

Uma análise espaço-temporal da vegetação no município de Crateús (Ceará)

Douglas Cavalcante Holanda ¹*

¹Licenciando em Geografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil. (douglas.contato.holanda@gmail.com)

Histórico do Artigo: Submetido em: 26/08/2024 – Revisado em: 28/10/2024 – Aceito em: 02/03/2025

RESUMO

A vegetação constitui-se como parte essencial da paisagem, exercendo dinâmicas sobretudo climáticas, atualmente a diminuição da vegetação vem ocasionando a desertificação do semiárido brasileiro, tal problemática é caracterizada pela exposição dos solos e aumento da temperatura de superfície. O presente artigo buscou analisar a evolução, bem como a influência da vegetação no clima do município de Crateús no período de estiagem, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) e da Temperatura de Superfície Terrestre (TST), obtidos através do geoprocessamento de dados provenientes do Landsat 8, no estudo também buscou-se analisar a influência da precipitação pluviométrica anual sobre a vegetação, por meio de dados da FUNCEME. Para análise da evolução temporal da vegetação em Crateús, foram selecionadas imagens do satélite Landsat 8 dos anos de 2014, 2018 e 2023, para os meses de outubro e novembro por se tratar de períodos de estiagem, com ausência de chuvas. Por meio do estudo, conclui-se que a vegetação do município é influenciada pelo regime de chuvas anuais, tendo importância fundamental na cobertura e conservação dos solos, sobretudo sua importância é definida na ação climática do município, onde foram constatadas temperaturas amenas em áreas densamente vegetadas, sendo fundamental sua preservação, é também evidente a importância do sensoriamento remoto como ferramenta de análise ambiental, bem como o uso e o desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento que permitam monitorar a vegetação do semiárido brasileiro.

Palavras-Chaves: Vegetação, Semiárido, Clima, Geoprocessamento.

A spatio-temporal analysis of vegetation in the municipality of Crateús (Ceará)

ABSTRACT

Vegetation is an essential part of the landscape, exerting mainly climatic dynamics, currently the decrease of vegetation has been causing the desertification of the Brazilian semi-arid region, such a problem is characterized by soil exposure and increase in surface temperature. The present article aimed to analyze the evolution, as well as the influence of vegetation on the climate of the municipality of Crateús in the dry season, through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Land Surface Temperature (LST), obtained through the geoprocessing of data from Landsat 8, the study also sought to analyze the influence of annual rainfall on vegetation, using data from FUNCEME. To analyze the temporal evolution of vegetation in Crateús, Landsat 8 satellite images from the years 2014, 2018 and 2023 were selected for the months of October and November because they are periods of drought, with no rainfall. Through the study, it is concluded that the vegetation of the municipality is influenced by the annual rainfall regime, having fundamental importance in the coverage and conservation of the soils, above all, its importance is defined in the climatic action of the municipality, where mild temperatures were found in densely vegetated areas, and its preservation is fundamental, it is also evident the importance of remote sensing as a tool for environmental analysis, as well as the use and development of geoprocessing techniques that allow monitoring the vegetation of the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Vegetation, Semi-arid, Climate, Geoprocessing.

Holanda, D. C. (2025). Uma análise espaço-temporal da vegetação no município de Crateús (Ceará). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.6, n.1, p.02-13.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

1. Introdução

A vegetação constitui-se no meio como parte essencial, exercendo dinâmicas nos ciclos biogeoquímicos, servindo de recurso para fauna, integrando comunidades bióticas, influenciando no clima e evitando a degradação dos solos. Sua conservação se faz necessária, uma vez que a ausência de vegetação traz consigo uma série de problemáticas, que vão desde a exposição, erosão e redução da umidade dos solos, bem como aumento da temperatura de superfície, acarretando assim em uma problemática ambiental e climática (Townsend, Begon & Harper, 2010; Molnar et al. 2018; Fialho, Fernandes & Correa, 2019).

No semiárido brasileiro, a vegetação tem sofrido forte redução por ação natural, podendo-se citar a variabilidade de chuvas ao longo dos anos, com longos períodos de estiagem, que tem como principal característica pouca pluviosidade e a baixa umidade (Barbosa & Kumar, 2016), bem como a ação antrópica, que se faz presente na redução da vegetação do semiárido brasileiro, na extração para a criação de áreas da agricultura de subsistência, para fins comerciais e para a expansão urbana, a redução da vegetação do semiárido acarreta no processo de desertificação e suas consequências sociais, econômicas, climáticas e ambientais (Tavares, Arruda & Silva, 2019).

