

Multi-temporal Analysis of Vegetation Coverage by Vegetation Index in the Municipality of Cabaceiras, Semi-arid Region of Paraíba

Maria L. C. Cavalcanti*, Clériston S. dos Anjos**, Ricardo C. C. Lima ***, Eduardo V. Lima****, Josicléda D. Galvínio*****

Msc.; Pesquisadora no Instituto Nacional do Semiárido (INSA). E-mail: malucoelhocavalcanti@gmail.com

** Msc. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, PPGCGTG – UFPE. E-mail: cleriston.anjos@gmail.com

*** Dr. Pesquisador no Instituto Nacional do Semiárido (INSA). E-mail: Ricardo.lima @insa.gov.br

**** Dr.; Professor Centro de Geociências. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. E-mail: eduvianalima@gmail.com

***** Dra.; Coordenadora do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. SERGEO-UFPE. E-mail: josicleda@gmail.com

Received 21 March 2023; accepted 29 November 2023

Abstract

In the semi-arid region of northeastern Brazil, the illegal extraction of forest biomass occurs. Paraíba has great potential, its vegetation and wood resources play an important role in the regional economy, with the production of firewood and charcoal, in addition to animal production. Although these aspects are important for the economy, they promote the suppression of vegetation cover, and, in association with the intensification of climatic factors, it has provided great changes in the semi-arid region of Paraíba, such as what occurs in the municipality of Cabaceiras. In this sense, the objective of this study was to carry out an analysis of the vegetation cover with a cut of the municipality of Cabaceiras, to identify the current situation and the changes that occurred in the period from 2009 to 2019, using different vegetation indices. To carry out the work, images from the LANDSAT series were acquired for the years 2009 and 2019, made available free of charge by the United States Geological Survey (USGS). The software used for image processing was QGIS, version 3.4.13. Regarding the indices, those with the widest applicability were selected, including the Simple Ratio Vegetation Index (SRI), the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). The results show the efficiency of the use of remote sensing for the analysis of vegetation cover. It is possible to verify that there is regeneration in some points, but it also shows a great transformation of vegetation areas, leading to the increase of low density vegetation to the detriment of high and medium density vegetation in the period from 2009 to 2019, with special emphasis on the region center of the municipality of Cabaceiras. This result suggests that the environmental agencies, even if they are attentive to perform some type of control over the suppression of the caatinga vegetation, is still an insufficient action, since in a good part of the municipality there has been a decrease in vegetation cover. This suggests that attention has been paid to specific areas and the exploitation of the caatinga has occurred throughout the municipality, increasing forest fragmentation. This result is an alert for the difficulty of inspection, when exploration is carried out in small areas in a diffuse and unplanned way throughout the municipality.

Keywords: Forest Biomass; Exploration; Remote sensing.

Análise Multi-temporal da Cobertura Vegetal por Índice de Vegetação no Município de Cabaceiras, Semiárido Paraibano

Resumo

Na região semiárida do nordeste brasileiro ocorre a extração ilegal da biomassa florestal. A Paraíba tem um grande potencial, sua vegetação e recursos madeireiros desenvolve um importante papel na economia regional, com a produção de lenha e carvão, além da produção animal. Embora esses aspectos sejam importantes para a economia, promovem a supressão da cobertura vegetal, e de forma associada com a intensificação dos fatores climáticos tem proporcionado grandes mudanças no semiárido paraibano, a exemplo do que ocorre no município de Cabaceiras. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise da cobertura vegetal com um recorte do município de Cabaceiras, para identificar a situação atual e as mudanças ocorridas no período de 2009 a 2019, utilizando diferentes índices de vegetação. Para a realização do trabalho, foram adquiridas imagens da série LANDSAT para os anos de 2009 e 2019, disponibilizadas gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS). O software utilizado para o processamento das imagens foi o QGIS, versão 3.4.13. Com relação aos índices, foram selecionados os demais de larga aplicabilidade, incluindo o Índice de Vegetação da Razão Simples (SRI), o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), e o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI). Os resultados evidenciam a eficiência do uso do sensoriamento remoto para análise da cobertura vegetal. É possível verificar que existe regeneração em alguns pontos, porém também mostra uma grande transformação de áreas de vegetação, levando ao aumento de vegetações de baixa densidade em detrimento das de alta e média densidade no período de 2009 a 2019, com destaque especial para a região central do município de Cabaceiras. Esse resultado sugere que os órgãos ambientais por mais que estejam atentos para executar algum tipo de controle sobre a supressão da vegetação de caatinga, ainda assim é uma ação insuficiente, visto que se verificou em boa parte do município

a diminuição da cobertura vegetal. Isso sugere a atenção tem sido dada para áreas específicas e a exploração da caatinga tem ocorrido em todo o município, aumentando a fragmentação florestal. Esse resultado é um alerta para a dificuldade de fiscalização, quando a exploração é realizada em pequenas áreas de forma difusa e sem planejamento em todo o município.

Palavras-chave: Biomassa Florestal; Exploração; Sensoriamento Remoto.

1. Introdução

A região semiárida abriga a população mais pobre do Nordeste e uma das mais pobres do Brasil, sendo as condições de vida piores nas áreas mais secas e que apresentam menor capacidade de suportar atividades econômicas sustentáveis, tornando assim o uso do bioma indispensável e na maioria das vezes sem o devido manejo legal (SAMPAIO; BATISTA, 2004).

No semiárido há o predomínio do bioma Caatinga, caracterizado pela ocorrência de florestas secas, compostas por vegetação xerófila de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo, com ampla variação de fisionomia e flora, além de elevada diversidade de espécies. (DRUMOND et al., 2000). As florestas xerófilas e seus produtos têm desempenhado papel preponderante para as populações, servindo para o abastecimento com madeira, lenha e carvão, além de forragem para o gado e outros animais (LAMPRECHT, 1999).

Quanto as alterações provocadas pelo desmatamento, a Caatinga aparece como o terceiro Bioma mais degradado do Brasil, perdendo apenas para a Floresta Atlântica e o Cerrado (MYERS et al., 2000). Estima-se que 80% da vegetação encontrasse completamente modificada, devido ao extrativismo e a agropecuária, apresentando-se a maioria dessas áreas em estádios iniciais ou intermediários de sucessão ecológica (ARAÚJO FILHO, 1996).

