



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Análise temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Serra da Caboronga, em Ipirá-BA

Betiane Figueredo Vieira¹, Jailton de Jesus Costa², André Quintão de Almeida³

¹ Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, s/n, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49107-230, e-mail: betianefigueredo@gmail.com (autor correspondente). ² Pós-doutorado em Geografia. Pesquisador, Docente Associado da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, s/n, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49107-230, e-mail: jailton@academico.ufs.br. ³ Doutor em Agronomia (Meteorologia Agrícola). Docente da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, s/n, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49107-230, e-mail: andreqa@gmail.com.

Artigo recebido em 27/07/2023 e aceito em 25/10/2023

RESUMO

Este estudo teve por objetivo analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Serra da Caboronga, em Ipirá-BA, visando subsidiar o planejamento e a gestão ambiental da área. Para isso, foi realizada a aplicação do NDVI a partir de imagens de satélites dos anos de 2000, 2009 e 2019. Essas imagens foram levantadas do catálogo da Divisão de Geração de Imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (U.S.G.S. – *United States of Geological Survey*) e fazem parte da série de satélites LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*). Após a aquisição das imagens, foi realizado o processamento digital no software QGIS 3.4 e, por fim, para obtenção do NDVI foram realizadas álgebras de bandas das imagens de satélites na “calculadora raster”, ferramenta do QGIS. Para serem associados aos índices de NDVI, foram levantados dados pluviométricos do período correspondente. Com base nos dados, verificou-se que houve influência da precipitação na variação do NDVI ao longo do período analisado, assim como também ocorreram mudanças nos usos da terra, o que resultou em baixos valores de NDVI em algumas áreas da Serra, refletindo espaços de pastagens e áreas de solo exposto. A distribuição espacial do NDVI está relacionada à altitude do terreno, a umidade dos solos e aos diferentes usos da terra.

Palavras-chave: Cobertura Vegetal. Gestão Ambiental. Sensoriamento Remoto.

Temporal analysis of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Serra da Caboronga, in Ipirá-BA

ABSTRACT

This study aimed to analyze the spatial distribution of vegetation cover from the Vegetation Index by Normalized Difference (NDVI) in Serra da Caboronga, in Ipirá-Ba, aiming to support the planning and environmental management of the area. For this, the NDVI was applied from satellite images from the years 2000, 2009 and 2019. These images were taken from the catalog of the Division of Image Generation of the Geological Survey of the United States (U.S.G.S.) and are part of the LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) series of satellites. After acquiring the images, digital processing was carried out in the QGIS 3.4 software and, finally, band algebras of the satellite images were performed in the “raster calculator”, a QGIS tool, to obtain the NDVI. To be associated with the NDVI indices, rainfall data for the corresponding period were collected. Based on the data, it was found that there was an influence of precipitation on the NDVI variation over the analyzed period, as well as changes in land use, which reflected in low NDVI values in some areas of the Serra, reflecting on spaces of pastures and areas of exposed soil. The spatial distribution of NDVI is related to terrain altitude, soil moisture and different land uses.

Keywords: Vegetal cover. Environmental management. Remote sensing.

Introdução

Atualmente, as geotecnologias são amplamente utilizadas nas pesquisas ambientais. O Sensoriamento remoto, por exemplo, permite a obtenção de dados dos objetos terrestres sem contato físico direto. Suas aplicações vão desde o

mapeamento e monitoramento de recursos naturais à proteção de ambientes vulneráveis à exploração e degradação (Silva e Almeida, 2015).

Dentre os produtos derivados do sensoriamento remoto, destaca-se o Índice de

Vegetação por Diferença Normalizada, que permite monitorar e avaliar o vigor da vegetação natural e o desenvolvimento de culturas agrícolas, identificando mudanças e padrões da cobertura vegetal (Lima *et al.*, 2013).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN ou NDVI, em inglês), foi proposto por Rouse *et al.* (1973) e consiste em uma aplicação de processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores satelitários (Melo *et al.*, 2011). Esse índice é utilizado para diversas aplicações, dentre elas, na avaliação de mudanças do ambiente natural, permitindo fazer comparações de séries temporais da cobertura vegetal (Melo *et al.*, 2019).

Essa técnica é muito utilizada para compreender as mudanças nos usos da terra, porém não se restringe a isso, possuindo uma série de aplicações. Estudos recentes têm usado o NDVI em análises de dinâmica hidrotermal da vegetação (Deng *et al.*, 2018), aspectos fenológicos (Wu *et al.*, 2017), dinâmica do uso e cobertura da terra (Baeza e Paruelo, 2020), dentre outras abordagens (Ferreira, Silva e Almeida, 2020).

Dentre as diversas técnicas empregadas para o monitoramento e avaliação das mudanças na estrutura, fisionomia e dinâmica na cobertura florestal, no decorrer do tempo, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (Aquino e Oliveira, 2012).

O NDVI é o índice de vegetação mais utilizado no mundo, sendo assim, o mais popular dentre os demais (Ayanlade, 2017; Xue e Su, 2017; Ponzoni e Shimabukuro, 2010). Amplamente utilizado para caracterizar a biomassa de formações florestais e sua distribuição espacial e temporal (Berger *et al.*, 2019).

No que diz respeito ao *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), tem sido amplamente utilizado para o monitoramento e avaliação da vegetação, uma vez que torna possível caracterizar os seus parâmetros biofísicos, apresentando valores normalizados que variam de -1 a 1 (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

Um ponto importante para a utilização do NDVI enquanto ferramenta metodológica é, de acordo com Minatti *et al.* (2023, p.4), “a coleta e a representação de dados de forma remota, ou seja, não é necessário o contato direto com a região estudada”.

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 (Barros, Farias e Marinho, 2020).

Nesse interim, para Silva *et al.* (2019, p. 15) “os índices de vegetação têm como objetivo enfatizar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e outros alvos da superfície terrestre”.

De acordo com Jensen (1996, apud Melo *et al.*, 2011) para obter o cálculo do NDVI usa-se a seguinte equação: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$, onde: NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NIR é a reflectância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 μm); R é a reflectância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm).

Segundo Santos, Batista e Moura (2017), o NDVI utiliza regiões do vermelho e infravermelho em um processo de diferença normalizada que realça a vegetação verde (Santos, Batista e Moura, 2017).

Segundo Tran e colaboradores (2018), geralmente combinam informações do visível, infravermelho próximo, e porções de infravermelho médio do espectro eletromagnético, sendo sensíveis a variações na cor do solo (visível e infravermelho médio), composição do solo (infravermelho médio), umidade do solo e clorofila da vegetação (perto do infravermelho), que são todas as propriedades da terra e da vegetação que podem ser significativamente afetadas pelo fogo (Tran *et al.*, 2018).

Dessa forma, para obtenção do NDVI utiliza-se a banda do infravermelho próximo e a banda do vermelho. Essas duas bandas são utilizadas para o cálculo do NDVI devido as suas características. A vegetação possui uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,63 – 0,69 μm) e por uma intensa energia refletida na região do infravermelho próximo (0,76 – 0,90 μm) devido à estrutura celular das folhas (Dias, 2019). Esse comportamento oposto da refletância da vegetação na região espectral do visível e do infravermelho próximo é o princípio básico que consiste no NDVI (Sousa *et al.*, 2014).

