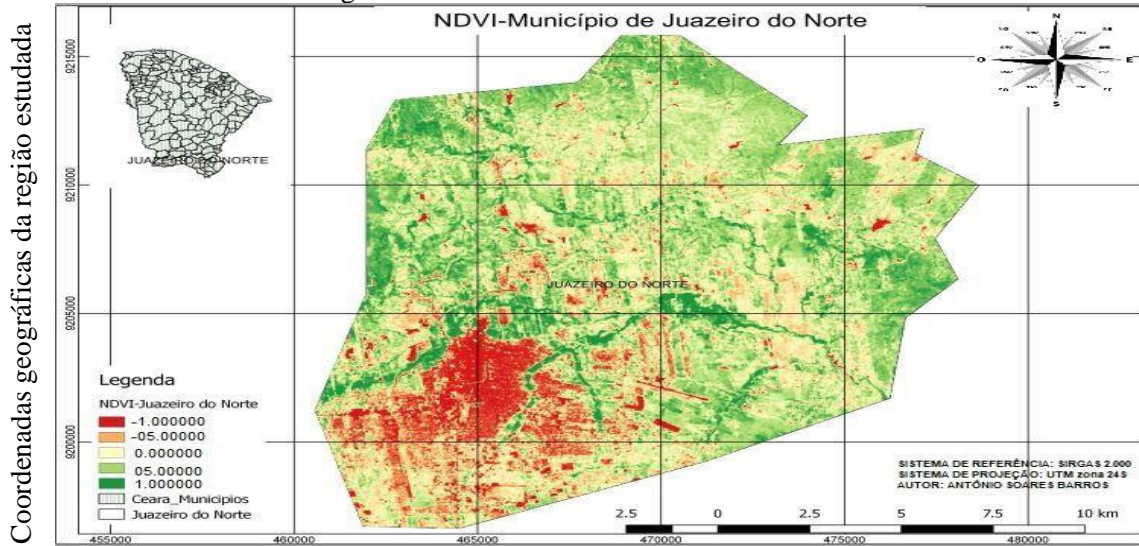


Figura 2. Mapa temático do NDVI no limite municipal de Juazeiro do Norte/CE. Fonte: Autores (2017)

Conforme amostragem extraída de área dentro do limite do município (Figura 2), há porções de cores que variam de +1 (grande quantidade de vegetação arbustiva) a -1 (áreas marcadas por presença de corpos d'água e áreas edificadas). Pode-se perceber que na porção central da imagem há uma área em cor laranja, caracterizada com o valor de -0,5. Por análise remota das áreas, estas se manifestam no espaço como áreas sem edificações e com solos expostos, sendo áreas que sofreram um processo de supressão da mata nativa ou em estágio inicial/médio de recuperação, dando lugar às atividades agropecuárias com árvores de pequeno porte ou ausentes, a exemplo de pastagens para criação de bovinos ou culturas de subsistência.

Percebe-se também na Figura 2 uma boa parcela de áreas em amarelo (NDVI com valor zero). Estas áreas apresentam-se com edificações e demonstram, pela dispersão desta cor na imagem, uma aleatoriedade na ocupação espacial do solo no

território do município, fazendo frente a áreas com vegetações arbustivas e áreas utilizadas para atividades agropecuárias.

A área com maior presença de NDVI próximo de -1, encontra-se no centro da cidade e em bairros mais urbanizados, em que esse valor avança para interseção dos municípios de Crato e Barbalha, sendo que hoje é a área de expansão urbana do município de Juazeiro do Norte, como mostra na Figura 2.

Os resultados obtidos através da geração do mapa temático nesse estudo podem ser úteis também para auxiliar a identificar os impactos urbanísticos causados pela implantação de loteamentos regulares e/ou irregulares, assim como áreas ambientais degradadas, tendo em vista que a intensa expansão urbana realizada através da ocupação desordenada tem se apresentado no decorrer dos tempos, como um problema prejudicial para o meio ambiente e a sociedade.

