

ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA – CE, COM USO DE ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO NOS ANOS DE 2001, 2014 E 2020

João Paulo Lopes RODRIGUES ¹

Thais Carvalho de ABREU ²

Marta Celina Linhares SALES ³

RESUMO

A problemática da desertificação do município de Irauçuba-CE, pode ser estudada na perspectiva de técnicas do sensoriamento remoto. Nesse contexto, a análise de imagens em épocas diferentes vem contribuindo nas pesquisas sobre desertificação e degradação do solo ao longo dos anos, sendo assim um relevante procedimento para nortear, por exemplo, ações preventivas e mitigadoras que podem ser aplicadas para as regiões em que ocorram esses fenômenos. Desse modo, o presente trabalho tem como finalidade analisar e mapear a dinâmica da cobertura vegetal no município de Irauçuba-CE nos anos 2001, 2014 e 2020, que foram escolhidos conforme a qualidade das imagens disponíveis e dos períodos mais relevantes do ponto de vista climático. Nesse sentido, foram realizados procedimentos para a obtenção de índices de vegetação, como o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Os resultados serão gerados a partir das imagens dos satélites Landsat 5, sensor TM e Landsat 8, sensor OLI. Utilizou-se o software QGIS versão 3.10.6 para o processamento das imagens, cálculo dos índices e mapeamentos. A partir dos mapas de NDVI desses anos, percebeu-se a importância da espacialização desses dados, visto que a sua distribuição é bastante diferente entre eles.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Cobertura vegetal. Desertificação.

¹ Doutorando em Geografia pelo ProPGeo – Universidade estadual do Ceará (UECE).

² Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

³ Professora Associada do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

ANALYSIS OF VEGETATION COVER IN THE MUNICIPALITY OF IRAUÇUBA – CE, USING SPECTRAL VEGETATION INDEXES IN THE YEARS 2001, 2014 AND 2020.

ABSTRACT

The problem of desertification in the municipality of Irauçuba-CE can be studied from the perspective of remote sensing techniques. In this context, the analysis of images at different times has contributed to research on desertification and soil degradation over the years, thus being a relevant procedure to guide, for example, preventive and mitigating actions that can be applied to regions where they occur. these phenomena. Therefore, the purpose of this work is to analyze and map the dynamics of vegetation cover in the municipality of Irauçuba-CE in the years 2001, 2014 and 2020, which were chosen according to the quality of the available images and the most relevant periods from a climatic point of view. In this sense, procedures were carried out to obtain vegetation indices, such as the normalized difference vegetation index (NDVI). The results will be generated from images from Landsat 5 satellites, TM sensor and Landsat 8, OLI sensor. The software QGIS version 3.10.6 was used to process the images, calculate the indices and mappings. From the NDVI maps of these years, the importance of spatializing these data was clear, as their distribution is quite different between them.

Keywords: Remote sensing. Vegetal cover. Desertification.

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios relatos da ocupação da região Nordeste, nota-se a exploração excessiva dos recursos naturais como o pastoreio excessivo, extrativismo vegetal e a execução de técnicas agrícolas inadequadas às condições do meio. Além destes fatores, existem condições ambientais da região, como as baixas precipitações, que ocorrem de forma concentrada em uma época do ano, as altas taxas de evapotranspiração, devido à grande radiação solar recebida em longos períodos e a ocorrência frequente de secas, que tornam o local vulnerável a fenômenos como a desertificação (Sampaio *et al.* 2005).

A relevância de estudos na temática da desertificação ocorre pelos altos custos e um tempo longo envolvidos na recuperação de áreas desertificadas e cujo fenômeno, conforme Sales (2006), cresce vertiginosamente e assola grande parte da população mundial.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto é uma opção no estudo da temática, visto que, dentre outras vantagens, proporciona a obtenção de informações sobre locais remotos e de difícil acesso, além de ser um método menos oneroso comparado a trabalhos de campo (Higginbottom; Symeonakis, 2014). Nesse contexto, o monitoramento por imagens de satélite permite a comparação temporal, por exemplo, da vegetação para o acompanhamento da sua dinâmica.

Nesse sentido, a análise de imagens em diferentes períodos pode colaborar nas pesquisas sobre desertificação e degradação da terra ao longo dos anos, sendo assim um relevante procedimento para nortear, por exemplo, ações de mitigação e prevenção, principalmente em relação aos países em desenvolvimento, que são profundamente afetados pelas mudanças climáticas, que agravam esse processo em estudo (FAO, 2018).

Esta pesquisa teve como objetivo a determinar as condições de cobertura vegetal da região do município de Irauçuba, a partir de análises de imagens dos satélites Landsat 5 sensor *Thematic Mapper* (TM), e Landsat-8 sensor *Land Imager* (OLI) referente aos anos de 2001, de 2014 e de 2020, para auxiliar no monitoramento ambiental e tomada de decisões relacionadas à gestão do município de Irauçuba-CE, com a geração de mapas de cobertura vegetal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Sensoriamento Remoto (SR) foi definido por Elachi (1987) como “a aquisição de informação sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele”, uma delimitação bastante ampla. Já Novo (2008, p. 4) restringe essa ideia ao definir SR como:

a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem.