Dentre as muitas problemáticas ocasionadas pela redução da biomassa vegetal destaca-se o aumento da temperatura local e a exposição dos solos, que caracterizam a degradação ambiental que o semiárido brasileiro vem sofrendo. Pesquisas como a de Oliveira, (2020) e Araújo (2022), evidenciam os efeitos da ausência de vegetação no semiárido, mais especificamente no município de Crateús localizado no estado do Ceará, onde por meio do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, analisaram as condições ambientais bem como a dinâmica climática exercida pela vegetação, sendo constatada a diminuição da evapotranspiração, redução da precipitação, aumento de solos expostos e formação de ilhas de calor em áreas urbanas pouco vegetadas (Oliveira, 2020; Araújo, 2022).

Nesta perspectiva o sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite analisar e estudar a superfície terrestre, de forma qualitativa e quantitativa por meio da captação da energia refletida pela superfície terrestre. O uso de técnicas de geoprocessamento vem sendo amplamente difundidas, sobretudo os índices de vegetação que permitem analisar o vigor da vegetação, com destaque ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973). O NDVI permite analisar de forma quantitativa, a concentração de vegetação bem como seu vigor, por meio da interação espectral do Infravermelho Próximo (NIR) e do Vermelho (RED) com a clorofila presente na biomassa vegetal (Guedes & Silva, 2018).

Levando em consideração o atual cenário de degradação ambiental do semiárido brasileiro, o presente estudo buscou analisar a evolução da vegetação no período de estiagem nos anos de 2014, 2018 e 2023 no município de Crateús por meio do sensoriamento remoto, avaliando a influência da precipitação pluviométrica anual sobre a biomassa vegetal, buscando também analisar a influência da vegetação no clima do município, onde foram elaborados mapas com Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), por meio do geoprocessamento de imagens do Landsat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) e suas respectivas bandas espectrais, permitindo assim análises qualitativas e quantitativas da área de interesse.

A escolha do período de estiagem, se deu por conta da alteração do vigor da vegetação do semiárido nas distintas sazonalidades (período chuvoso e período seco), alterando assim a eficiência dos índices utilizados nesta pesquisa, uma vez que em períodos chuvosos a vegetação tende a manter maiores valores, se comparado ao período seco, dificultando assim a análise da evolução espaço-temporal da vegetação na área, portanto optou-se por analisá-la no período de estiagem (Barbosa, Huete & Baethgen, 2006; Ferreira et al. 2012; Oliveira, Silva & Santos, 2024).

O uso do sensoriamento remoto se faz essencial nesta pesquisa, uma vez que permite análises espaço-temporais de dados em períodos específicos do ano, bem como as técnicas de geoprocessamento que permitem

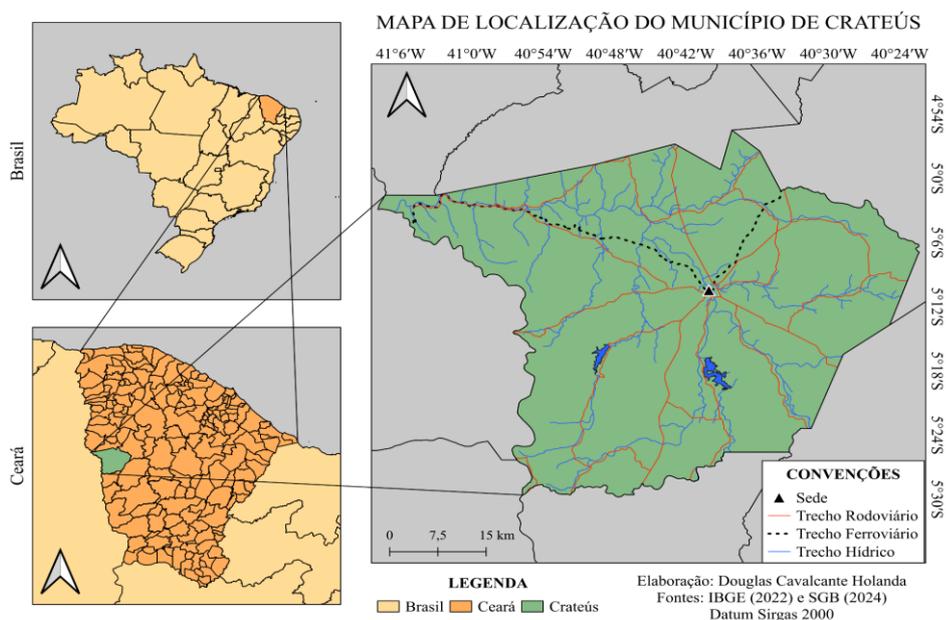
a construção dos índices usados e a aquisição dos valores de temperatura de superfície. O Índice de Água por Diferença Normalizada do inglês *Normalized Difference Water Index* (NDWI), foi proposto por Gao (1996) e tem por objetivo analisar o estresse hídrico da vegetação, uma vez que o NDWI é sensível à água líquida presentes na biomassa da vegetação, diferente do NDVI que analisa o vigor e concentração da vegetação por meio da reflectância do infravermelho e do vermelho, refletidos pela clorofila (Rouse et al. 1973), a TST por sua vez é obtida através do processamento da banda termal, que quantifica os valores de energia térmica emitida pela superfície (Coelho & Correa, 2013).