Figura capturada do SIG QGIS utilizada para apresentar o resultado do NDVI

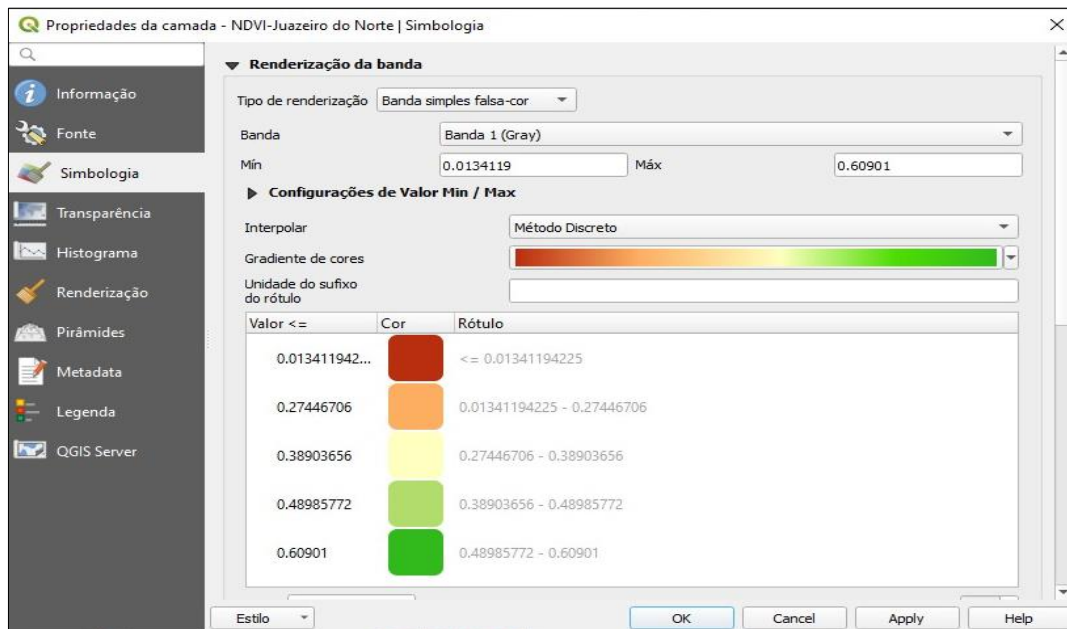


Figura 3. Resultado do NDVI. Fonte: Autores (2017)

Através da Calculadora *Raster* do SIG QGIS versão 2.18, foi possível observar conforme a Figura 3, que o valor obtido através do cálculo do NDVI para toda a extensão territorial do município de Juazeiro do Norte foi de 0,60901. Este valor indica que todo o limite municipal se encontra em processo de forte urbanização, seja através da sede municipal onde tem acontecido diversas aberturas de novos loteamentos ou dos seus Distritos Municipais e povoados, porém ainda tem uma quantidade significativa de vegetação.

Os resultados obtidos neste trabalho enfatizam que órgãos públicos e privados têm necessidade de terem em mãos ferramentas como o sensoriamento remoto, que auxilia em estudos ambientais de forma eficaz, através dos elementos que constituem o uso e ocupação do solo em determinada área. Nesse âmbito, Silva et al. (2019) afirmam que o entendimento das formas de uso e ocupação do solo, com propósitos de modelagem e representando grandes áreas com bons níveis de detalhe, pode ser consideravelmente aprimorado usando ferramentas de geoprocessamento. Além de reduzir o trabalho de campo, a extração de informações em imagens digitais de média resolução, como o satélite *Landsat 8*, permite que áreas maiores sejam estudadas em menos tempo.

Markogianni e Dimitriou (2016), entrando na discussão a respeito da correção atmosférica que foi utilizada nas imagens, conforme já explanado neste trabalho, os autores reconhecem a importância de sua aplicação previamente à extração do NDVI para diferenciação de classes de uso e cobertura da terra, sobretudo em áreas de intenso brilho (reflectância). Já Francisco et al.

(2020) entendem que as operações aritméticas efetuadas entre bandas espectrais de imagens de sensoriamento remoto necessitam de correção atmosférica para eliminar os efeitos atmosféricos na resposta espectral dos alvos, pois os números digitais não apresentam escala equivalente em todas as bandas.