As imagens de satélite registram a dinâmica do ambiente ao recobrirem a superfície terrestre sucessivas vezes, o que possibilita o monitoramento de fenômenos do clima, desmatamento, erosão, dentre outros. Além disso, pode-se contribuir na identificação dos diferentes usos do espaço terrestre e acompanhar suas mudanças ao longo do tempo e espaço, calcular a área ocupada por cada tipo de uso, dentre demais aplicações em diferentes estudos. Dessa forma, o sensoriamento remoto é um instrumento para se buscar a compreensão e a solução para problemas socioambientais. Também possibilita a projeção de cenários, a obtenção de informações à distância e, algumas vezes, em tempo real, o que auxilia na gestão ambiental (Batistella et al., 2011).

Ainda conforme Batistella et al. (Ibidem), por meio de procedimentos do sensoriamento remoto é possível obter dados relevantes para se analisar as condições da vegetação.

Os índices de vegetação demonstram o comportamento do espectro da vegetação e podem ser obtidos pelo processamento de imagens de satélites. Atualmente, as técnicas mais utilizadas para a análise da cobertura vegetal utilizam o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), dentre outros.

Índices como o NDVI e SAVI possibilitam avaliar as mudanças ocorridas na paisagem. Nesta pesquisa, utilizou-se o NDVI para analisar a cobertura vegetal de Irauçuba ao longo dos anos 2001, 2014 e 2020.

Nesse sentido, Ponzoni e Shimabukuro (2009) comentam que NDVI varia de -1 a +1, no qual os tons de cinza mais claros representam os maiores valores e os mais escuros os menores

valores. Além disso, os autores afirmam que esse índice pode ser utilizado para comparar perfis da vegetação sazonal e temporalmente.

Conforme Melo (2011), os valores mais próximos de 1 demonstram uma maior cobertura vegetal, um estado mais denso, úmido e bem desenvolvido. Valores negativos representam a água, enquanto o valor zero corresponde às nuvens. Já os números referentes ao solo nu ou sem vegetação, ou sendo essa rala e esparsa são positivos, porém baixos.

De acordo com Ballén *et al.* (2016), O NDVI apresenta o intuito de amenizar os efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida.

O NDVI, proposto por Rouse *et al.*, (1973), pode ser obtido por meio dos valores de reflectância das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), o que pode ser visto na Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (760 – 900 nm);

RED = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao vermelho (630 a 690 nm).

Nesse contexto, devem ser consideradas a interferência atmosférica, a resolução espacial do sensor e os pontos de saturação nas faixas espectrais para a composição dos dados.

3 ÁREA DE ESTUDO

O município de Irauçuba situa-se na Região Nordeste do Brasil, no estado do Ceará, a 157 km da cidade de Fortaleza, e possui como coordenadas geográficas a latitude de 3° 44' 46'' e longitude de 39° 47' 00'', o que pode ser observado na (Figura 1). Sua área apresenta uma superfície de 1.461,3 km², e altitude aproximada de 152,52 m. Seus limites são os municípios: ao

norte, Itapajé, Itapipoca e Miraíma; ao sul, Sobral e Canindé; a leste: Tejuçuoca e Itapajé e, a oeste, o município de Sobral (Ceará, 2017).

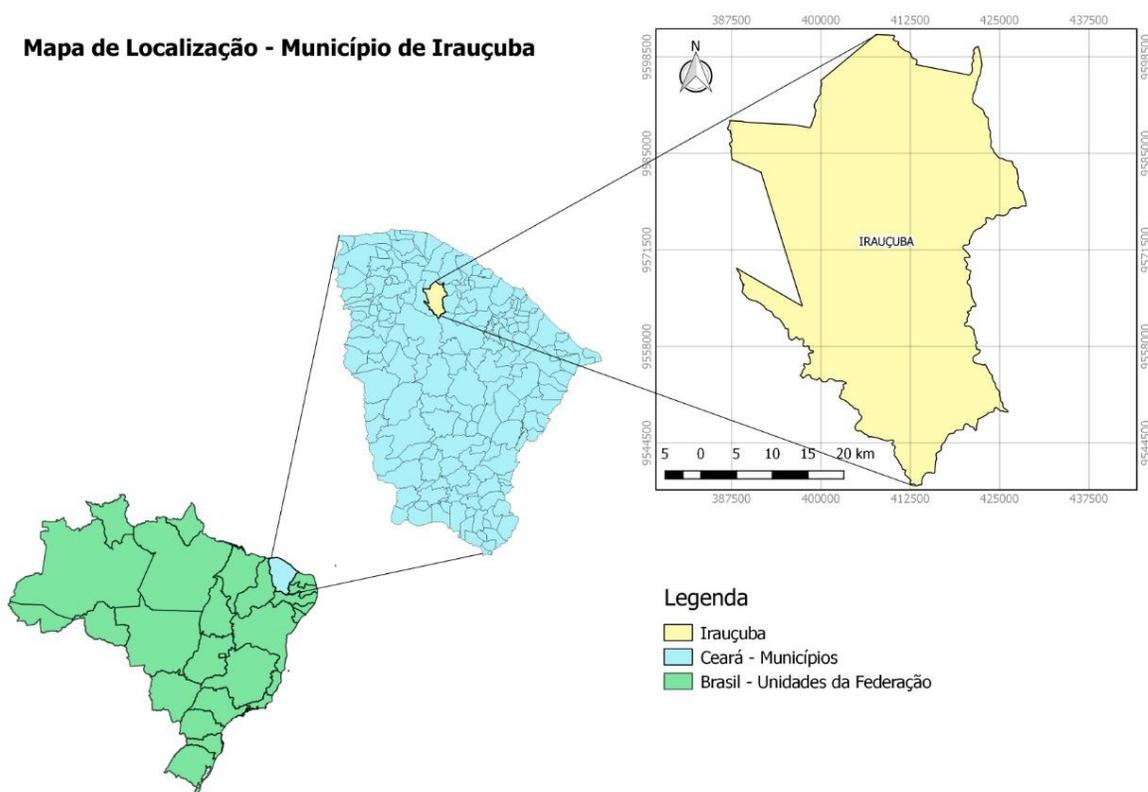


Figura 1 – Mapa de localização de Irauçuba/CE

Fonte: Elaboração dos autores.