Assim, a cor verde da vegetação sadia, em virtude da sua pigmentação, reflete mais no infravermelho próximo e menos na região do visível, o que gera altos valores para o NDVI. Já a folha seca por ter perdido a pigmentação verde, aumenta sua reflectância no visível e reduz no

infravermelho próximo, resultando em valores menores de NDVI (Sousa *et al.*, 2014).

O NDVI apresenta resultados satisfatórios, onde as cores claras correspondem aos maiores valores de NDVI, enquanto as cores escuras, aos menores (Galvêncio *et al.*, 2022).

Os valores do NDVI variam de -1 a +1. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal. Cabe destacar que, a vegetação apresenta valores positivos e os corpos hídricos, valores negativos. Isso porque a água reflete menos no infravermelho próximo do que no vermelho. Já as áreas sem vegetação (solo exposto) refletem de forma semelhante no infravermelho próximo e no vermelho, o que faz o NDVI ficar em torno de zero (Dias, 2019).

Arantes e colaboradores (2019, p. 1014), ressaltam que “os índices de vegetação são de fundamental importância para mostrar resultados mais específicos quanto à localização e a discriminação do patógeno, especialmente o NDVI_Vermelho Limítrofe”.

Santos *et al.* (2020, p. 947) afirmam que “é observado relações entre os padrões do NDVI com as temperaturas”, inclusive quando comparam os resultados de seu estudo com achados de outras pesquisas.

Lotufo e colaboradores (2020, p. 648), perceberam em seus resultados que “o NDVI apresentou maiores valores nas áreas com vegetação densa e menores valores em solo exposto, associados à vegetação seca, carbonização ou com completa ausência de vegetação”.

As diversas literaturas sobre o desempenho dos índices espectrais Landsat para a detecção de áreas queimadas sugere que não há um modelo único que supere os demais em qualquer circunstâncias espaço-temporais (Lotufo *et al.* 2020).

A área de estudo é a Serra da Caboronga, localizada no município de Ipirá-BA. Essa Serra abriga uma floresta exuberante, típica da Mata Atlântica, apresentando assim uma ambiência diferenciada de todo o município, que está inserido no bioma Caatinga. O uso e a ocupação do solo nessa Serra põem em risco o seu equilíbrio ambiental, tendo em vista que o desmatamento é uma das práticas que ocorrem para implantação de atividades agrícolas e pecuárias.

Para Simões, Lima e Mendonça (2021, p. 106), no semiárido brasileiro, onde se insere o bioma caatinga, a precipitação é um dos fatores limitantes para seu desenvolvimento socioeconômico e ambiental.

A caracterização climatológica do semiárido nordestino é representada, em série histórica, por precipitações médias inferiores a 800 mm, temperaturas médias entre 23° e 27° C, evaporação de 2.000 mm, baixos índices de umidade relativa do ar, com média anual de aproximadamente 50% (Simões, Lima e Mendonça, 2021).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Serra da Caboronga, em Ipirá-BA, visando subsidiar o planejamento e a gestão ambiental da área.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A Serra da Caboronga está localizada em Ipirá, município do Estado da Bahia (Figura 1). De acordo com a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), o município de Ipirá está situado na Mesorregião Geográfica Centro Norte Baiano e na Microrregião Geográfica de Feira de Santana. Pertence a Região Econômica do Paraguaçu e ao Território de Identidade Bacia do Jacuípe (SEI, 2014).

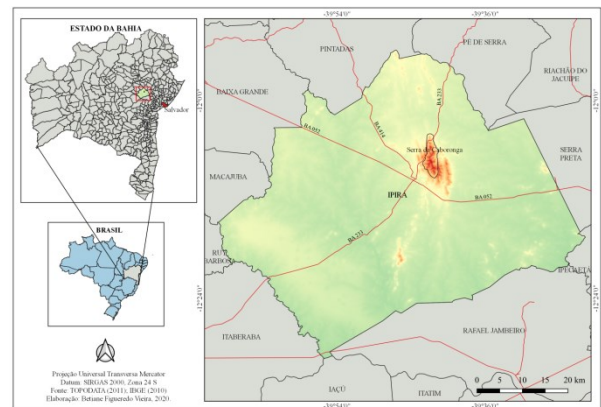


Figura 1. Mapa de localização da Serra da Caboronga em Ipirá-BA

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Ipirá tem uma área territorial de 3.048,50 km² (a área delimitada da Serra da Caboronga possui uma área de 21,4767 km², o equivalente a 0,70% da área do município), está situado entre as coordenadas geográficas -11°52'30" e -12°32'24" Sul e 39°24'14" e -40°08'24" Oeste, e dista 206 km de Salvador, capital do Estado da Bahia (IBGE, 2010).

A Serra da Caboronga apresenta características de ambiente úmido, o que a torna singular, pois o município que a abrange está localizado no semiárido brasileiro (Jesus e Santos, 2022).

Ainda para esses autores, a pluviometria local influencia também os processos fluviais, a dinâmica do modelado e biogeográfica (verificou-se em campo que, os solos encontravam-se encharcados, um saprólito profundo e encostas exibindo vegetação de médio e grande porte), contrastando com características peculiares do ambiente semiárido (solos secos, rasos e vegetação xerófila). A priori, os rios dessa área são intermitentes, no entanto, dada as características supracitadas evidenciou-se uma contribuição maior no volume de água nos cursos fluviais de primeira e segunda ordem em setores mais elevados da Caboronga (Jesus e Santos, 2022).

Aplicação do NDVI

Para elaboração dos mapas de NDVI foram utilizadas imagens de satélites dos anos de 2000, 2009 e 2019, disponibilizadas no catálogo da Divisão de Geração de Imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (U.S.G.S. – *United States of Geological Survey*), no site: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens obtidas fazem parte da série de satélites LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*).

Para aquisição dessas imagens, realizou-se a pesquisa, seleção e o *download*. A seleção das imagens baseou-se no recorte temporal definido para esse estudo (2000-2020), bem como, da disponibilidade de cenas sem ou com pouca interferência de nuvens. A princípio, pretendia-se utilizar imagens com intervalo de 10 anos de uma para outra. Porém, devido à escassa quantidade de imagens disponíveis com poucas nuvens, foram selecionadas as cenas datadas de 28/01/2000, 12/05/2009 e 02/12/2019.

As duas primeiras imagens (28/01/2000, 12/05/2009) foram obtidas do satélite LANDSAT 5, sensor TM (*Thematic Mapper*) e a imagem do último período (02/12/2019) foi obtida a partir do satélite LANDSAT 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*). Essas imagens apresentam resolução espacial de 30 m, de órbita 216 e ponto 68.

Após a aquisição das imagens, procedeu-se a etapa de processamento digital, realizado no software *QGIS* 3.4. Inicialmente, foi realizada a conversão dos valores digitais das imagens para medidas de reflectância, uma vez que foi feito o *download* das imagens brutas, sem processamento.