Paralelo aos problemas gerados pela supressão vegetal e desertificação, a Paraíba é considerada como um dos Estados que melhor representa a flora da Caatinga, uma vez que grande parte do seu território é dominada pelo clima semiárido e abrange principalmente terrenos do complexo cristalino (ARAÚJO et al., 2005).

Porém o monitoramento das áreas com cobertura vegetal nativa é de extrema importância, uma vez que a manutenção dessa vegetação se faz necessária, para que não ocorra a substituição da vegetação nativa densa por vegetação rala ou por solo exposto, tendo em vista que um solo desprovido de vegetação se torna mais propício à degradação ambiental (COELHO, 2015). Dessa forma, entender a relevância da cobertura vegetal e do uso da terra é necessário, para identificar informações dos aspectos físicos, econômicos e sociais observados da escala local a global (PEREIRA, 2008).

Com o avanço das tecnologias voltadas para a identificação vegetal por sensoriamento remoto, o uso

das geotecnologias vem se tornando cada vez mais importantes para o monitoramento e acompanhamento de áreas com vegetação plantadas ou naturais, pois o sensoriamento remoto disponibiliza informações importantes sobre características dos povoamentos florestais (ALBA et al., 2016). O uso do sensoriamento remoto é cada vez mais necessário, haja vista as rápidas transformações que ocorrem no espaço, provocando os mais diferentes tipos de degradação, que podem gerar empobrecimento, erosão e compactação dos solos, e diminuir o padrão socioeconômico e tecnológico da população rural (RIBEIRO; CAMPOS, 2007).

Para a análise da vegetação nas áreas de Caatinga, grande parte dos trabalhos desenvolvidos têm como base o uso de índices de vegetação gerados por produtos do sensoriamento remoto, que fornecem importantes informações, além de serem muito utilizados em estudos sobre supressão vegetal e desertificação, pois até certo ponto são capazes de gerar dados valiosos na análise desse tipo de degradação (MARIN et al., 2012). Dentre as dificuldades encontradas ao utilizar-se os índices de vegetação, destaca-se que a caatinga é uma vegetação com muitas espécies de baixo porte e caducifólias.

Atualmente, dentre as diversificadas técnicas de processamento de imagens que possibilitam a exploração dos dados de sensores remotos na cobertura vegetal, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permite identificar a presença de vegetação e caracterizar sua distribuição espacial e sua evolução no decorrer do tempo (ROSEMBACK; FRANÇA; FLORENZANO, 2005; LOBATO et al., 2010).

Desta forma esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de realizar uma análise multi-temporal da cobertura vegetal do município de Cabaceiras na Paraíba, por meio de índices de vegetação.

Esta referida lacuna de pesquisa científica, em termos de Brasil e mundo, entre índices de vegetação gerados por métodos independentes de sensoriamento remoto e o acesso direto aos dados, além do acesso a área de estudo, representa, portanto, as justificativas e as principais motivações que fundamentam a proposta desta pesquisa.

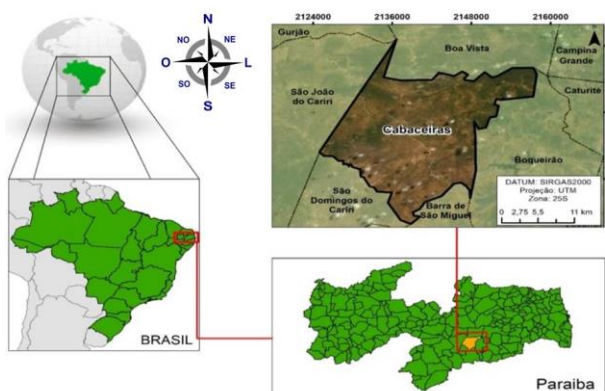
2. Material e métodos

2.1 ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

O município de Cabaceiras está localizado no estado da Paraíba, onde apresenta uma área de 400,22 km² (PATRÍCIO et al., 2013). O seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 7°18'36" e 7°35'50" de latitude sul e entre os meridianos de 36°12'24" e 36°25'36" de longitude oeste (EMBRAPA, 2020).

Estando desta forma, inserido na mesorregião da Borborema e microrregião do Cariri Oriental, tendo limites com os municípios de São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista conforme fica evidenciado na (Figura 4).

Figura 1 – Localização do município de Cabaceiras-PB e suas respectivas divisas



Fonte: Autor (2022).

Em toda a região de Cabaceiras, a vegetação encontrada é predominantemente do tipo caatinga hiperxerófila. É uma região tradicionalmente pastoril, com predominância da criação de caprinos, no qual os caprinos dependem da vegetação nativa (FRANCISCO, 2010).

De acordo com a classificação de Köppen o clima da área de estudo é considerado do tipo Bsh – clima quente; a temperatura média anual é de 24,0°C; a umidade relativa do ar média anual é de 63%; a evaporação real total média anual é de 338,4 mm/ano. As chuvas na região sofrem influência da massa Atlântica que surge do Sudeste e do Norte (Francisco et al., 2012).

Devido a essas características, Cabaceiras ficou sendo conhecido nacionalmente como o município mais seco do Brasil e sofre a influência da falta de recursos hídricos bem como da extração de seu

bioma desenfreado e sem o devido manejo legal. Sendo, portanto, fundamental o monitoramento e mapeamento de sua cobertura vegetal.

2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

2.2.1 Dados MapBiomass

A primeira parte do trabalho contou com a coleta de dados referente ao município de Cabaceiras-PB, através da plataforma <https://mapbiomas.org/>. Uma vez que aberta a plataforma, existirá uma aba de acesso aos “dados e mapas” disponibilizados de forma gratuita. Após a coleta de dados referentes formação florestal e as áreas não vegetadas, ambos do Município de Cabaceiras-PB nos anos de 1985 até 2019 (hec) e também da série de tempo de superfície de água dos anos de 1985 até 2019 (hec/ml).

A partir dos dados coletados, foram gerados gráficos em forma das figuras (5, 6 e 7), a fim de comparar os resultados obtidos através das imagens por meio de índices de vegetação nos períodos de 2009 e 2019.

2.3 ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS PARA O MUNICÍPIO DE CABACEIRAS – PB

2.3.1 Aquisição das Imagens

Do ano de 2009 foram utilizadas imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM)/Landsat 5, do dia 28/10/2009, e do ano de 2019 foram utilizadas imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI)/Landsat 8, do dia 25/11/2019.