Em termos de organização do ambiente natural, o município de Irauçuba apresenta três unidades geoambientais, são elas: Depressão Sertaneja, Maciços Residuais e Planícies Fluviais. A caracterização geoambiental baseia-se nas relações dos componentes naturais encontrados na paisagem. Deste modo, ela é um resultado de uma matriz de variáveis e fatores ambientais, com destaque para as condições geológicas, geomorfológica, hidrológicas, climáticas, pedológicas e fitoecológicas (Souza, 2000).

Conforme o Ceará (2017), o clima de Irauçuba classifica-se como Tropical Quente Semiárido, com precipitações pluviométricas médias anuais baixas (em torno de 539,5 mm), com o período chuvoso durante janeiro a abril, ou seja, a estação seca tem duração de oito meses consecutivos. A temperatura média anual está entre 26° C a 28° C.

De acordo com o mapa de solos elaborado pela Embrapa, os tipos de solos existentes na região de Irauçuba são os tipos Bruno não Cálcico (NC), Solos Litólicos (R) Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente Eutrófico (PE) e Planossolo (PL). No entanto, conforme Santos *et al.*(2018), esses respectivos solos foram renomeados como Luvisolo, Neossolo, Luvisolo e Planossolo.

A vegetação tem forte influência do clima pela elevada deficiência hídrica local. Na área de estudo, o tipo de cobertura vegetal predominante é a Caatinga Arbustiva Aberta (Figura 2) e a Caatinga Arbustiva Densa (Figura 3) (Ceará, 2017).



Figura 2 - Caatinga Arbustiva Aberta
Fonte: Arquivo pessoal dos autores.



Figura 3 - Caatinga Arbustiva Aberta
Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

A caatinga arbustiva é caracterizada pelo porte em menor altura, com caules retorcidos e esbranquiçados. As espécies mais frequentes nas Caatingas Arbustivas são: jurema (*Mimosa hostile*), catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), marmeleiro-preto (*Cróton sonderianus*), mandacaru (*Cereus jamacaru*), entre outras (Ceará, 2020)

Ainda de acordo com Ceará (2017), o município está inserido em relevo formado por Depressões sertanejas e Maciças residuais, com um pequeno trecho de Planície Fluvial.

A depressão sertaneja apresenta altitude abaixo dos 400 m, com média altimétrica entre 130-150 m, com topografia plana ou levemente ondulada. Contêm níveis de planaltos sedimentares ou cristalinos comuns, além da presença de solos rasos, afloramentos rochosos e chãos pedregosos. A vulnerabilidade dessa unidade geoambiental é alta, graças às secas e o pequeno potencial hídricos deficitário em quase todo o ano, além do solo e vegetação bastante degradados (Souza, 2000).

A planície fluvial, resultante da acumulação fluvial sujeitas a inundações periódicas, possui solos mais profundos, mas com moderadas condições de drenagem e com eventuais problemas de salinização (Souza, 2000).

Os maciços residuais são superfícies elevadas acima de 650-700m, com relevos em topos convexos e aguçados. Suas condições climáticas são úmidas e subúmidas, com precipitações superiores a 900 mm entre janeiro e junho. A vulnerabilidade tem um grau moderado às secas nas serras úmidas e subúmida e vulnerabilidade alta nas cristas, serras e agrupamentos de inselbergs (Souza, 2000).

4 METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizada a revisão bibliográfica no intuito do aprofundamento da problemática na região. A partir disso, foram obtidas as imagens de satélites para o processamento das mesmas no software QGis 3.10.6, cujo critério de escolha levado em consideração foi a baixa interferência de nuvens, visto que estas representam uma grande interferência nos valores obtidos pelo NDVI.

Após o processamento das imagens, foram obtidos os índices NDVI. Posteriormente, foram realizados levantamentos em campo para averiguar as características geoambientais atuais da região, como a situação dos solos e da vegetação.

O fluxograma geral das atividades pode ser observado na figura 4 a seguir:

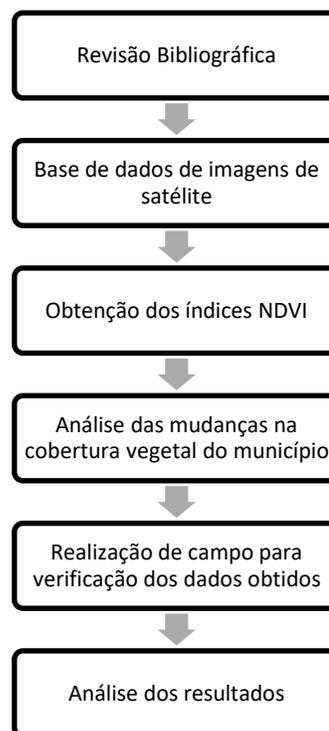


Figura 4 - Organograma Geral das atividades

Fonte: Elaboração dos autores.