Teixeira *et al.* (2017) explicam que as imagens de satélites são formadas por *pixels* contendo números digitais, que estão relacionados a radiação refletida pelos alvos da superfície. Assim, as imagens de satélites, normalmente, quando são baixadas, vêm codificadas com esses números digitais, sendo necessário converter esses valores de Número Digital para os valores físicos reais: radiância e reflectância.

Dessa forma, foi realizada a calibração radiométrica das imagens, que consiste na conversão dos números digitais brutos para unidades de radiância espectral. A radiância, de acordo com Meneses *et al.* (2012, p. 22) “é a medida feita pelo sensor da densidade de fluxo radiante que deixa um elemento de área da superfície do terreno, e que se propaga em uma direção definida por um cone elementar de um ângulo sólido contendo aquela direção”. A determinação da radiância é etapa primordial na conversão de dados das imagens de satélite em medidas de reflectância (Silva e Andrade, 2013).

Segundo Weber, Freire-Silva e Oliveira (2020) a reflectância é a razão entre a radiação refletida pela radiação incidente. A conversão da radiância espectral no sensor para reflectância estratosférica no topo da atmosfera (TOA) permite a redução da variabilidade (de energia registrada) de cena para cena (Goergen, 2014).

Goergen (2014) com base em Robinove (1982) aponta que a conversão dos números digitais (ND) para reflectância é indicada quando é utilizada mais de uma imagem para análise, bem como, na utilização de mosaicos e séries temporais, que é o caso do presente estudo.

Esse procedimento de conversão dos dados das imagens para reflectância foi realizado a partir do complemento “*Semi-Automatic Classification plugin*” no *Qgis*, utilizando as bandas das imagens baixadas. Após essa etapa, foi utilizada uma combinação de bandas RGB (LANDSAT 8/OLI - 6, 5, 4 e para o LANDSAT 5/TM - 5, 4, 3) para a composição colorida da imagem, com a finalidade de melhorar a visualização dos alvos. Para isso utilizou-se a ferramenta “Mosaico” do *Qgis*, que tem a função de mesclar às bandas selecionadas, dando origem à composição das imagens. Feito isso, mudou-se a simbologia da imagem gerada, atribuindo uma falsa cor.

Para obtenção do NDVI foram realizadas álgebras de bandas das imagens de satélites na “calculadora raster”, ferramenta do *QGIS*, a partir da fórmula:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R).$$

Onde, segundo Melo *et al.* (2011):

NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a reflectância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 μm);

R é a reflectância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm).

A princípio, pretendia-se analisar o NDVI para dois períodos do ano: seco e chuvoso, mas devido à escassez de imagens sem ou com pouca interferência de nuvens não foi possível, optando então por analisar uma para cada ano, correlacionando-as aos dados de precipitação, para verificar se houve influência dos eventos pluviométricos nos resultados do NDVI.

Na realização dos cálculos para obtenção dos resultados de NDVI, advindos do sensor TM (imagens de 2000 e 2009), foram utilizadas as bandas 3 (Vermelho – 0,63 μm a 0,69 μm) e 4 (Infravermelho Próximo – 0,76 μm a 0,90 μm) e do sensor OLI, foram usadas as bandas 4 (Vermelho – 0,64 μm a 0,67 μm) e 5 (Infravermelho Próximo – 0,85 μm a 0,88 μm).

Realizadas as operações matemáticas entre as bandas dos sensores satelitários, procedeu-se a reclassificação dos arquivos *raster* gerados. Para isso, utilizou-se o algoritmo “*recode*” do Grass (complemento do QGIS), fazendo o *input* do arquivo *raster* e do arquivo de texto criado com as seguintes informações das quatro classes propostas:

0.000:0.350:1

0.351:0.500:2

0.501:0.700:3

0.701:1.000:4

onde a classe 1 corresponde a baixa densidade, a classe 2 à média densidade, a classe 3 à média alta densidade e a classe 4 à alta densidade de vegetação. Após a reclassificação, foi atribuída uma rampa de cor às classes, que varia do amarelo claro ao verde escuro, finalizando com a construção dos *layouts* dos mapas.

Resultados e discussão

Com base no intervalo de variação do NDVI (-1 a 1) e nos valores obtidos a partir dos cálculos das imagens, foi definida uma classificação padrão quanto a densidade da vegetação (Quadro 1). Assim, a densidade da biomassa foi dividida em quatro classes, a saber: baixa, média, média alta e alta.

A análise multitemporal (2000, 2009 e 2019) do NDVI permitiu verificar a dinâmica da cobertura vegetal da Serra da Caboronga, viabilizando a identificação do período de maior e

menor vigor vegetativo na área. As figuras a seguir mostram a distribuição do NDVI para cada data.

É válido destacar, de acordo com os dados do estudo de Simões, Lima e Mendonça (2021, p. 113) que “diversos estudos têm demonstrado a influência da precipitação antes da passagem do satélite no comportamento espectral da vegetação caatinga.

Quadro 1. Classes de NDVI.

Elaboração: Autores, 2022.

Intervalo NDVI	Classe
0,000 - 0,350	Baixa densidade
0,351 - 0,500	Média densidade
0,501 - 0,700	Média alta densidade
0,701 - 1,000	Alta densidade

Como pode ser observado na figura 2, o NDVI na Serra da Caboronga referente ao ano de 2000, apresentou na maior parte da área índices entre 0,501 a 1,000, demonstrando assim, ter uma alta densidade de biomassa vegetal nesse ano. Essa situação pode ser notada na imagem por meio da contiguidade de áreas contendo os dois tons de verdes mais escuros.

Verifica-se uma expressiva ocorrência da classe que varia de 0,701 a 1,000, representada pelo tom de verde de maior intensidade. Tais valores de NDVI indicam a presença de uma vegetação verde e sadia – ou seja, uma vegetação com folhas, bem suprida de água e desempenhando adequadamente suas funções metabólicas e fisiológicas (Pereira, Silva e Pamboukian, 2016) – e com alta densidade. Embora as manchas de floresta densa estejam distribuídas em variados tamanhos em grande parte da Serra, os maiores fragmentos estão localizados justamente nas áreas com picos de altitude.

Segundo Figueiredo, Augustin e Ávila (2008), as áreas de topos e encostas escarpadas geralmente possuem uma vegetação mais preservada, justamente pela dificuldade de acesso. No mesmo sentido, Candido e Nunes (2010) apontam que áreas de relevo mais irregular desfavorecem o uso agrícola das terras, o que explica uma maior preservação das florestas nesses locais.

A classe de maior ocorrência na Serra foi à de 0,501 a 0,700, indicando assim, que na maior parte da área havia uma média alta densidade vegetal. Esses valores correspondem à presença de uma vegetação aberta, porém apresentando um significativo vigor vegetativo.