Ke et al. (2015) corroboram a constatação supracitada de Francisco et al. (2020), ao relatarem que, independentemente do tipo de dados de referência adotados, o uso de NDVI derivado da reflectância do topo da atmosfera aumenta sensivelmente os erros de medição, reforçando assim a necessidade da correção atmosférica antes do cálculo do NDVI.

Em meio a esse cenário, Padolf et al. (2018) afirmam que os valores do NDVI variam entre +1 (mais um) a -1 (menos um), em que valores próximos de +1 indicam uma boa quantidade de cobertura vegetal densa. Por sua vez, -1 seria o valor aproximado para a ausência da vegetação, em que representa superfícies não vegetadas. Nesse sentido, justifica-se que esse índice tenha apresentado bons resultados na geração do mapa temático da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte, uma vez que o NDVI gerado se aproximou de +1.

Silva et al. (2019) declaram que o NDVI é um índice relevante para áreas de média a alta densidade de vegetação, uma vez que é menos suscetível ao solo e aos efeitos da atmosfera. No entanto, não é adequado para áreas com baixa cobertura vegetal (Karimi et al., 2018).

Gamarra et al. (2016) realizaram um estudo acerca do uso do NDVI na análise da

Estrutura da Vegetação e Efetividade da Proteção de Unidade de Conservação e concluíram que as geotecnologias contribuem para os estudos de ecologia e conservação da biodiversidade reduzindo tempo e custos na análise ambiental.

Em seu estudo, Bagherzadeh et al. (2020) confirmaram a utilidade do índice NDVI para expressar a variabilidade da vegetação em condições climáticas semi-áridas, além das relações entre características climáticas e crescimento da vegetação para programas de reabilitação em escala de bacias hidrográficas.

Huang et al. (2020) realizaram um estudo sobre a aplicação do NDVI na era do Sensoriamento Remoto, e concluíram que seu uso facilita as aplicações de sensoriamento remoto porque se correlaciona com o status de uma ampla variedade de propriedades da vegetação, simplificando assim o complexo. Os autores ainda declaram que o sensoriamento remoto mudou a maneira como os recursos terrestres são vistos, usados e gerenciados. O mesmo se aplica à forma como o NDVI está envolvido com a saúde da vegetação, padrões e status. Não há dúvida de que o NDVI continuará sendo um índice dominante de vegetação, mas o uso efetivo do NDVI depende da qualidade dos dados multiespectrais e da interpretação dos valores do NDVI.

Os autores supracitados ainda afirmam que O NDVI é o índice mais popular usado para

### **Conclusão**

1. Este trabalho teve como objetivo principal realizar a geração de um mapa temático da situação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte-CE a partir do (NDVI).

2. A análise tecida no presente estudo exemplificou o uso de ferramentas para o processamento de imagens de satélite, sobretudo, o NDVI, pois mostrou-se bastante eficiente e preciso para a identificação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte através do mapa temático gerado, sendo este método eficiente para situações em que se avalia uma grande área.

3. O valor do NDVI para toda a extensão territorial de Juazeiro do Norte foi de 0,60901, indicando que todo o território, tanto a sede municipal como seus Distritos e povoados, se encontram em processo de forte urbanização. Assim, este índice é uma importante ferramenta de monitoramento da expansão urbana do município em determinados períodos, bem como das alterações do espaço geográfico ao longo do tempo.

4. Nesta contribuição científica, ficou evidente o potencial das geotecnologias, uma vez que o NDVI se destaca como uma ferramenta eficiente na caracterização da cobertura vegetativa,

avaliação da vegetação, mas isso não significa que seja universalmente eficaz. Caso o NDVI não possa atender às necessidades de avaliação da vegetação ou a outros fins, pode-se considerar o uso de outros índices de vegetação. Vale ressaltar que todo índice de vegetação tem efeitos atmosféricos e sensoriais e, portanto, também possui alta variabilidade e baixa repetibilidade ou comparabilidade.