Florenzano (2011) destaca a importância da data escolhida para a imagem devido a dinâmica da superfície terrestre. Assim, neste estudo da cobertura vegetal, foram utilizadas imagens da época da quadra seca, devido aos altos ângulos de incidência solar que resultam em menor sombreamento na imagem. Na região em estudo, esse período está concentrado nos meses de maio a dezembro (Ceará, 2017). Nesse sentido, o mês escolhido para a análise foi agosto.

A primeira etapa em relação à base de dados foi a aquisição das imagens disponíveis gratuitamente no catálogo da instituição United States Geological Survey (USGS), no endereço eletrônico <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Optou-se por utilizar os satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 TM pela alta diversidade temporal do seu catálogo de imagens, apresentando imagens gratuitas e atuais, com uma resolução espacial eficiente para a realização deste estudo.

As imagens selecionadas foram dos satélites Landsat 5 sensor *Thematic Mapper* (TM), órbita 217 e ponto 63, com data de passagem em 17/08/2001 e do satélite Landsat 8, sensor *Operational Land Imager (OLI)/Thermal Infrared Sensor* (TIRS), órbita 217, ponto 63 e órbita 218 ponto 63, com datas de passagem em 05/08/2014, 12/08/2014, 05/08/2020 e 12/08/2020, e, como pode ser acompanhado no quadro adiante (Quadro 1).

Quadro 1 – Satélites utilizados e suas respectivas órbitas, pontos e datas.

Satélite	Órbita	Ponto	Data
Landsat 8	217	63	05/08/2020
	218	63	12/08/2020
Landsat 8	217	63	05/08/2014
	218	63	12/08/2014
Landsat 5	217	63	17/08/2001

Fonte: Elaboração dos autores.

O período de agosto foi eleito por ser um mês que apresenta menor quantidade de nuvens devido ser no período de estiagem da região. No momento de triagem das imagens, foi utilizado como critério o grau de cobertura de nuvens abaixo de 10%, para um menor sombreamento da imagem e propiciar menores interferências na obtenção dos índices.

O software QGIS 3.10.6 proporcionou tanto o processamento e manipulação, quanto auxiliou na análise integrada dos dados e informações obtidas.

Na segunda etapa foi realizado o pré-processamento e processamento digital das bandas das imagens necessárias. Inicialmente, foi realizada a calibração das imagens de satélite para a correção atmosférica por meio do *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) do software QGIS 3.10.6, um tratamento que traz maior nitidez para as imagens.

Posteriormente foi feita a reprojeção dessas coordenadas do Sistema de Coordenadas de Referência (SRC) original, o WGS 84 / UTM zone 24N, para o SRC SIRGAS 2000/UTM 24S, que corresponde ao SRC do hemisfério sul e ao fuso da região em estudo.

Após os procedimentos de processamento, foi utilizada ainda a Calculadora Raster para a geração do NDVI. As etapas para o cálculo do NDVI para o Landsat podem ser vistas a partir da figura 5 adiante:

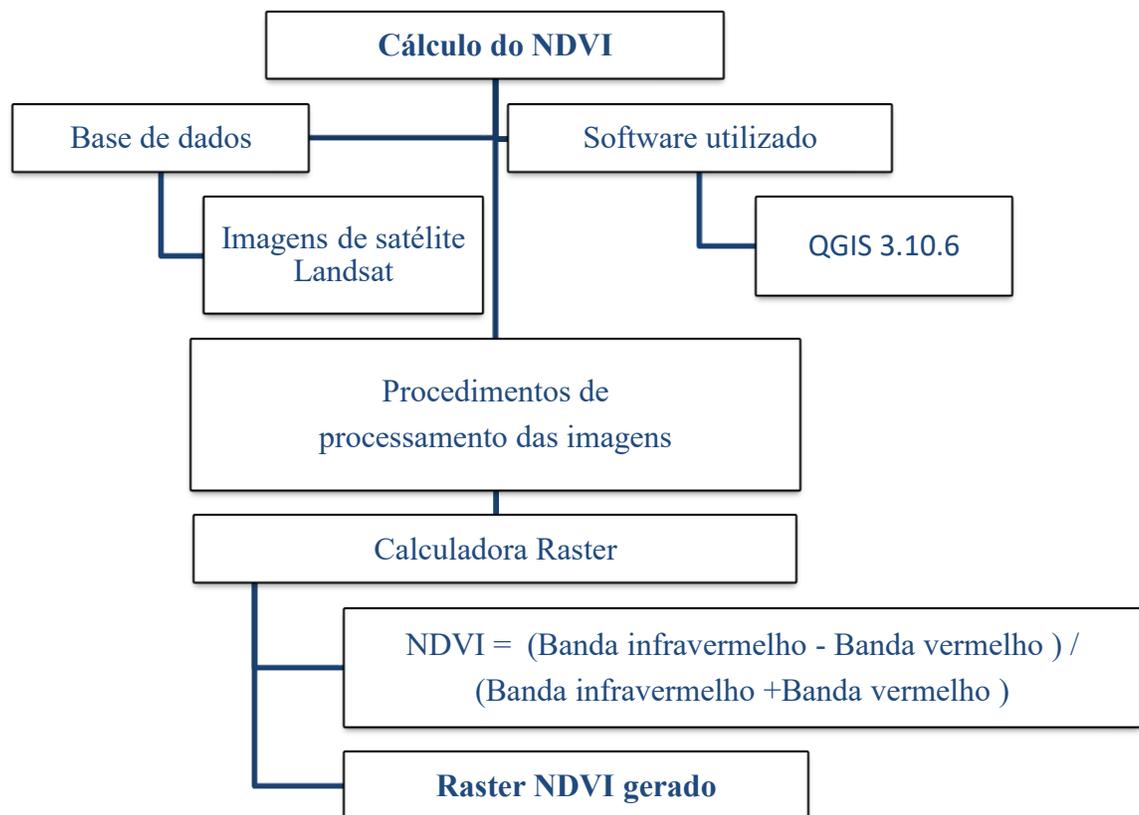


Figura 5 - As etapas para o cálculo do NDVI para o Landsat.

Fonte: Elaboração dos autores.

Como foi explicitado anteriormente, o NDVI pode ser obtido através da Equação 1. Deste modo, no momento do processamento das imagens de satélite obtidas na base de dados foram utilizadas para o Landsat 5, as Bandas 3 e 4 e as bandas 4 e 5, para o Landsat 8, que correspondem às suas regiões do visível vermelho e infravermelho próximo.

Nos anos 2010 e 2014, como está explicitado na figura 5, foram obtidas duas imagens de satélite para a cobertura total da região em estudo. Dessa forma, foi necessário realizar um mosaico com os arquivos raster dessas imagens, utilizando o *software* QGIS 3.10.6. Esse processo é

realizado por meio do ícone Raster > Miscelânea > Mesclar. Assim, obteve-se uma junção das imagens que abrange o município de Irauçuba.

Em seguida, delimitou-se a área de estudo, adicionando-se o arquivo *shape* correspondente à área de estudo obtido por meio do site do IPECE. Para isso, foi feito o recorte do raster gerado na junção das duas imagens a partir do *shape* do município.

A partir de então, foram gerados os mapas com o intuito de se averiguar mudanças no uso e cobertura do solo, por meio da análise de mudanças na vegetação entre os anos analisados. Para a ratificação dos índices de NDVI obtidos através do geoprocessamento foram realizados campos em pontos nas áreas do município de Irauçuba.

Em campo, por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e da coleta de dados em pontos, com diferentes valores gerados pelo *software* QGIS 3.10.6, foram conferidos sua confiabilidade em relação à realidade. Por fim, realizou-se a edição final dos mapas com a criação das legendas, paletas de cores, escala, indicação do Norte e informações gerais no QGIS 3.10.6

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os procedimentos no *software* QGIS foram gerados os mapas referentes aos anos de 2001, 2014 e 2020, com os valores do NDVI, para a região de Irauçuba.

Os valores do NDVI variam de -1 e 1, e quando negativo representa ausência de vegetação, enquanto os valores positivos representam sua presença. Ou seja, quanto maior for o seu valor, maior será o índice de vegetação. A cor vermelha representa nenhum índice de vegetação, ou a presença de corpos hídricos. Já os tons em cor de verde claro e verde escuro representam as áreas com vegetação. O tom pastel destaca regiões de solo exposto.

Na figura 6 é possível se analisar que no ano de 2020 grande parte do município apresenta o NDVI entre 0,3 e 0,5, um indício de solo exposto ou presença de cobertura vegetal aberta. A presença da coloração vermelha indica os locais com água e também a interferência de nuvens. Uma pequena região tem NDVI acima de 0,7, que representa uma cobertura vegetal fechada na área sul do mapa. Notou-se que para o ano de 2020, o NDVI diferenciou melhor a vegetação.