Elas foram obtidas gratuitamente junto ao *United States Geological Survey* (USGS) pelo do site <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Sendo escolhidas as que apresentavam a menor quantidade de nuvens.

2.3.2 Software

O *software* utilizado para o processamento das imagens é QGIS 3.4.13, que é um Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito e de código aberto. No programa é possível trabalhar com diversos formatos vetoriais, matriciais e com gerenciamento de banco de dados. Nele foi reprojetoado para a projeção UTM SIRGAS2000, Fuso 24S. Com essas projeções ocorreu à obtenção dos índices de vegetação.

2.3.3 Índices de Vegetação

Os sensores remotos possuem a capacidade de captar as diferentes reflectâncias das vegetações, mesmo que elas estejam compostas de indivíduos em diversos níveis de desenvolvimento (Canavesi; Ponzoni, 2010).

Os índices de vegetação podem ser entendidos como medidas radiométricas adimensionais, geradas por meio de fórmulas matemáticas que fazem uso de dados multiespectrais dos sensores. Eles são importantes para realçar o componente espectral da vegetação, pois a combinação de bandas espectrais tende a mostrar de forma mais sensível às variações nas estruturas da vegetação.

A literatura apresenta diferentes tipos de índices de vegetação, os quais podem ser obtidos por diversas metodologias, onde cada um apresenta uma particularidade e especificidade (Moreira, 2011). Conforme Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2015), os índices que são mais aplicados devido as suas características e amplamente utilizados na caracterização de biomassa e formações florestais, são: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) e o *Simple Ratio Index* (SRI). Representados nas seguintes expressões NDVI, SRI e SAVI, respectivamente.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})}$$

$$SRI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{red}}$$

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(L + \rho_{NIR} + \rho_{red})}$$

Em que:

ρ_V , ρ_{IVP} referem-se ao fluxo radiante refletido no vermelho (visível) e ao fluxo radiante refletido no infravermelho próximo, respectivamente; L é a constante que minimiza o efeito do solo.

O NDVI é o mais difundido, por ser bastante aplicado na série Landsat para o monitoramento de vegetação, por meio de análises temporais da vegetação. Ele trabalha a razão entre a diferença das bandas do infravermelho e vermelho do visível e pela soma deles, tornando-se um indicador sensível da vegetação. Com isso, permite fazer comparações de atividades e mudanças da vegetação (Rouse et al. 1973; Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2015).

O SRI foi o primeiro índice a ser estudado e usado em mapeamento em grandes áreas. Ele baseia-se apenas na relação da radiação eletromagnética na

região do vermelho que na do infravermelho, ou seja, na diferença entre eles, onde quanto mais densa a vegetação da área, maior será o valor da razão (BergeR, 2014).

O SAVI leva em consideração a característica do solo, visto que ela tem influência direta na determinação nos cálculos de índices de vegetação, principalmente os efeitos do solo exposto. A constante L é que faz esse ajuste para eliminar o efeito do solo (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2015).

Conforme Huete (1988), a constante apresenta valores definidos quando a densidade da vegetação, sendo elas $L=1$ para densidade baixa de vegetação, $L=0,5$ para densidade média de vegetação e $L=0,25$ para vegetações mais densas.

2.3.4 Dados cartográficos

A base cartográfica com os dados correlatos ao estudo foi organizada e ajustada ao sistema de referência SIRGAS2000.

Dados a serem utilizados:

- Dados vetoriais no formato *shapefile* da Malha Municipal Digital do Brasil, escala 1:250.000 do ano de 2018, fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018);
- Mapa de solos de Paraíba, fornecido pela Embrapa em formato digital;
- Informações pluviométricas da AESA para a região.

3. Resultados e discussão

Como se pode analisar na (Figura 5) que segue abaixo, gerada a partir de dados coletados pela plataforma do MapBiomias (2020) é possível verificar que ocorreu um aumento na formação florestal do município de Cabaceiras nos períodos de 1998, 2002 e 2006 e em 1995, 2011 e 2017 tiveram maiores quedas a partir de 2019 verifica que esses índices começam a retomada de crescimento. Também se pode verificar que o Município de Cabaceiras-PB, nos anos de 1989, 2008, 2018, obteve um aumento avassalador em termos de áreas não vegetadas, como mostra a (Figura 6). Essa queda está diretamente relacionada com os períodos de seca e queimadas, os índices pluviométricos baixos assim como mostra (Figura 7) tendo entre 1999, 2015, 2017 até 2019, seu pior momento, porém no período de 2009 obteve seu pico em termos superficiais de água.

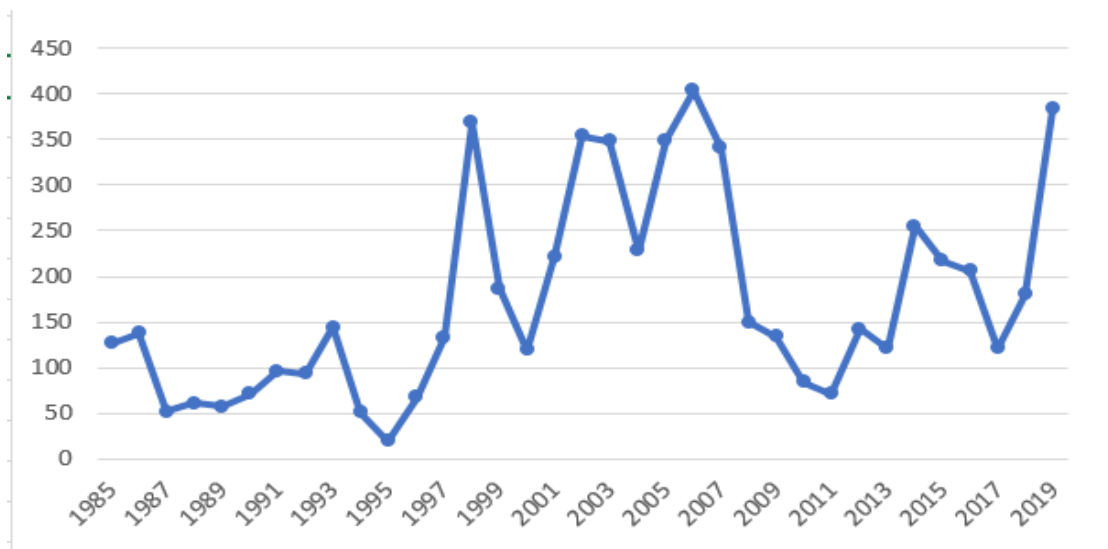


Figura 5 – Formação Florestal do Município de Cabaceiras-PB dos anos de 1985 até 2019 (hec). Dados coletados da plataforma do MapBiomas.
Fonte: Autor (2021).