Figura 2. Mapa de NDVI da Serra da Caboronga a partir de imagem Landsat de 28/01/2000

As manchas em verde claro correspondem à classe de 0,351 a 0,500 e representam baixos valores de NDVI. Essas manchas são pequenas e estão dispersas, demonstrando serem resultantes de usos pontuais da terra, como por exemplo, de atividades agrícolas. Tais manchas, além de possuírem formato geométrico, estão localizadas na parte mais baixa do relevo, o que indica a ocorrência de atividades agrícolas ou pecuárias nesse local, uma vez que existe uma tendência de maior uso agrícola nas áreas mais planas, conforme argumentam Candido e Nunes (2010).

Sobre o uso agrícola e suas correlações com a vegetação, Simões, Lima e Mendonça (2021, p. 106) apontam que a “vegetação xerófila componente de um sistema ambiental fortemente fragilizado, historicamente, foi impactada pela exploração extensiva de seus solos, representada pelas pecuárias bovina e caprina, associando-se o uso agrícola sem o devido ordenamento espacial”.

A classe de 0,000 a 0,350 consiste nos valores mais baixos de NDVI na área e é representada pela cor amarela. Essas manchas mostram que havia uma baixa densidade de biomassa vegetal nessas áreas, acusando a ocorrência de uma vegetação rala ou esparsa, podendo estar associada a pastagens degradadas ou solo exposto.

A figura 3 representa a distribuição do NDVI na Serra da Caboronga, calculado a partir da imagem Landsat-5, datada de 12/05/2009. Foram

registrados baixos valores de NDVI em boa parte da área, o que compreendem às classes de 0,000 a 0,350 e 0,351 a 0,500 e que são representadas pelas cores amarelo e verde claro, respectivamente. Esses baixos índices caracterizam áreas de vegetação aberta e rala, bem como de solo exposto. Ao comparar a imagem de 2009 e a de 2000, nota-se um aumento das áreas de baixa densidade de vegetação.

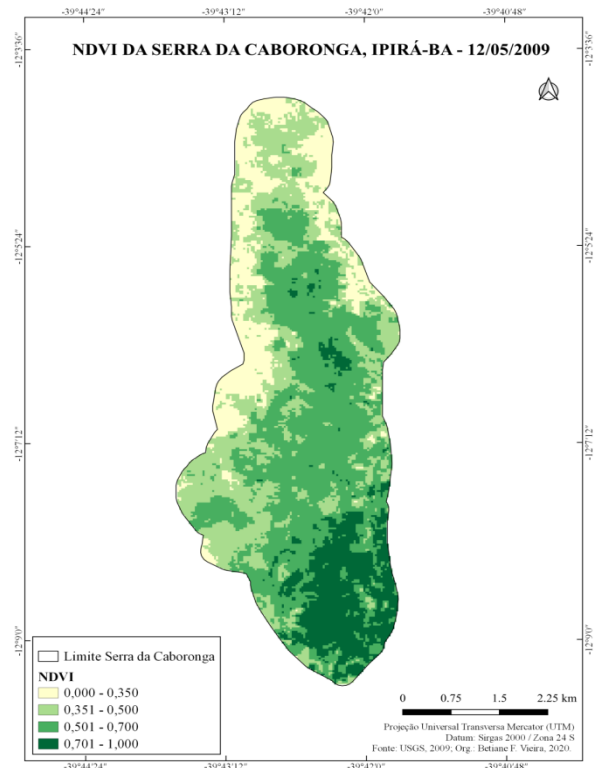


Figura 3. Mapa de NDVI da Serra da Caboronga a partir de imagem Landsat de 12/05/2009

Percebe-se tal mudança também no estudo de Teles, Souza e Farias (2022, p. 501-502), quando perceberam no período de 1994 a 2007, “um aumento considerável na presença de solo exposto, indicando um aumento no uso e ocupação do solo na região, com uma redução aproximada de 28% da vegetação nativa”, evidenciando múltiplos usos do solo na área.

No caso da Serra da Caboronga não foi diferente, Jesus e Santos (2022, p. 26), observaram “a retração sequenciada da cobertura vegetal (conversão em áreas de pastagem) e a intensificação dos processos erosivos dispersos nos diversos setores da Serra da Caboronga”.

Nos setores mais aplanados, observam-se extensas áreas de solo exposto, onde a atividade agropastoril foi sendo historicamente realizada sem manejo adequado. O conjunto das atividades socioeconômicas geram alterações

negativas na dinâmica natural da serra causando deterioração do ambiente (Jesus e Santos, 2022).

A classe de 0,501 a 0,700, correspondente a média alta densidade de vegetação, apresentou no período de 2000 a 2009 uma redução da sua ocorrência na área. Em 2009, esses índices foram registrados nas áreas mais elevadas, ao longo do espinhaço da Serra, no sentido norte a sul. Essa cobertura vegetal é caracterizada por uma floresta levemente aberta.

Quanto à classe de 0,701 a 1,000, representada pelo verde escuro, corresponde às áreas de floresta densa. Nesse ano, pode se observar que houve uma menor abrangência dessa classe, apresentando-se de forma concentrada espacialmente na porção sul da Serra. Enquanto no ano de 2000, essa classe de NDVI estava distribuída em três porções da Serra, no sentido norte sul.

A figura 4 mostra o produto de NDVI da Serra da Caboronga gerado a partir da imagem Landsat-8, datada de 02/12/2019. É notável que houve uma expressiva redução das manchas em verde escuro, referente a classe de maior densidade (0,701 a 1,000), indicando que nesse período a Serra apresentou uma menor ocorrência dessa classe do NDVI.

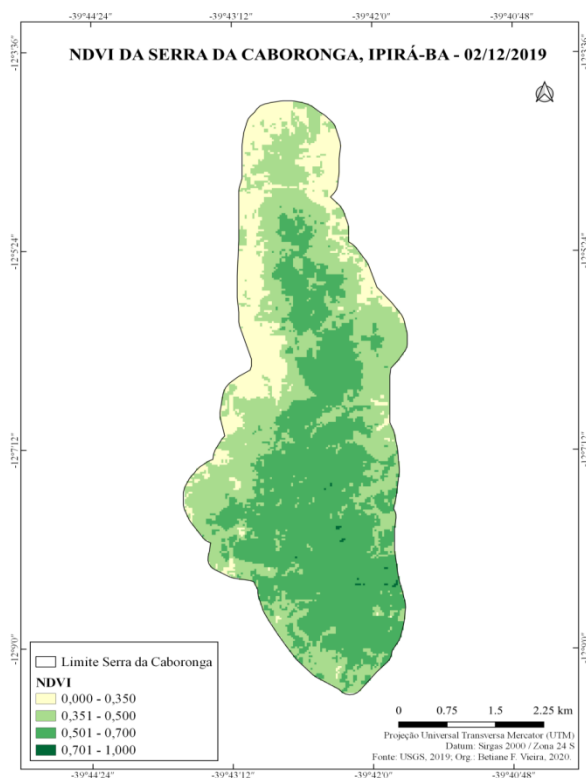


Figura 4. Mapa de NDVI da Serra da Caboronga a partir de imagem Landsat de 02/12/2019

Percebe-se com esses resultados a importância do monitoramento das unidades de paisagem. Sobre isso, Pinto e colaboradores (2017, p. 5242), afirmam que a avaliação dos índices de vegetação é importante para “adequações nas práticas de manejo”.