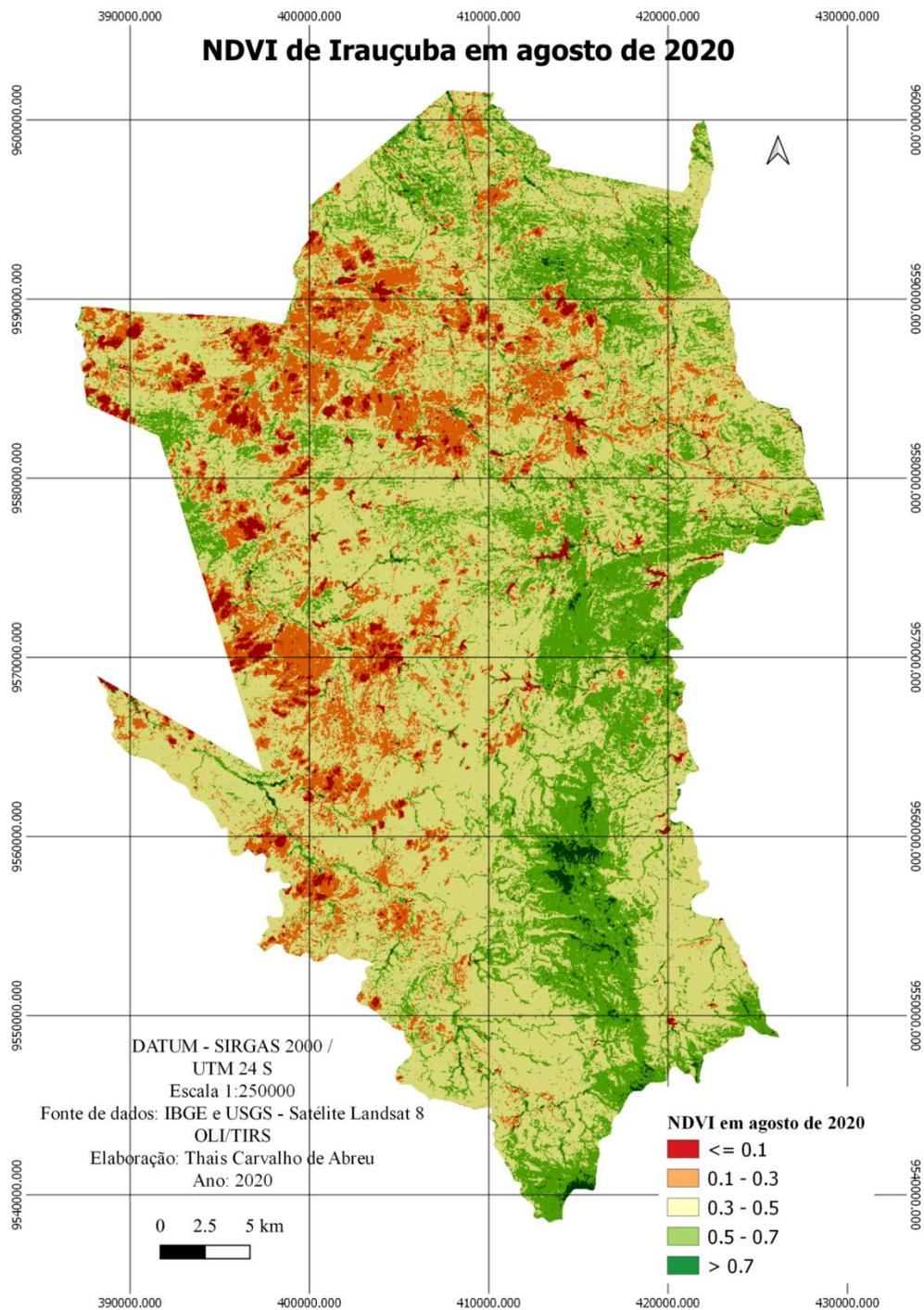


Figura 6 - Mapa do NDVI de Irauçuba em agosto de 2020.

Fonte: Elaboração dos autores.

No ano de 2014, apresentou-se o menor valor médio de NDVI para os anos analisados, com o valor de 0,38. O valor mínimo de NDVI apresentado nesse ano foi de 0,15 e o valor máximo de

0,66. A espacialização desses valores pode ser vista na Figura 7. Tais dados corroboram com a realidade, visto que esse ano apresentou baixíssima pluviosidade, interferindo no vigor e densidade da vegetação.