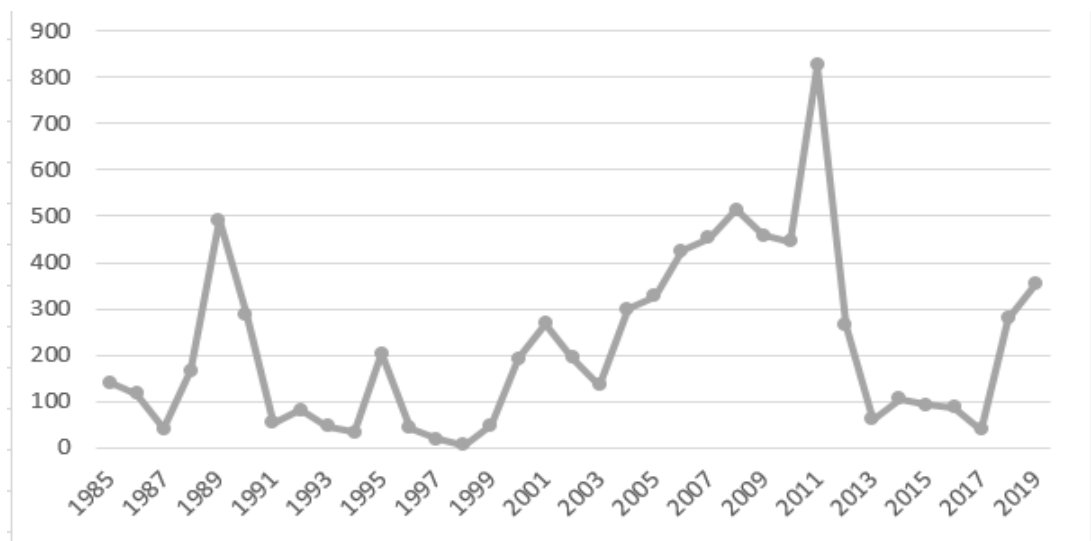


Figura 6 – Áreas não vegetadas do Município de Cabaceiras-PB dos anos de 1985 até 2019 (hec). Dados coletados da plataforma do MapBiomas. Fonte: Autor (2021).



Figura 7 – Série de tempo de superfície de água dos anos de 1985 até 2019 (hec/ml). Dados coletados da plataforma do MapBiomas. Fonte: Autor (2021).

Vale salientar que a partir desta pesquisa conseguimos ter uma perspectiva para o futuro após “momento COVID19”, onde é de fato que existirá uma queda no cenário da supressão da cobertura vegetal, devido à pandemia que se instaurou no país e no mundo.

Entende-se, todavia que, apesar do vírus que parou o mundo ter sido uma tragédia para o setor econômico e um colapso para a área da saúde, os benefícios puderam ser sentidos ao meio ambiente, uma vez que ocorreu a restauração da flora regional de diversas regiões. Isso se deu ao fato de diversas Leis e Decretos criados como forma de apoio ao fim do vírus vir a contribuir com o setor ambiental.

Na Paraíba, por exemplo, está proibido acender fogueiras em espaços urbanos durante os festejos juninos, enquanto perdurar a pandemia do novo Coronavírus sob Lei 11.711/2020 (BRASIL, 2021).

Período estes que eram o maior em termos de densidade no consumo madeireiro e extração de lenha do bioma local, outros decretos estaduais também atingiram os restaurantes, padarias entre outros setores que utilizam de fornos industriais. Diminuindo a porcentagem do consumo de lenha para abastecimento desses fornos.

Fazendo com que o processo de extração madeireira fosse cessado parcialmente. Porém mesmo ocorrendo o aumento na formação das florestas da Caatinga no município de Cabaceiras, o corte e a extração clandestina da lenha não estão definitivamente posto fim por completo, a supressão da vegetação também está fadada a cultura local, com cocção de alimentos e as queimadas, além dos baixos índices de chuvas na região.

3.1 Mapeamento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto

3.1.1 Resultado aplicando o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Na análise do NDVI foi possível diferenciar claramente as regiões com os seus níveis de vegetações entre os anos estudados.

Para o ano de 2009 o corpo hídrico é bem evidente apresentando 6% de toda área classificada.

A classificação da vegetação apresenta regiões com maiores concentrações da alta densidade de vegetação, ficando as de média densidade menos concentrada, mas em uma maior quantidade e as de baixa densidade dispersas no município, porém em pontos concentrados. O solo exposto é presente, mas não tem grande evidencia na área classificada.

O ano de 2019 já mostra uma grande separação entre as classes o que é evidenciado principalmente no corpo hídrico, na média e baixa densidade de vegetação, onde antes existia 6%, 42% e 12% de área, respectivamente, passou a ser 2%, 15% e 49%. O solo exposto continuou presente, mas sem muita representatividade.

Na análise comparativa temporal entre as classes estudadas, foi possível constatar alterações entre os anos. Houveram reduções e crescimentos de classes no intervalo estudado.

As que sofreram com a limitações foram os corpos hídricos que passaram de 26,374 km² para 7,898 km², denotando uma diminuição de área de 18,476 km², a vegetação de alta densidade saiu de 184,384 km² para 154,672 km², redução de 29,715 km², já a vegetação de média densidade foi a que mostrou maior queda, saindo de 188,953 km² para 66,106 km², uma diminuição de 122,847 km². A vegetação de baixa densidade foi a que expressou maior crescimento, saltando de 52,026 km² para 220,046 km², um aumento de 168,020 km². O solo exposto também apresentou crescimento de 1,269 km² para 4,434 km².

A Tabela 1 mostra as áreas classificadas em suas extensões e porcentagens. Na Figura 8, é apresentado a distribuição das classes encontradas após a classificação do NDVI para os anos estudados.