A classe de alta densidade de biomassa (0,701 – 1,000) foi a de menor ocorrência na Serra nesse ano, sendo representada por poucas e pequenas manchas em verde escuro. Já as classes com maior preponderância foram as de baixa e média alta densidade, correspondendo aos tons de verdes mais claros (0,351 a 0,500 e 0,501 a 0,700, respectivamente).

A tabela 1 mostra o cálculo das áreas em km² e em porcentagem segundo a ocorrência de cada classe de NDVI para os anos de 2000, 2009 e 2019. Pode se perceber que houve um aumento no decorrer dos anos das áreas com baixa e média densidade vegetal. Enquanto a classe de alta densidade sofreu uma redução significativa da sua área. Já a média alta densidade de vegetação apresentou uma variação no período, passando de 72,55% em 2000 para 41,26% em 2009 e 45,15% em 2019, o que evidencia uma queda na sua abrangência, seguida por um acréscimo.

Classe/ Densidade	2000	%	2009	%	2019	%
1 - Baixa	0,005	0,03	3,47	16,18	3,51	16,35
2 – Média	0,29	1,35	6,18	28,76	8,24	38,38
3 – Média alta	15,58	72,55	8,86	41,26	9,69	45,15
4 - Alta	5,60	26,08	2,96	13,8	0,02	0,12

Tabela 1. Evolução temporal das áreas em km² e em porcentagem de acordo com cada classe de densidade do NDVI

Elaboração: Autores, 2021.

Dessa forma, o NDVI mostrou que no período de 2000 a 2019 houve uma diminuição expressiva da vegetação densa e um aumento da vegetação aberta (média e média alta densidade). Sendo que as áreas com pouca ou nenhuma vegetação (baixa densidade) também apresentou um incremento significativo.

Essa variação espaço-temporal do NDVI na Serra da Caboronga pode estar atrelada principalmente à sazonalidade climática inter-anual e intra-anual, pois como explicam Pereira e Silva (2013), existe uma influência direta da sazonalidade pluviométrica na intensidade dos índices de vegetação. Assim, altos valores de

NDVI podem estar relacionados a ocorrências de chuvas, enquanto os baixos valores às estiagens.

Outros estudos (Barbosa *et al.*, 2019; Caetano *et al.*, 2022) também “encontraram forte correlação para a estação chuvosa ao relacionar o NDVI com a precipitação, mostrando os meses com maior precipitação correspondendo àqueles em que o índice atingiu valores mais elevados”.

Para além do NDVI, Pacheco, Silva Júnior e Moraes (2023, p. 860) afirmam que “diversos estudos de índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto têm favorecido nas últimas décadas a identificação e quantificação de padrões de mudanças ambientais e/ou climáticas relacionadas a cobertura vegetal da superfície terrestre”.

Dentre as aplicações, de acordo com Campos e colaboradores (2022, p. 2) “o índice de vegetação por diferença normalizada, é uma oportunidade para melhorar o rendimento e a qualidade de grãos, através da aplicação localizada de fertilizantes nitrogenados”. Ainda para esses autores, “O aumento das doses de nitrogênio influencia nos valores de NDVI da cultura do milho”.

Segundo Bayma e Sano (2015), as séries temporais de NDVI podem identificar se as mudanças ocorridas na cobertura vegetal são decorrentes da sazonalidade climática, por meio da variação do regime pluviométrico ou se são motivadas pelos diferentes usos da terra, nesse último caso, evidenciando a ocorrência de desmatamentos e/ou queimadas.

O desmatamento elevado no Bioma Caatinga vem gerando processos de desertificação em diversas áreas, alterando diretamente a biota, o microclima e os solos, sendo fundamental o desenvolvimento de técnicas de pesquisa capazes de incorporar informações, que identifiquem o estado dos recursos naturais (Souza, Artigas e Lima, 2015).

O bioma Caatinga vêm sofrendo modificações desde o processo de colonização da região nordeste do Brasil, em função das formas de uso e ocupação do solo, decorrentes, especialmente, de atividades antrópicas, direcionando a região a um processo de degradação (Caetano *et al.*, 2022).

No caso específico da Serra da Caboronga, visualiza-se no estudo de Jesus (2018) que o uso e ocupação das terras “estão classificadas em seis classes: com predomínio das atividades da agricultura e pecuária, alcançando cerca de 85% de toda área”.

De maneira geral a Caatinga atua como sumidouro de CO² na maioria do tempo e espaço, de modo que o volume do gás retirado da atmosfera pode ser maior ou menor principalmente em função da disponibilidade hídrica de cada região (Oliveira *et al.*, 2023).

Do ponto de vista biogeográfico e evolutivo, a Caatinga possui espécies endêmicas, ou seja, que não são encontradas em nenhuma outra região do mundo, cujas espécies evolutivamente mais próximas estão nas outras florestas secas da América do Sul, mas também na Floresta Atlântica, Cerrado e Amazônia (Tabarelli *et al.*, 2018).

No contexto da Serra da Caboronga, Jesus (2018) identificou plantações de Palma (*Opuntia cochenillifera*), Mandacaru (*Cereus jamacaru*), que são plantas xerófilas, e retém grande quantidade de água, típicas do bioma Caatinga. Segundo a autora, há “outras áreas um pouco mais conservadas por pequenos agricultores familiares”.

Santos, Baptista e Moura (2017) mostraram que o tempo de resposta da vegetação aos valores de NDVI ocorre em torno de 28 a 30 dias em relação aos episódios de chuvas. Partindo desse princípio e do fato de não dispor de imagens de dois períodos (seco e chuvoso) para cada ano, buscou-se correlacionar o NDVI aos dados pluviométricos, referentes aos acumulados do mês que antecedeu cada imagem utilizada, disponibilizados na tabela 2.

NDVI - 28/01/2000		NDVI - 12/05/2009		NDVI - 02/12/2019	
Dez/ 1999	134,9	Abr/ 2009	64,2	Nov/ 2019	18,5
Jan/ 2000	59,3	Mai/ 2009	153,8	Dez/20 19	36,2
Total	194,2	Total	218	Total	54,7

Tabela 2. Acumulados pluviométricos (mm) do município de Ipirá-BA referente ao mês de cada imagem de NDVI (2000, 2009 e 2019) e do mês antecedente.

Elaboração: Autores, 2021.

Fonte: Xavier *et al.*, 2016; INMET, 2019.

Com base na tabela 2 e nos mapas das figuras 2, 3 e 4 referentes aos NDVIs obtidos das imagens datadas de 28/01/2000, 12/05/2009 e 02/12/2019, pôde-se perceber que houve uma influência significativa da precipitação na variação do NDVI, pois se verificou que no período de 2000, a Serra apresentou um expressivo vigor vegetativo, bem como um alto acumulado pluviométrico, em

contrapartida, no período analisado de 2019 registrou-se um baixo vigor vegetativo na área somado a baixos índices pluviométricos, indicando assim uma relação de causa e efeito entre a ocorrência das chuvas e a dinâmica do NDVI.