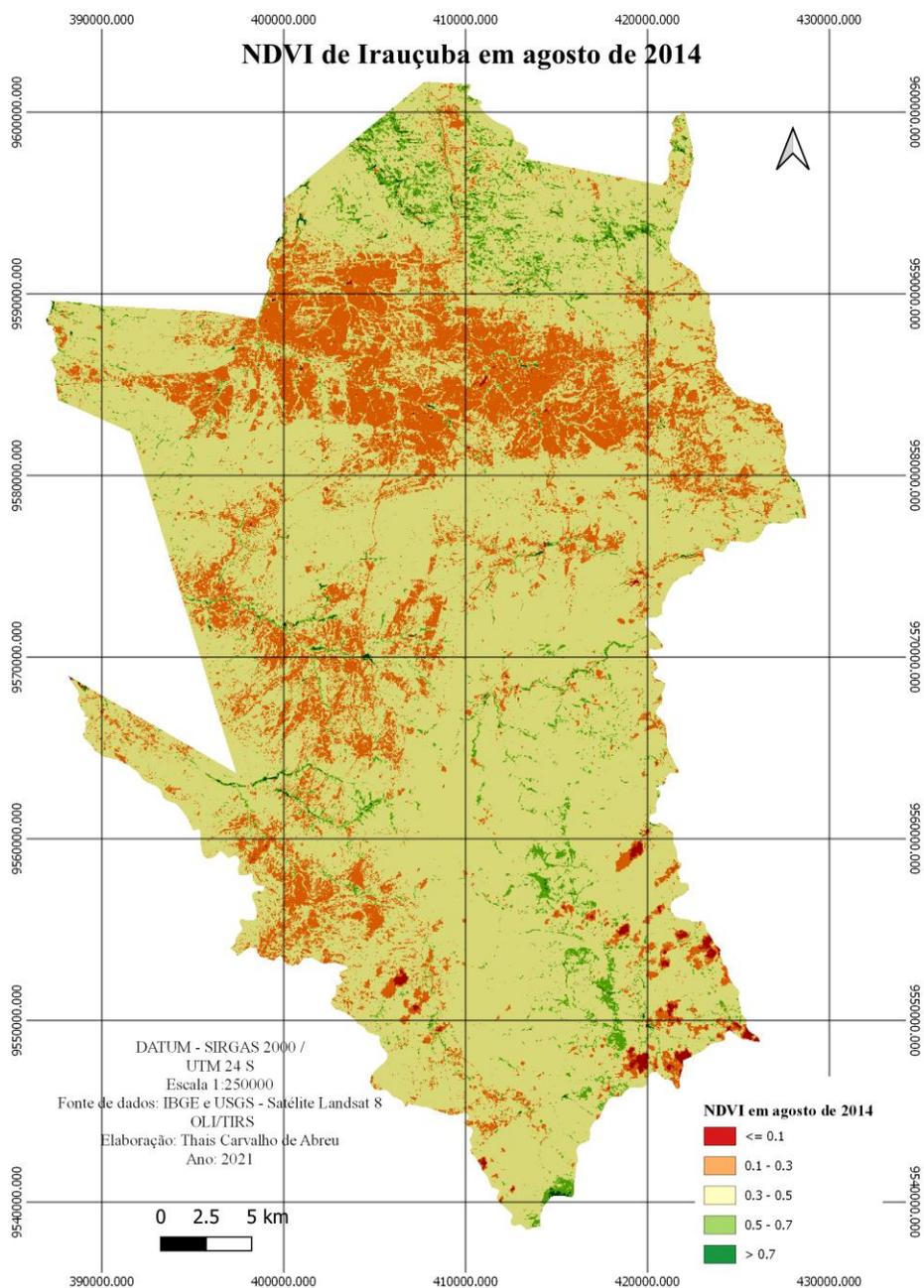


Figura 7 - Mapa do NDVI de Irauçuba em agosto de 2014.

Fonte: Elaboração dos autores.

Para o ano de 2001, a espacialização do NDVI está apresentada na Figura 8. Em suma, com o mapeamento obtido, notou-se que em 2020 houve maior densidade da vegetação e em de 2001 a menor.

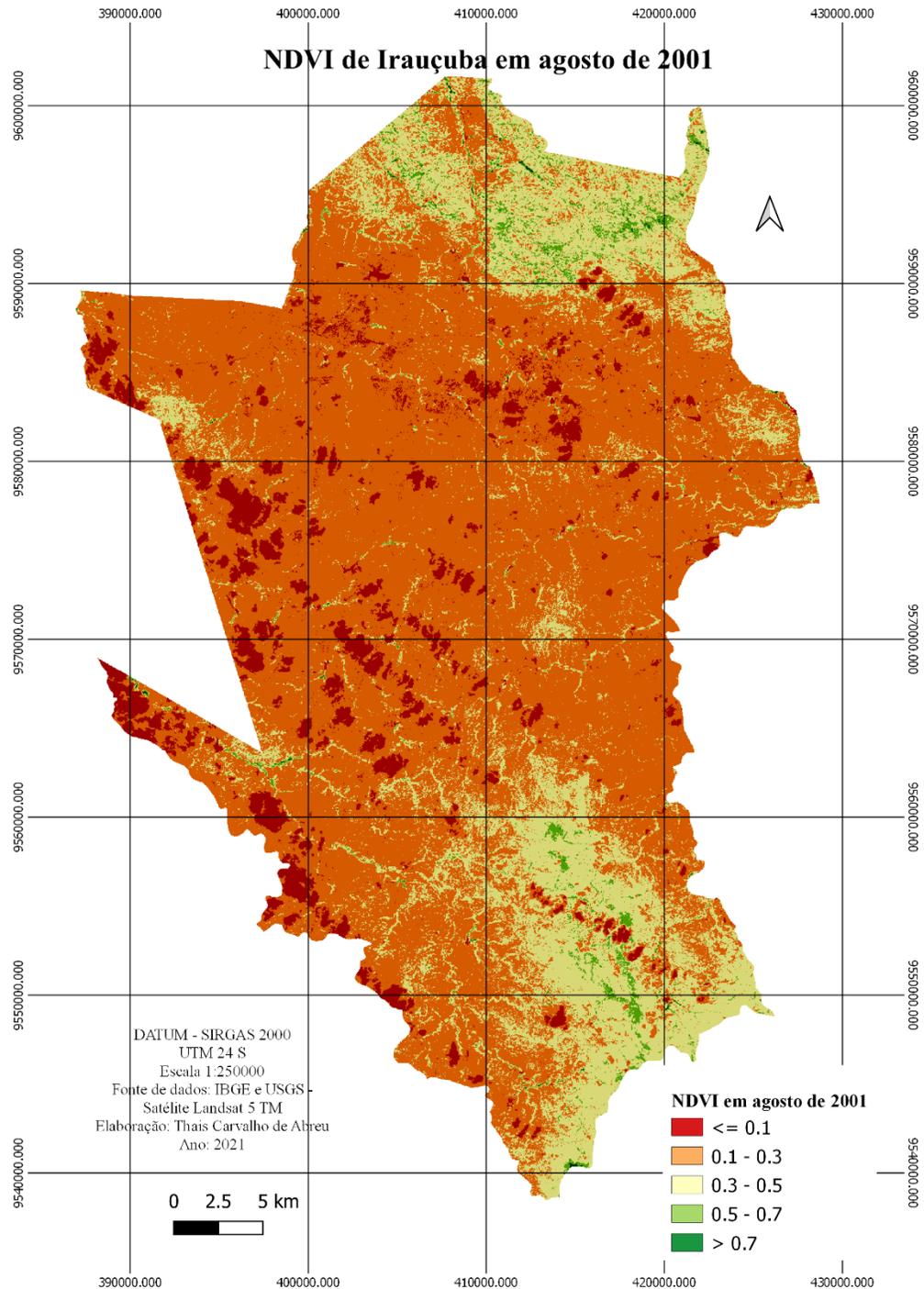


Figura 8 - Mapa do NDVI de Irauçuba em agosto de 2001.