Tabela 1 Diferença entre as áreas das classes nos anos estudados (NDVI)

NDVI	2019		2009	
Classes	Área Km ²	%	Área Km ²	%
Água	7,8984	2%	26,374	6%
Alta densidade de vegetação	154,672	34%	184,387	41%
Média densidade de vegetação	66,106	15%	188,953	42%
Baixa densidade de vegetação	220,046	49%	52,026	12%
Solo exposto	4,434	1%	1,269	0%

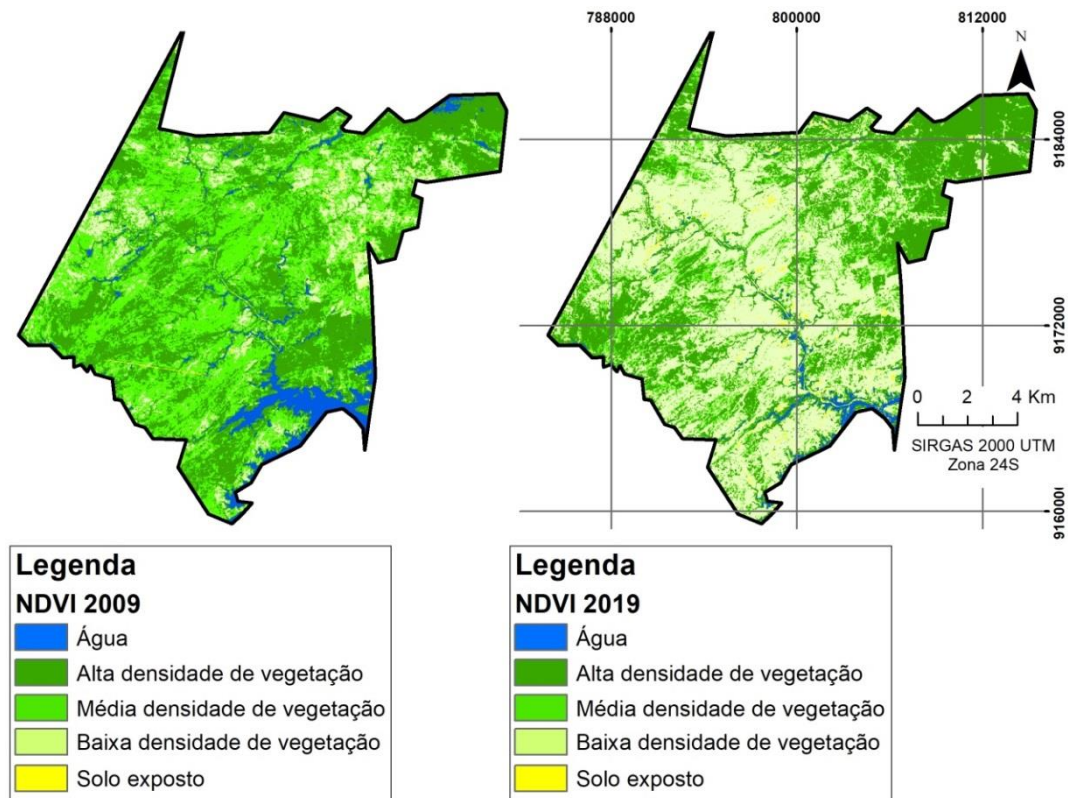


Figura 8 - Recortes temporais utilizando NDVI nos períodos (2009 e 2019) do Município de Cabaceiras-PB
Fonte: Autor (2021).

Deve-se lembrar de que o NDVI é considerado como um índice mais sensível para condições de baixa biomassa, tais como biomas com condições áridos ou semiáridos (Fan et al., 2009; Jensen, 2011), desse modo o índice está relacionado diretamente com o vigor vegetativo das plantas, que é a relação entre a diferença da banda do vermelho com infravermelho próximo (ALBA et al., 2016).

Além disso, pode sofrer a influência de pontos de saturação nas condições de biomassa abundante, tais como as florestas, não caracterizando adequadamente IAF (Ponzoni; Shimabukuro, 2010; Jensen, 2011).

3.1.2 Resultado aplicando o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

Os resultados obtidos no SAVI expressam similaridade com relação aos resultados do NDVI, mesmo que pequena a diferença entre eles está na amplitude das médias e intervalos das regiões mapeadas.

Para o ano de 2009 as áreas ficaram com valores aproximados, mas com porcentagem de áreas iguais para as classes de corpo hídrico com 6%, alta

densidade de vegetação com 41%, baixa densidade de vegetação com 12% e solo exposto com 0%. A única mudança foi em média densidade de vegetação com 41%.

No ano de 2019 ocorreu o mesmo para a aproximação dos valores de área e porcentagem. Na análise comparativa entre as classes observou-se o mesmo comportamento entre os anos estudados, ocorrendo redução da cobertura do corpo hídrico, passando de 26,341 km² para 7,877 km², uma diminuição de aproximadamente 18,455 km², da alta densidade de vegetação de 185,003 km² para 153,258 km², redução de 31,745 km² e da média densidade passando de 187,849 km² para 68,238 km². A vegetação de baixa densidade, assim como no NDVI apresentou crescimento, saindo de 52,518 km² para 219,714 km², um aumento de 167,197 km². O solo exposto acompanhou o que foi apresentado no NDVI crescendo de 1,299 km² para 4,060 km².

A Tabela 2 mostra as áreas classificadas em suas extensões e porcentagens. É importante ressaltar que os valores oriundos do SAVI estavam sem a influência do solo, que tende a apresentar uma vegetação mais uniforme, já que atenua os efeitos do solo, fazendo com que se tenha uma visualização mais real da área em estudo.

Tabela 2 Diferença entre as áreas das classes nos anos estudados (SAVI).

SAVI	2019		2009	
Classes	Área Km ²	%	Área Km ²	%
Água	7,887	2%	26,341	6%
Alta densidade de vegetação	153,258	34%	185,003	41%
Média densidade de vegetação	68,238	15%	187,849	41%
Baixa densidade de vegetação	219,714	48%	52,518	12%
Solo exposto	4,060	1%	1,299	0%

Fonte: Autor (2021).

O SAVI tem sido utilizado para diminuir o efeito do solo em condições de vegetação com cobertura média (Jensen, 2011). Dessa forma ressaltando bem o solo em exposição.