Conforme pontua Ferreira (2019), “para a vegetação, de forma geral, valores altos do NDVI indicam saúde e densidade, enquanto valores baixos caracterizam uma vegetação estressada e esparsa” (Ferreira, 2019, p. 26). Assim, uma vegetação verde e sadia significa que está bem suprida de água, enquanto a vegetação estressada se deve a deficiência hídrica nas plantas.

Sobre esse aspecto de excedente hídrico, Santos, Monteiro e Nascimento (2022, p. 219), relatam em seu estudo que “no período úmido, a diferenciação entre as classes de uso do solo foi dificultada, podendo estar associado ao fato de que a maior parte dos solos na área de estudo possuem boa penetrabilidade e permanência de água”.

Dessa forma, notou-se que maiores acumulados pluviométricos estão associados a uma vegetação mais viçosa e densa (altos valores de NDVI), enquanto os baixos valores de chuvas resultaram em uma vegetação estressada, menos densa ou até áreas desnudas (baixos valores de NDVI). A distribuição espacial do NDVI mostrou que algumas áreas possuem maiores valores de NDVI do que outras. Isso está relacionado não só a influência dos eventos pluviométricos, mas também aos diferentes usos da terra e a umidade do solo.

A vegetação da área se comportou de acordo com a precipitação, apresentando no período chuvoso maiores valores nos índices de vegetação, com grande presença de forrageiras em toda a área. Já para os meses secos a área apresentou degradação na pastagem, mostrando que a disponibilidade hídrica tem um papel fundamental para a qualidade ambiental da área (Rinaldi e Rosa, 2022).

Em relação aos valores encontrados de NDVI nas diversas áreas, Pacheco, Silva Júnior e Moraes (2015, p. 876) argumentam que “em regiões de baixa densidade de vegetação, o NDVI é menos sensível a sazonalidade. Este fato ocorre porque em áreas com baixa modificação do uso do solo, o vigor vegetativo tem alta saturação em resposta ao aumento da biomassa”.

O mapeamento da configuração espacial da cobertura vegetal para ambos os períodos, de maneira geral, constitui um elemento de grande contribuição científica e ambiental diante da possibilidade dessas informações serem utilizadas em iniciativas de proteção dos recursos florestais

nativos dos remanescentes florestais da Caatinga (Caetano *et al.*, 2022).

De forma geral, percebe-se que houve influência da precipitação na variação do NDVI ao longo do período analisado, assim como também mudanças nos usos da terra, o que refletiu em baixos valores de NDVI em algumas áreas da Serra, a exemplo das porções Nordeste e Noroeste, que apresentaram em 2009 e 2019 índices entre 0,000 a 0,350, correspondendo assim a menor classe de NDVI e caracterizando áreas de pastagens ou cultivos e áreas de solo exposto.

Sobre essas influências, Pacheco, Silva Júnior e Moraes (2015, p. 877) afirmam que “vários são os fatores que podem influenciar a resposta espectral dos índices de vegetação, por isso mais estudos devem ser realizados para melhorar a acurácia dos dados e a identificação da sensibilidade aos parâmetros ambientais”.

Dados da pesquisa de Teles, Souza e Farias (2022, p. 497), “apontam que houve uma diminuição de vegetação nativa e aumento de área de cultivo e de pastagem, observados pela redução das classes Moderadamente Alta e Alta e o crescimento das classes Muito Baixa, Baixa e Moderadamente Baixa. Portanto, com a perda da vegetação nativa o solo tem ficado mais exposto e susceptível a degradação”.

A degradação de pastagens é um processo que vem evoluindo com o passar do tempo, ocasionando perda de vigor e produtividade. O uso sustentável das áreas sob pastagem é uma questão de alta relevância, já que grande parte das pastagens possui algum nível de degradação (Rinaldi e Rosa, 2022).

Estudos que tratam da dinâmica sazonal das variáveis climáticas e da vegetação, bem como da relação entre estas variáveis, são importantes por possibilitarem o desenvolvimento e a proposição de metodologias de monitoramento da variabilidade climática e da cobertura vegetal (Pacheco, Silva Júnior e Moraes, 2015).

Considerações finais

A análise temporal da cobertura vegetal por meio do NDVI indicou que houve uma dinâmica da vegetação na Serra da Caboronga no período de 2000 a 2019. Essa dinâmica consiste numa expressiva diminuição da vegetação densa e um aumento das classes de vegetação: média e média alta densidade. Além disso, verificou-se um significativo crescimento das áreas com classe de baixa densidade de vegetação.

Essa dinâmica da vegetação pode estar atrelada à variação pluviométrica. Notou-se uma correlação entre a precipitação e a variação do NDVI no período estudado, podendo inferir que houve uma influência significativa dos índices pluviométricos na dinâmica da cobertura vegetal. Indicando assim uma relação de causa e efeito entre a ocorrência das chuvas e a dinâmica do NDVI.

A distribuição espacial do NDVI na Serra não foi uniforme, apresentando concentração de alta densidade de vegetação nas áreas mais elevadas, enquanto nas áreas de menores altitudes foram registradas classes de baixa densidade de vegetação. Essa distribuição espacial da vegetação está relacionada à altitude do terreno, a umidade dos solos e aos diferentes usos da terra.

Agradecimentos

Os autores vêm agradecer a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro na Publicação deste artigo, cujos recursos são oriundos do Processo: 88881.708080/2022-01.

À CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação, ao PRODEMA e a Universidade Federal de Sergipe.

Referências

- Aquino, C. M. S.; Oliveira, J. G. B. 2012. Estudo da Dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Núcleo de São Raimundo Nonato-PI. GEOUSP - Espaço e Tempo [online], São Paulo, n. 31, p. 157-168. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.21790892.geousp.2012.74261>. Acesso: 01 jun. 2023.
- Arantes, B. H. T.; Martins, G. D.; Carvalho, E. R.; Nogueira, L. C. A. 2019. Identificação de ferrugem na soja por meio de imagens de alta resolução espacial Revista Brasileira de Geografia Física [online], v.12 (3), p. 1003-1016. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/238815>. Acesso: 01 jun. 2023.
- Ayanlade, A. 2017. Remote Sensing vegetation dynamics analytical methods: a review of vegetation indices techniques. Geoinformatica Polonica [online], v. 16, p. 11-17. Disponível: <https://www.ejournals.eu/GP/2017/Vol-16/art/9961/>. Acesso: 21 jun. 2020.
- Baeza, S.; Paruelo, J. M. 2020. Land use/land cover change (2000-2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series. Remote Sensing [online], v. 12(3), p. 381. Disponível: <http://doi:10.3390/rs12030381>. Acesso: 17 mai. 2021.
- Barbosa, H. A.; Kumar, T. V. L.; Paredes, F.; Elliott, S.; Ayuga, J.G. 2019. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008-2016). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing [online], v. 148, p. 235-252. Elsevier BV. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>. Acesso: 26 jul. 2023.
- Barros, A. S.; Farias, L. M.; Marinho, J. L. A. 2020. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro do Norte – CE. Revista Brasileira de Geografia Física [online], v. 13(06), p. 2885-2895. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246669>. Acesso: 20 jul. 2023.
- Bayma, A. P.; Sano, E. E. 2015. Time series of vegetation indexes (NDVI and EVI) from MODIS for detecting deforestation in the Cerrado biome. Boletim de Ciências. Geodésicas. [online], Curitiba, v. 21(4), p.797-813. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400047>. Acesso: 21 mar. 2020.
- Berger, R.; Silva, J. A. A.; Ferreira, R. L. C.; Candeias, A. L. B.; Rubilar, R. 2019. Índices de vegetação para a estimativa do índice de área foliar em plantios clonais de Eucalyptus saligna Smith. Ciência Florestal [online], v. 29 (2), p. 885-899. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509816942>. Acesso: 15 abr. 2021.
- Caetano, R.; Silva, T. B.; Benfica, N. S.; Castro, D. R. 2022. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. Rev. Geociênc. Nordeste [online], Caicó, v.8 (2), (Jul-Dez) p.28-43. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12030381>.