Recorrendo a Mallmann et al. 2015, compreende-se em síntese, por ora, o que se notou foi que as técnicas de sensoriamento remoto auxiliam no planejamento e monitoramento da dinâmica florestal, bem como no mapeamento, identificação e quantificação das áreas degradadas, contribuindo para o planejamento e gestão de unidades de conservação, assim como para o desenvolvimento de projetos de restauração ecológica.

Diante do exposto, Ferreira Júnior e Dantas (2018) argumentam que o uso das técnicas de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e geoprocessamento, associadas às imagens *Landsat*, podem ser usadas com um alto grau de confiabilidade na determinação de índices de vegetação, sobretudo, o NDVI, em que ficou demonstrado neste estudo.

preservação e desenvolvimento sustentável da área de estudo. Além disso, o índice de vegetação aplicado nesse estudo tem a vantagem de ser simples e direto, além de produzir resultados de alta precisão, em que é útil para detecção de alterações em qualquer tipo de vegetação.

5. Os resultados deste estudo proporcionam subsídios para diagnósticos ambientais da área estudada por órgãos públicos e privados, servindo para auxiliar na tomada de decisão de políticas públicas que dizem respeito ao meio ambiente, bem como conscientizar a população sobre a necessidade de conservação dos recursos naturais. Portanto, o uso de técnicas de geoprocessamento, como ficou demonstrado nesse estudo, são indispensáveis para um melhor planejamento de atividades ambientais.

6. Como sugestão para futuros trabalhos, os pesquisadores propõem que seja realizada a geração de mapas temáticos em anos mais recentes do município de Juazeiro do Norte, a partir do NDVI. Sugere-se ainda realizar uma análise temporal dos anos anteriores com os anos atuais dos mapas a serem gerados, a fim de identificar e monitorar a detecção de alterações na vegetação



para distinguir adequadamente as áreas alteradas das áreas não alteradas. Recomenda-se também monitorar a expansão urbana das atividades que degradam áreas com vegetação. Outra sugestão seria ampliar a geração de mapas temáticos da situação da cobertura vegetal na RMC nas três

#### Agradecimentos

Ao Laboratório de Inovação e Sustentabilidade (LABIS) da Universidade Regional do Cariri (URCA), pela concessão da bolsa de Iniciação Científica ao autor correspondente e a Fundação Cearense de Apoio ao

#### Referências

- Albuquerque, A. M., Silva, S. B., Sales, M. C. L., 2019. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Degradação Ambiental da Área de Influência Direta do Açude Castanhão. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)* [online] 21. Disponível: <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.602>. Acesso: 25 jun. 2020.
- Aires, U. R. V., Silva, D. D., Moreira, M. C., Ribeiro, C. A. A. S., Ribeiro, C. B. M., 2020. The Use of the Normalized Difference Vegetation Index to Analyze the Influence of Vegetation Cover Changes on the Streamflow in the Manhuaçu River Basin, Brazil. *Water Resources Management* [online] 34. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02536-1>. Acesso: 19 jul. 2020.
- Andrade, C. B., Oliveira, L. M. M., Omena, J. A. M., Gusmão, A. C. V. L., Rodrigues, D. F. B., 2018. Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. *Revista Brasileira de Meio ambiente* [online] 4. Disponível: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2543887>. Acesso: 25 jun. 2020.
- Bagherzadeh, A., Hoseini, A. V., Totmaj, L. H., 2020. The effects of climate change on normalized difference vegetation index (NDVI) in the Northeast of Iran. *Modeling Earth Systems and Environment* [online] 6. Disponível: <https://doi.org.ez152.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s40808-020-00724-x>. Acesso: 23 jul. 2020.
- Butt, B., 2018. Environmental indicators and governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability* [online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.05.006>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Chu, H., Venevsky, S., Wu, C., Wang, M., 2019. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-

principais cidades que compõem o triângulo Crajubar, tendo em vista que tais municípios se destacam continuamente pela sua área territorial, além de seu desenvolvimento cultural, educacional, turístico, religioso e industrial.

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio e financiamento à pesquisa.

- Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Science of the Total Environment* [online] 650. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.115>. Acesso: 22 jul. 2020.
- Costa, D. A., Fridrich, G. A., Marinho, R. S. A., Pinheiro, M. P. G., Miranda e Silva, J. C., Santos, M. L. F., Souza, A. H. F. F., Crispim, M. C., 2017. Planejamento e gestão ambiental na Universidade Federal da Paraíba, Nordeste do Brasil: análise e contribuições. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* [online] 4. Disponível: <https://dx.doi.org/10.21438/rbgas.040801>. Acesso: 22 jul. 2020.
- Dagnachew, M., Kebede, A., Moges, A., Abebe, A., 2020. Effects of Climate Variability on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Gojeb River Catchment, Omo-Gibe Basin, Ethiopia. *Advances in Meteorology* [online] 2020. Disponível: <https://doi.org/10.1155/2020/8263246>. Acesso: 19 jul. 2020.
- Detsch, F., Otte, I., Appelhans, T., Hemp, A., Nauss, T., 2016. Seasonal and long-term vegetation dynamics from 1-km GIMMS-based NDVI time series at Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Remote Sensing of Environment* [online] 178. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.007>. Acesso: 22 jul. 2020.
- Eduvirgem, R. V., Pericato, A. J., Sanches, C. C., Soares, C. R., Caraminan, L. M., Santos, M. V., 2018. Análise da temperatura aparente de superfície e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Lisboa, Portugal, no verão de 2017. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* [online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.21438/rbgas.051013>. Acesso: 22 jul. 2020.
- Francisco, C. N., Ruiz, P. R. S., Almeida, C. M., Gruber, N. C., Anjos, C. S., 2020. Análise do

- impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p076-086>. Acesso: 22 jul. 2020.
- Fathizad, H., Tazeh, M., Kalantari, S., Shojaei, S., 2017. The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. *Journal of African Earth Sciences* [online] 134. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.007>. Acesso: 23 jul. 2020.
- Ferreira Junior, J. J., Dantas, M. J. F., 2018. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. *Revista Tecnológica* [online] 39. Disponível: <https://doi.org/10.5020/23180730.2018.8132>. Acesso: 23 jul. 2020.
- Flores, D. D. C., Benítez, E. A. C., Sánchez, I. F., Ávila, D. D., 2020. Variaciones espaciales y temporales en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Cuba. *Revista Ecosistemas* [online] 29. Disponível: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1885>. Acesso: 25 jul. 2020.
- Gamarra, R. M., Teixeira-Gamarra, M. C., Carrijo, M. G. G., Paranhos Filho, A. C., 2016. Uso do NDVI na Análise da Estrutura da Vegetação e Efetividade da Proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. *Revista RAEGA – O Espaço Geográfico em Análise* [online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.5380/raega.v37i0.42454>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., Shao, G., 2020. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research* [online] 31. Disponível: <https://doi.org/ez152.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11676-020-01155-1>. Acesso: 25 jul. 2020.
- Hu, M., Xia, B., 2018. A significant increase in the normalized difference vegetation index during the rapid economic development in the Pearl River Delta of China. *Land Degradation & Development* [online] 81. Disponível: <https://doi.org/ez152.periodicos.capes.gov.br/10.1002/ldr.3221>. Acesso: 27 jul. 2020.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades e estados. 2019. Disponível: <https://ibge.gov.br/>. Acesso: 25 jun. 2020.
- Janssen, T. A. J., Ametsitsi, G. K. D., Collins, M., Adu-Bredu, S., Oliveras, I., Mitchard, E. T. A., Veenendaal, E. M., 2018. Extending the baseline of tropical dry forest loss in Ghana (1984-2015) reveals drivers of major deforestation inside a protected area. *Biological Conservation* [online] 218. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.004>. Acesso: 20 jul. 2020.
- Karimi, A., Abdollahi, S., Balajadeh, H. R. K., Ostad, A. A. K., Eslamian, S., Singh, V. P., 2018. The Use of Remote Sensing Techniques in Detecting and Predicting Forest Vegetation Change Using MODIS Satellite Data, Golestan, Iran. *American Journal of Engineering and Applied Sciences* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2018.387.396>. Acesso: 23 jul. 2020.
- Kalisa, W., Igbawua, T., Henchiri, M., Ali, S., Zhang, S., Bai, Y., Zhang, J., 2019. Assessment of climate impact on vegetation dynamics over East Africa from 1982 to 2015. *Scientific Reports* [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53150-0>. Acesso: 21 jul. 2020.
- Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong H., Ryu, I., 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sensing of Environment* 164, 298-313.
- Leite, A. P., Santos, G. R., Santos, J. É. O., 2017. Análise Temporal dos Índices de Vegetação NDVI E SAVI na Estação Experimental de Itatinga Utilizando Imagens Landsat 8. *Revista Brasileira de Energias Renováveis* [online] 6. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v6i4.45830>. Acesso: 26 jun. 2020.
- Loranty, M. M., Davydov, S. P., Kropp, H., Alexander, H. D., Mack, M. C., Natali, S. M., Zimov, N. S., 2018. Vegetation Indices Do Not Capture Forest Cover Variation in Upland Siberian Larch Forests. *Remote Sensing* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs10111686>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Marques, H. O., Biudes, M. S., Pavão, V. M., Machado, N. G., Querino, C. A. S., Danelichen, V. H. M., 2017. Estimated net radiation in na Amazon–Cerrado transition forest by Landsat 5 TM. *Journal of Applied Remote Sensing* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.046020>. Acesso: 26 jul. 2020.