Segundo Alba et al. (2017), em decorrência do fator de correção, o índice apresenta uma maior sensibilidade as variações existentes a exposição do

solo, em função dos graus de fechamento da cobertura vegetal melhorando na identificação das componentes vegetais.

Os mapas dos diferentes anos com o índice SAVI obtido na classificação de acordo com os intervalos apresentados na geração do índice de vegetação são representados na Figura 9.

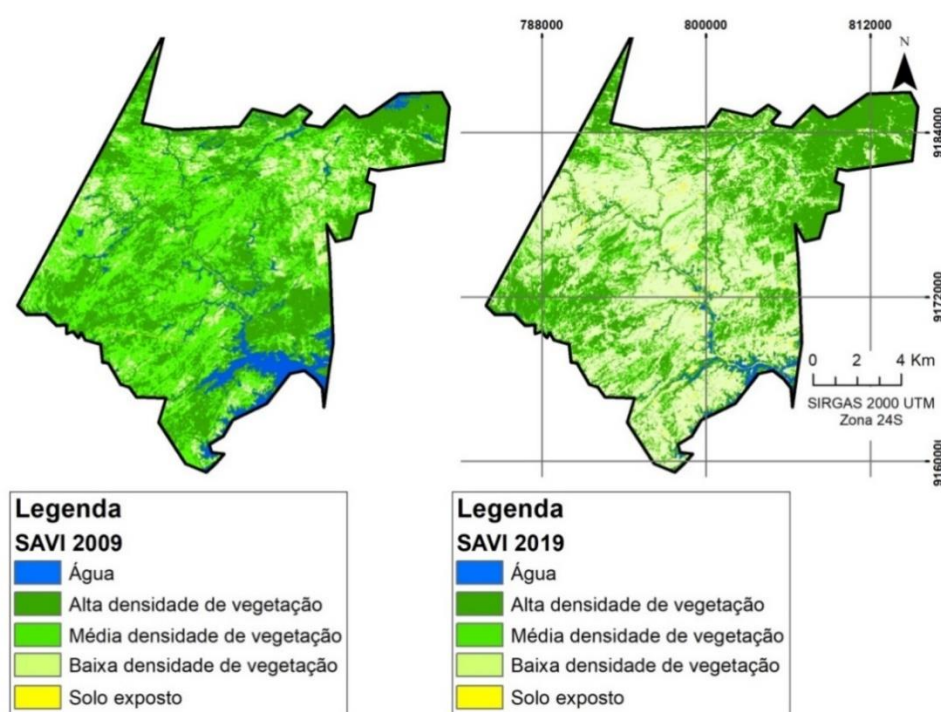


Figura 9 - Recortes temporais utilizando SAVI nos períodos (2009 e 2019) do Município de Cabaceiras-PB
Fonte: Autor (2021).

3.1.3 Resultado aplicando o Índice de Vegetação pela Razão

O SRI mostrou semelhança com os outros índices de vegetação estudados. Os índices NDVI e SAVI, apesar de mostrarem comportamentos

semelhantes, ambos são ligeiramente abaixo dos oriundos do SRI.

A área com vegetação de alta densidade conta com 41%, média densidade com 42% e corpo hídrico de 6% para o ano de 2009, ficando 2019, com 32%, 16% e 2% respectivamente, o que é observado na

Tabela 3, todos tiveram redução. A vegetação de baixa densidade e solo exposto apresentaram aumento de área, para o ano do 2009 a vegetação de baixa mostrou

11% e o solo exposto 0%, em 2019 passou a ser 49% e 1%, respectivamente.

Tabela 3 - Diferença entre as áreas das classes nos anos estudados (SRI).

SRI	2019		2009	
Classes	Área Km ²	%	Área Km ²	%
Água	9,149	2%	26,480	6%
Alta densidade de vegetação	146,927	32%	185,616	41%
Média densidade de vegetação	70,296	16%	190,002	41%
Baixa densidade de vegetação	222,915	49%	49,301	12%
Solo exposto	3,868	1%	1,611	0%

Fonte: Autor (2021).

Observa-se que na análise comparativa das classes do SRI, os valores encontrados seguiram uma mesma organização nas reduções e aumentos de áreas.

A cobertura do corpo hídrico teve uma diminuição de área de 26,480 km² para 9,149 km², redução de cerca de 17,330 km². A vegetação de alta e média densidade foram de 185,616 km² e 190,002 km², passando para 146,927 km² e 70,296 km², respectivamente. A vegetação de baixa densidade que era de 49,301 km² saltou para 222,915 km², o solo exposto que antes era 1,611 km² passou a ser 3,868 km² com aumentos de 173,614 km² e 2,257 km² na devida ordem.

Na Figura 10 têm-se as classificações obtidas para o SRI dos anos estudados. Neles podemos

verificar que qualitativamente os anos estudados mostraram maior discriminação das áreas.

Segundo Huete et. al (2002), os valores maiores para SRI são referentes a vegetação ter uma maior resposta para o infravermelho-próximo e vermelho, o que mostra uma maior sensibilidade para a biomassa.

Baseia-se no princípio de que as folhas absorvem relativamente mais radiação eletromagnética na região do vermelho (visível) do que na região do infravermelho.

Sendo assim, quanto maior a quantidade de folhas no dossel, maior será o valor da razão. (Jackson; Huete, 1991; Ponzoni; Shimabukuro, 2010).