<https://doi.org/10.21680/2447-359.2022v8n2ID26864>. Acesso: 25 jul. 2023.

- Campos, J. F. D.; Rocha, M. F. S. S.; Lima, G. S.; Molaes, D.; Moraes, J. R. S. C. 2022. Do NDVI em Milho Submetido a Doses de Nitrogênio em Mato Grosso do Sul. Anais... VI EIGEDIN – Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação, Edição online, Brasil, 16 a 19 de novembro de 2022. Acesso: 26 jul. 2023.
- Candido, D. H., Nunes, L. H. 2010. Distribuição espacial dos fragmentos de vegetação arbórea da região metropolitana de campinas: uma análise com uso de ferramentas de geoprocessamento. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana [online], Piracicaba-SP, v. 5(1), p. 82-105. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v5i1.66242>. Acesso: 13 abr. 2020.
- Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Tian, Y., Wu, L., Xiao, J., Chen, F., Qian, Q. 2018. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. Scientific reports [online], v. 8 (1), p. 1–12. Disponível: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-19088-x>. Acesso: 20 mai. 2021.
- Dias, M. B. G. 2019. Análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na bacia hidrográfica do Córrego do Cedro, município de Presidente Prudente, SP, Brasil. Revista de Geografia [online], Recife, v. 36 (3). Disponível: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2019.238326>. Acesso: 08 mai. 2023.
- Ferreira, F. F. 2019. Análise de persistência do estado da vegetação usando NDVI na bacia do Rio Itapemirim-ES. Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro.
- Ferreira, G. H. C., Silva, L. A. P., Almeida, R. P. 2020. Mapeamento do uso e cobertura do solo e comportamento do NDVI para diferentes usos da terra em áreas de Cerrado no Norte de Minas Gerais. Revista Tocantinense de Geografia [online], v. 9 (18), p. 143-159, 11 jul. 2020. Disponível:<https://doi.org/10.20873/rtg.v9n18p143-159>. Acesso: 16 set. 2021.
- Figueiredo, A. C.; Augustin, C. H. R. R.; Ávila, F. F. 2008. Distribuição Fitofisionômica e sua Correlação com o Relevo na Bacia do Córrego dos Pereiras, Município de Gouveia/MG-Brasil. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia e Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 6 e 2, Belo Horizonte: UFMG.
- Galvêncio, J. D.; Miranda, R. Q.; Moura, M. S. B.; Montenegro, S. M. G. 2022. Adiva - Análise de Índice de Vegetação e Água. Revista Brasileira de Geografia Física [online], v. 15(3), p. 1654-1659. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254341>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Goergen, L. C. G. 2014. Uso da reflectância de imagens LANDSAT 5 TM na identificação de plantios de Eucalyptus dunnii e Eucalyptus urograndis e sua correlação com o volume de madeira. 2014. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 100 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística (IBGE). Cidades@. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/ipira/panorama>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- Jesus, S. S. 2018. A Morfodinâmica Quaternária e a Influência Climática na Serra da Caboronga-Ipirá-BA. Monografia (Bacharelado em Geografia). Departamento de Ciências Humanas e Filosofia da Universidade Estadual de Feira de Santana, BA. Disponível: http://www.geotropicos.uefs.br/arquivos/File/Monografias/SUY_TCC_02_07_20.pdf. Acesso: 25 jul. 2023.
- em Serras do Semiárido Baiano: o Caso da Serra da Caboronga. Paisagens & Geografias [online], v. 5 (2). Disponível: <https://paisagensegeografias.revistas.ufcg.edu.br/index.php/A1p7D/article/view/64>. Acesso: 25 jul. 2023.
- Jesus, S. S.; Santos, E. M. 2022. Algumas Contribuições para o Estudo da Morfodinâmica

- Lima, G. C., Silva, M. L. N., Curi, N., Silva, M. A., Oliveira, A. H., Avanzi, J. C., Ummus, M. E. 2013. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). *Revista ambiente & água* [online], v. 8 (2), p. 204-214. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>. Acesso: 12 jan. 2021.
- Lotufo, J. B. S.; Machado, N. G.; Taques, L. M.; Mützenber, D. M. S.; Lotufo Neto, N.; Biudes, M. S. 2020. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 13(2), p. 648-663. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244539/34932>. Acesso: 07 jul. 2023.
- Melo, B. M. D., Miranda, P. R. S., Gonçalves, T. S., Assis, A. L., Cabacinha, C. D., Marcatti, G. E., Castro, R. V. O., Araújo Jr, C. A. 2019. Análise temporal do NDVI como ferramenta para o planejamento do ecoturismo na APA do Rio Pandeiros, norte de Minas Gerais. *Caderno de Ciências Agrárias* [online], UFMG, v. 11, p. 01-08. Disponível: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2019.13578>. Acesso: 20 jan. 2021.
- Melo, E. T.; Sales, M. C. L.; Oliveira, J. G. B. 2011. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *RA'EGA* [online], 2. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v23i0.24919>. Acesso: 15 out. 2020.
- Meneses, P. R.; Almeida, T.; Santa Rosa, A. N. C.; Sano, E. E.; Souza, E. B.; Baptista, G. M. M.; Brites, R. S. 2012. Introdução ao processamento de imagens digitais de satélites e sensoriamento remoto. Brasília, DF: Universidade de Brasília. 266p.
- Minatti, E.; Ribeiro, A.A.; Encina, C.C.C.; Filho, A.C.P. 2023. Análise multi-temporal de imagens de satélite e NDVI em unidade de conservação. *Research, Society and Development* [online], v. 12(4), p.1-16. Disponível: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40839>. Acesso: 20 jul. 2023.
- Oliveira, C. L.; Lima, J. R. S.; Souza, R. M. S.; Antonino, A. C. D.; Alves, M. F. A. T.; Silva, V. P.; Lopes, M. H. L.; Souza, E.S.; Ferreira, R.C. 2023. A Caatinga Emite ou Sequestra Carbono?. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], v.16 (2), p. 791-804. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/256621/43679>. Acesso: 25 jul. 2023.
- Pacheco, A. P.; Silva Júnior, J. A.; Morais, L. M. B. 2023. Avaliação de Índices de Vegetação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú/PE a Partir de Séries Temporais Modis Mod13a1. *Caderno de Geografia* [online], v.33 (74), p. 860-879. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/256621/43679>. Acesso: 26 jul. 2023.
- Pereira, G., Silva, M. E. S. 2013. Modelagem numérica da variação trimestral dos parâmetros físicos da vegetação. *GEOUSP* [online], 35, 70-80. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/287427871>. Acesso: 10 ago. 2020.
- Pereira, L. S., Silva, D. O., Pamboukian, S. V. D. 2016. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação* [online], São Paulo, v. 16, n. 1, p. 8-33. Disponível: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/9972/6662>. Acesso: 21 set. 2020.
- Pinto, D. G. et al. 2017. Índices de vegetação NDVI, EVI e SAVI como indicadores espectrais do crescimento de pastagem natural no bioma Pampa. *Anais... XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Santos, SP, Brasil, 28 a 31 de maio de 2017, INPE p. 5241-5248. ISBN: 978-85-17-00088-1. Acesso: 26 jul. 2023.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. 2010. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 127 p.
- Rinaldi, L. A.; Rosa, H. A. 2022. Perfil temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em uma área de pastagem. *Rev. Cultivando o Saber* [online], v. 15 (1), p. 215-223. Disponível: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1168>. Acesso: 25 jul. 2023.
- Robinove, C. J. 1982. Computation with physical