Fonte: Elaboração dos autores.

No quadro 2 é possível ver os valores mínimo, máximo e médio para cada ano.

Quadro 2 - Valores encontrados para NDVI

Ano	Índices de vegetação	Valores mínimos	Valores máximos	Valor médio
2001	NDVI	0,16	0,65	0,41
2014	NDVI	0,15	0,60	0,38
2020	NDVI	0,16	0,66	0,41

Fonte: Elaboração dos autores

Na figura 9, a título de comparação, são apresentados os mapas obtidos do NDVI ao longo dos anos abordados. Nota-se que no ano de 2001, a maior intensidade da cor laranja, que representa um intervalo de NDVI entre 0,1 e 0,3. Tais valores mostram uma grande área de solo exposto ou com vegetação rala e espaçada nesse ano.

No ano de 2014, percebe-se uma maior região com coloração amarelada, com NDVI no intervalo de 0,3 a 0,5. De forma similar ao ano de 2001, notam-se baixos valores para o NDVI, apesar de um aumento. Isso pode indicar um período de menor exposição do solo em relação a 2001, porém, ainda com uma vegetação rala e dispersa.

No contexto do ano de 2020, nota-se uma grande mudança na coloração, com um aumento da região de área verde. Tal coloração representa os valores de NDVI no intervalo de 0,5 a 0,7, bem como valores acima de 0,7. Esses dados indicam uma maior cobertura vegetal, mais densa e desenvolvida.

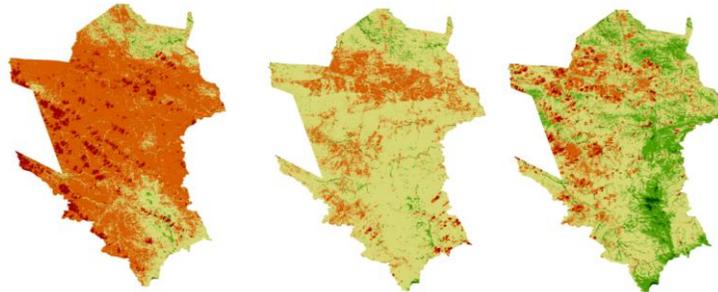


Figura 9 - Comparação do NDVI, respectivamente, dos anos de 2001, 2014 e 2020.

Fonte: Elaboração dos autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do comportamento da vegetação, associada às respostas de outros elementos presentes na paisagem, mostra as interações existentes no município de Irauçuba no Ceará. Nesta pesquisa, foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para realizar o estudo sobre a dinâmica da vegetação.

Os valores médios de NDVI foram similares nos anos de 2001 e 2020, no valor de 0,41. Além disso, houve semelhança nos valores mínimos e máximos, com o valor mínimo de 0,16 para ambos, e valor máximo de 0,65 para o ano de 2001 e 0,66 para o ano de 2020. Para o ano de 2014, o valor médio de NDVI foi menor, com 0,38. O valor mínimo de NDVI apresentado nesse ano foi de 0,15 e o valor máximo de 0,66.

A espacialização desses dados é importante, visto que trazem uma impressão que os anos estão em semelhantes situações da vegetação, o que não ocorreu. O ano de 2020 apresentou maior vigor vegetacional, enquanto o ano de 2014 foi o de menor representatividade da vegetação. O ano de 2001 apresentou situação da vegetação intermediária considerando os anos analisados.

Portanto, pode-se concluir que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI é um importante indicador do comportamento vegetacional, bem como um importante dado para o direcionamento de ações de intuito preventivo e recuperacional no âmbito ambiental.

7 REFERÊNCIAS

BALLÉN, L. A. C. *et al.* Análise espaço-temporal da cobertura vegetal na área de proteção ambiental do Cariri, Paraíba, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 3, p. 555-571, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/44558/22030>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BATISTELLA, M.; *et al.* Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, supl. especial, p.251-260, 2011.

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Congresso mundial de Ciência do solo**. 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1472352/>. Acesso em: 30 de jan. 2022.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p .

CEARÁ. INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Municipal 2017 Irauçuba**. 2017. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Iraucuba.pdf. Acesso em: 05 fev. 2020.

CEARÁ. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará em Mapas: Caracterização territorial**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12.htm>. Acesso em: 30 jul. 2020.

HIGGINBOTTOM, T.; SYMEONAKIS, E.. Assessing Land Degradation and Desertification Using Vegetation Index Data: current frameworks and future directions. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9552-9575, 2014.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *Ra'e Ga (Online)*, Curitiba, v. 23, 2011.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 127 p.

ROUSE, J. W, *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 (ERTS-1) Symposium.** Washington: NASA, 1973. v. 1, sec. A, p. 309-317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, M.S.B., SAMPAIO, Y.S.B. Impactos Ambientais da Agricultura no processo de desertificação no nordeste do Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Solos, Sustentabilidade e Qualidade Ambiental, 30, Recife. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Solos, Sustentabilidade e Qualidade Ambiental.* Recife, 2005.

SOUZA, M. J. N. Bases geoambientais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. *In: LIMA, L. C. (Org.). Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará.* Fortaleza: FUNEME, 2000. p. 6-103.

Data de recebimento: 16 de fevereiro de 2024.

Data de aceite: 11 de junho de 2025.