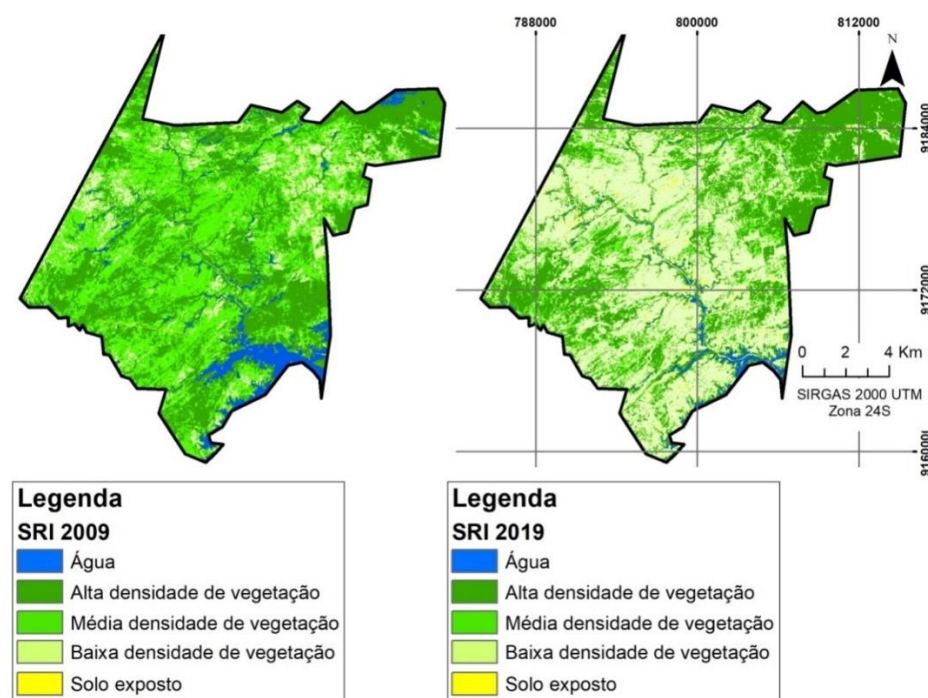


Figura 10 - Recortes temporais utilizando SRI nos períodos (2009 e 2019) do Município de Cabaceiras-PB
Fonte: Autor (2021).

Segundo Anjos (2017), os índices são sensíveis à vegetação, todavia podem sofrer alterações conforme o horário de medição, dia de coleta da cena,

4. Conclusão

Por meio do recorte do município de Cabaceiras, foi possível analisar a cobertura vegetal além de identificar a situação atual e as mudanças ocorridas no período de 2009 a 2019.

Através dos índices de vegetação utilizados nota-se que conseguiram identificar a variação espacial e temporal ocorridas na cobertura vegetal do bioma caatinga em Cabaceiras.

Conclui-se que há uma variação temporal e espacial na cobertura vegetal importante de destaque no município.

As imagens do NDVI, SAVI e SRI se mostram bem similares, porém nota-se que existe regeneração em alguns pontos, também mostra uma grande transformação de áreas de vegetação, levando ao aumento de vegetações de baixa densidade em detrimento das de alta e média densidade no período de 2009 a 2019, com destaque especial para a região central do município de Cabaceiras.

Esse resultado sugere que a atenção da fiscalização por meio dos órgãos ambientais tem sido dada para áreas específicas e a exploração da caatinga tem sido distribuída em todo município, aumentando a fragmentação florestal.

Esse resultado alerta para a dificuldade de fiscalização quando a exploração é realizada em pequenas áreas e distribuída em todo município.

Acredita-se que com o pós-pandemia por COVID-19 comece ocorrer uma regeneração maior nas áreas de baixa e média densidade uma vez que o mercado madeireiro sofreu com o fechamento de vários estabelecimentos nesse período. Podendo ser visto essas mudanças em trabalhos futuros na região.

5 Referências

- Alba, E.; Marchesan, J.; Mello, E. P.; Tramontina, J.; Silva, E. A.; Pereira, R. S. 2017; Uso de imagens de média resolução espacial para o monitoramento de dosséis de *Eucalyptus grandis*. Revista scientia agraria, sa vol. 18 Curitiba out/dez p. 01-08.
- Alba, E.; Pereira, R. S.; Bellé, P. A.; Marchesan, J.; Mello, E. P.; Silva, E. A.; Badin, T. L. Atmospheric correction evolution in the mapping of forest stands with OLI/Landsat 8 imagens. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 10(16) novembro Páginas: 185-191.
- Alba, E.; Pereira, R. S.; Silva, E. A. 2016; Atmospheric correction evaluation in the mapping of forest stands with oli/landsat 8 images. Australian journal of basic and applied sciences, 10 Nov., p. 185-191. Link de acesso: https://www.researchgate.net/publication/311532592_atmospheric_correction_evaluation_in_the_mapping_of_forest_stands_with_olilandsat_8_images.
- Anjos, C. S.; O sensoriamento remoto como ferramenta para planejamento de inventários florestais por índice de vegetação. 2017. (mestrado em ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Link de acesso: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29863>.
- Araújo Filho, J. A. Desenvolvimento sustentável da caatinga. Sobral (CE): Ministério da Agricultura/EMBRAPA/CNPQ, 1996. 45p. Link de acesso: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/514827>.
- Araújo, F. S.; Rodal, M. J. N.; Barbosa, M. R. V.; Martins, F. R. Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga. In: Araújo, F. S.; Rodal, M. J. N.; link de acesso: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19057/1/flora.pdf>.
- Berger, R. 2014; Índice de área foliar estimado por ferramentas de sensoriamento remoto para a otimização de inventários em florestas plantadas. 2014. 35 f (doutorado em ciências florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014. Link de acesso: http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/rute_berger_0.pdf.
- Benicio, P. C. N, 2018 ; Análise de dados ASTER e TOPODATA usando índices físicos. Dissertação de Mestrado, UFPE, 2018. Recife-PE. Link de acesso: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30585>
- Canavesi, V.; Ponzoni, F.J, 2010. Caracterização espectral de plantios de Eucalyptus utilizando dados hyperion eo-1 e srtm. Ambiência, v.6, p.127-136, 2010. Edição especial. Link de acesso: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/891>.
- Coelho, I. A. M. 2015; Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de floresta/pe através de processamento digital de imagens. Revista geama, recife, v.2, 7-24, 2015. Link de acesso: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/486/1427>
- Drumond, M. A.; Kiill, L. H. P.; Lima, P. C. F.; Oliveira, M. C.; OliveirA, V.R.; Albuquerque, S. G.; Nascimento, C. E. S.; Cavalcante, J. 2000. Estratégias para o uso sustentável da