- values from Landsat digital data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 48, p. 781–784.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, v. 1, p. 309-317.
- Santos, C. V. B. S.; Baptista, G. M. de M.; Moura, M. S. B. de. 2017. Seasonality of Vegetation Indices in different land uses in the São Francisco Valley. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* [online], v. 7 (3), p. 158-167. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/321867955>. Acesso: 15 nov. 2020.
- Santos, C. V. B.; Baptista, G. M. M.; Moura, M. S. B. 2017. Seasonality of Vegetation Indices in different land uses in the São Francisco Valley. *Journal of Hiperespectral Remote Sensing*, 7, 158-167. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/25345>. Acesso: 07 jul. 2023.
- Santos, C. V. B.; Carvalho, H. F. S.; Silva, M. J.; Moura, M. S. B.; Galvêncio, J. D. 2020. Uso de Sensoriamento Remoto na análise da temperatura da superfície em áreas de floresta tropical sazonalmente seca. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], v.13(3), p. 941-953. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/245348>. Acesso: 10 jul. 2023.
- Santos, J. E. B.; Monteiro, K. A.; Nascimento, M. C. 2022. Avaliação de Desempenho dos Índices de NDVI, SAVI e EVI na Análise da Cobertura de Uso do Solo em um Setor do Município de Jequiá da Praia, Alagoas. *Revista GeoNordeste* [online], São Cristóvão, v. 32 (1), p. 208-226. Disponível: <https://www.researchgate.net/journal/Revista-GeoNordeste-1518-6059>. Acesso: 26 jul. 2023.
- Silva, G. J. F., Almeida, N. V. 2015. Degradação ambiental no município de Parari-PB: uma análise por meio de sensoriamento remoto. *Revista Geografar* [online], v.10 (2), p.140-164. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v10i2.37285>. Acesso: 10 out. 2022.
- Silva, M. A. O., Andrade, A. C. 2013. Geração de Imagens de Reflectância no Topo da Atmosfera e na Superfície de um Ponto de Vista Geométrico. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- 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], v. 4, p. 1-10. Disponível: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>. Acesso: 19 jul. 2023.
- Simões, E. M.; Lima, J. R.; Mendonça, I. F. C. 2021. Índice de vegetação por diferença normalizada associado às variáveis pluviométricas para a sub-bacia do Rio Espinharas – PB/RN. *Nativa* [online], v. 9 (1), p. 106-114. Disponível: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10453>. Acesso: 07 jul. 2023.
- Sousa, L. F., Braga, C. C., Santos, E. G., Ribeiro, R. E. P., Ávila, P. L. R. 2014. Sazonalidade da vegetação em função do regime pluviométrico no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], v.7 (5). Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.5.p905-914>. Acesso: 10 out. 2022.
- Souza, B. I. F.; Artigas, R. C.; Lima, E. R. V. 2015. Caatinga e Desertificação. *Mercator* [online], Fortaleza, v. 14 (1), p. 131-150. Disponível: [10.4215/RM2015.1401.0009](https://doi.org/10.4215/RM2015.1401.0009). Acesso: 26 jul. 2023.
- Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais Da Bahia (SEI). 2014. Estatísticas dos Municípios Baianos. Salvador: SEI, v.4, nº2. Disponível: https://sei.ba.gov.br/images/publicacoes/sumario/estatisticas_municipios/sumario_est_mun_v4_bacia_do_jacuipe.pdf. Acesso: 08 jul. 2020.
- Tabarelli, M.; Leal, I. R.; Scarano, F. R.; Silva, J. M. C. 2018. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. *Ciência e Cultura* [online], v. 70 (4), p. 25 - 29. Disponível: <https://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>. Acesso: 25 jul. 2023.
- Teixeira, A. M. A., Candeias, A. L. B., Tavares Júnior, J. R. 2017. Analysis and Comparison with UAV Multispectral Images for Precision Viticulture. *Journal for Geographic Information*

- Science [online], v.6, 105-116. Disponível:<https://doi.org/10.1080/02693799208901893>. Acesso: 08 mai. 2023.
- Teles, J. D. A.; Souza, K. S.; Farias, R. G. 2022. Análise Temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na bacia Hidrográfica do Rio Branco – BA. Geociências [online], São Paulo, v. 41 (2), p. 497 – 502. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.15796>. Acesso: 26 jul. 2023.
- Tran, B. N.; Tanase, M. A.; Bennett, L. T.; Aponte, C. 2018. Evaluation of spectral indices for assessing fire severity in Australian temperate forests. Remote Sensing [online], 10. Disponível: DOI:10.3390/rs10111680. Acesso: 07 jul. 2023.
- Weber, E. J., Freire-Silva, J.; Oliveira, J. S. S. 2020. Considerações e procedimentos para o processamento do balanço de energia no software GRASS GIS 7.4. 0: um estudo no município de Floresta (Pernambuco–Brasil). Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto [online], v. 1 (1), p.51-65. Disponível: <https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/7>. Acesso: 07 jul. 2023.
- Wu, C. et al. 2017. Land surface phenology derived from normalized difference vegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites. Agricultura land Forest Meteorology [online], v. 233, p. 171–182. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.193>. Acesso: 08 mai. 2021.
- Xue, J., Su, B. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. Journal of Sensors [online], v. 20. Disponível: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>. Acesso: 14 dez. 2022.