- Mallmann, C. L., Prado, D. A., Filho, W.P., 2015. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1454-1469.
- Markogianni, V., Dimitriou, E., 2016. Landuse and NDVI change analysis of Sperchios river basin (Greece) with different spatial resolution sensor data by Landsat/MSS/TM and OLI. *Desalination and Water Treatment* 57, 29092-29103.
- Ochtyra, A., Marcinkowska-Ochtyra, A., Raczek, E., 2020. Threshold-and trend-based vegetation change monitoring algorithm based on the inter-annual multi-temporal normalized difference moisture index series: A case study of the Tatra Mountains. *Remote Sensing of Environment* [online] 249. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112026>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Padolfi, A. S., Ramaldes, G. P., Santos, O. L., 2018. Análise de Índice de Vegetação Através de Imagens Obtidas por Vant. *Revista Científica da FAESA* 14, 145-165.
- Rokni, K., Musa, T. A., 2019. Normalized difference vegetation change index: A technique for detecting vegetation changes using Landsat imagery. *Catena* [online] 178. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.007>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Santos, F. A. C., Santos, A. C. S., Silva, B. B., Araújo, A. L., Cunha, J. E. B. L., 2015. Desempenho de Metodologias para estimativa do Saldo de Radiação a Partir de imagens Modis. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 30. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130085>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Souza, M. C. C., Amorim, M. C. C. T., 2016. Qualidade Ambiental em Áreas Verdes Públicas na Periferia de Presidente Prudente (SP): Os Exemplos dos Bairros Humberto Salvador e Morada do Sol. *Caminhos da Geografia* [online] 17. Disponível: <https://doi.org/10.14393/RCG175704>. Acesso: 30 jun. 2020.
- Silva, V. S., Salami, G., Silva, M. I. O., Silva, E. A., Junior, J. J. M., Alba, E., 2019. Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. *Geology, Ecology, and Landscapes* [online] 4. Disponível: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>. Acesso: 19 jul. 2020.
- Takatori, M. M. O., Gamarra, R. B., Faggioni, G. P., Dalmas, F. B., Paranhos Filho, A. C., 2017. Uso de Geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da Paisagem na região do Nabiquele. *Revista UNG – Geociências* 16, 87-101.
- Wang, F., Liu, X., Liu, X., Li, Y., Wang, T., 2020. Spatial and Temporal changes in the Normalized Difference Vegetation Index and its Response to Climate Change in Shaanxi Province, China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online] 508. Disponível: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/508/1/012121/meta>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Xue, J., Su, B., 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors* [online] 2017. Disponível: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>. Acesso: 19 jul. 2020.
- Zewdie, W., Csaplovics, E., Inostroza, L., 2017. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. *Applied Geography* [online] 79. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.019>. Acesso: 22 jul. 2020.