- biodiversidade da caatinga. In seminário para avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga. Embrapa/cpatsa, UFPE e conservation international do Brasil, Petrolina, 2000. Link de acesso: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/134000/1/ususustentavel.pdf>.
- Fan, L. *et al*, 2009. Investigating the relationship between ndvi and lai in semi-arid grassland in the inner mongolia using in-situ measurements. *Theoretical and applied climatology*, wien, v. 95, p. 151-156, 2009. Link de acesso: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009thapc..95..151f/abstract>.
- Francisco, P. R. M, 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do estado da paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 2010. 122f. Dissertação (manejo de solo e água). Centro de ciências agrárias, universidade federal da paraíba. Areia, 2010. Link de acesso: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/classificacao%20e%20mapeamento%20das%20terras.pdf.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. DE B.; Lima, E.R.V DE. 2012. Mapeamento das terras para mecanização agrícola – estado da paraíba. *Revista brasileira de geografia física*. V. 5, p 233-249. Link de acesso: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/mapeamento%20terras%20mecanizacao.pdf
- Huete a. R. 1988; a soil-adjusted vegetation index (savi). *Remote sensing of environment* 1988; 25(3): 295-309. [Http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-x](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-x).
- Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the modis vegetation indices. *Remote sensing of environment*, v.83, p.195-213, 2002. Doi: 10.1016/S0034-4257(02)00096-2.
- Jackson, R. D.; Huete, A. R. Interpreting vegetation indices. *Preventive veterinary medicine*. V. 11, n. 2, p. 185-200, 1991. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80004-2)
- Jensen, J. R. Sensoriamento remoto da vegetação. In: JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. Ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011. Cap. 11, p. 357-410. Link de acesso: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/04.01.14.00/doc/jensen.pdf>
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. *Deutsche gesell-schaft für technische zusammenarbeit (gtz). Eschborn-alemanha*. P. 294-296; 272-274; 310-313. Link de acesso: <https://www.worldcat.org/title/silvicultura-nos-tropicos-ecossistemas-florestais-e-respectivas-especies-arboreas-possibilidades-e-metodos-do-aproveitamento-sustentado/oclc/693471540#relatedsubjects>
- LAPIS – laboratório de análise e processamento de imagens de satélites. Mapa da delimitação do bioma caatinga no semiárido, Brasil, 2018. Link de acesso: <https://mapbiomas.org/download>
- Marin, A. M. P.; CavalcantE, A. M., Medeiros, S. S., Tinôco, L. B. M., Salcedo, I. H, 2012. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Parc. Estrat. • Brasília-DF • v. 17 • 87-106 • jan-jun 2012*. link de acesso: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:orrb1vdxp2kj:seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/671/615+&cd=1&hl=pt-br&ct=clnk&gl=br
- Monteiro, T. R. R. 2013; Uso dos solos, índices de vegetação e degradação na APA das Onças-PB. Dissertação de Mestrado da UFPB, 2013. João Pessoa-PB. Link de acesso: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5863/1/arquivototal.pdf>
- Moreira, M. A, 2011. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4 ed. Viçosa: editora da ufv, 2011. Link de acesso: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/cap1_ecmoraes.pdf
- Myers, N; Mittermeier IT, R. A; Mittermeier, C. G 2000; Fonseca, G. A. B; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, n 403, p.853-859, 2000. Link de acesso: <https://www.nature.com/articles/35002501>
- Patrício C. M. M.; Francisco, P. R. M.; Dantas, R. T.; Análise da degradação ambiental do município de Cabaceiras-PB, xlii congresso brasileiro de engenharia agrícola – CONBEA. Ceará - 2013. link de acesso: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/analise%20da%20degradacao%20ambiental%20do%20municipio%20de%20cabaceiras-pb.pdf
- Pereira, L. V, 2008. Análise espacial da evolução da cobertura e uso da terra no distrito de Santa Flora, Santa Maria, RS. 2008. 100 f. Dissertação (mestrado em geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Link de acesso: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9499/lucianopereira.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E 2010. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: parêntese, 2010. 127 p. Link de acesso: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.11/doc/cap8_fjponzoni.pdf

- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M.; Sensoriamento remoto da vegetação. 2. Ed. Atualizada e ampliada, São Paulo, oficina de textos, 2015. Link de acesso: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=950910&biblioteca=vazio&busca=autor%22shimabukuro,%20y.%20e.%22&qfacet=s=autor%22shimabukuro,%20y.%20e.%22&sort=&paginacao=t&paginaatual=1>
- Quarto Júnior, P.; Xavier, A.C.; Lima, J.S. De S, 2008. Investigação do ndvi e reflectância das bandas do vermelho e infravermelho-próximo de sensores distintos simulados por meio de dados do hyperion para cana-de-açúcar e floresta natural. Engenharia na agricultura, v.16, p.408-415, 2008. Doi:<https://doi.org/10.13083/reveng.v16i4.57>
- Ribeiro, F. L.; Campos, S 2007. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do alto rio pardo, Pardinho/SP. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, Campina Grande, v. 11, 628–636, 2007. Link de acesso: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/g5qnr5vjchqrh8bx-dnytxcj/?lang=pt&format=pdf>
- Rosemback, R; França, A. A. S 2005; Florenzano, T. G. Análise comparativa dos dados ndvi obtidos de imagens ccd/cbers e tm/ landsat5 em uma área urbana. In: xii simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2005, Goiânia. Anais, São José dos campos: INPE, 2005. P.1075-1082. Link de acesso: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:t_r3yrvmhl4j:marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/tid.inpe.br/sbsr/2004/11.16.17.49/doc/1075.pdf+&cd=1&hl=pt-br&ct=clnk&gl=br
- Sampaio, Y.; Batista, J. E. M. 2004. Desenvolvimento regional e pressões antrópicas no bioma caatinga. In: J.M.C. Silva, M. Tabarelli, M.T. Fonseca & L.V. Lins (orgs.). Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. P. 311-324. Ministério do meio ambiente, Brasília. 2004. Link de acesso: [https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=999078&biblioteca=vazio&busca=autor%22lins,%20l.%20v.%20\(org.\).%22&qface ts=autor%22lins,%20l.%20v.%20\(org.\).%22&s ort=&paginacao=t&paginaatual=1](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=999078&biblioteca=vazio&busca=autor%22lins,%20l.%20v.%20(org.).%22&qface ts=autor%22lins,%20l.%20v.%20(org.).%22&s ort=&paginacao=t&paginaatual=1)
- Souza, B. I.; Suertegaray, D. M. A.; Lima, E. R. V 2010. Políticas públicas, uso do solo e desertificação nos cariris velhos (pb/brasil). Barcelona (esp.): scripta nova, v. Xiv, enero de 2010. Link de acesso: www.ub.edu/geocrit/sn/sn-311.htm