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O município de Crateús, localizado no estado do Ceará (Figura 1), está situado na mesorregião dos Sertões Cearenses e na microrregião dos Sertões dos Inhamuns, atualmente conta com aproximadamente setenta e seis mil habitantes, segundo o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2022). Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), Crateús possui classificação climática do tipo semiárido, com pluviosidade anual média de aproximadamente 730 mm e período chuvoso de janeiro a abril (IPECE 2017), com índice de aridez (IA) igual a 33,58 calculado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Figura 1 – Mapa de Localização do Município de Crateús (CE)
 Figure 1 – Location Map of the Municipality of Crateús (CE)



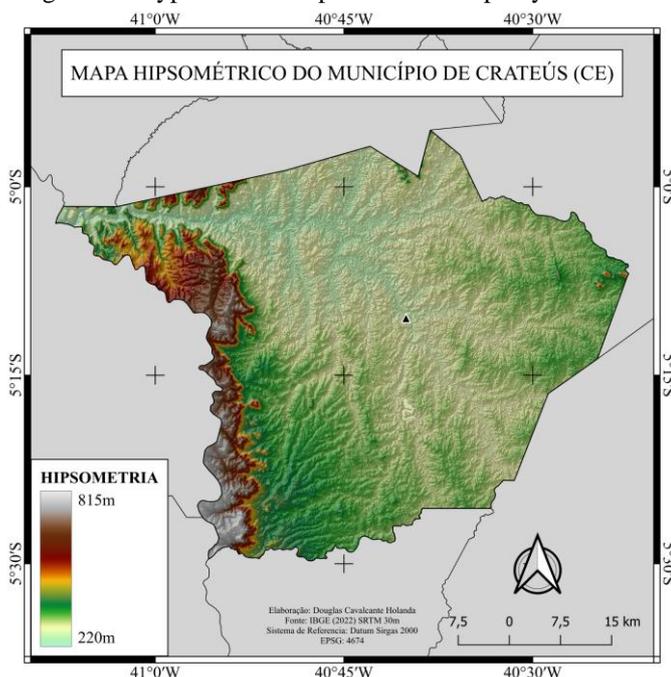
Fonte: Elaborado por Douglas C. Holanda (2024)
 Source: Prepared by Douglas C. Holanda (2024)

Segundo IBGE o domínio morfoclimático predominante no município de Crateús é a caatinga, que tem como principal característica, superfícies aplanadas que variam de altitude entre 200 a 300 metros acima do nível do mar, com presença de relevos residuais e planaltos, com altitudes que variam de 700 a 800 metros acima do nível do mar. Tendo predominância de solos rasos pela baixa presença de umidade, que é uma característica do tipo climático semiárido presente no domínio morfoclimático da caatinga, que conta com

baixa pluviosidade, de 600 a 800 mm anuais o que impacta diretamente no regime hidrográfico, tendo predominância de rios intermitentes. A caatinga nordestina possui vegetação do tipo savana semiárida, xerofítica, decídua (Ab'Sáber 2003; Coutinho, 2016).

O relevo do município de Crateús representado no mapa hipsométrico (Figura 2), é caracterizado pela predominância de superfície aplanada, conhecida também como depressão sertaneja que possui como principal característica as baixas cotas altimétricas. Na porção oeste do município de Crateús encontra-se o Planalto da Ibiapaba ou como é popularmente conhecida a Serra da Ibiapaba, região que apresenta as maiores cotas altimétricas (variando de 600 a 800 metros). O município de Crateús possui uma vasta distribuição de vegetação dos tipos caatinga arbustiva aberta, floresta caducifólia espinhosa, carrasco e floresta subcaducifólia tropical pluvial (IPECE, 2017).

Figura 2 – Mapa Hipsométrico do Município de Crateús
Figure 2 – Hypsometric Map of the Municipality of Crateús



Fonte: Elaborado por Douglas C. Holanda (2024)
Source: Prepared by Douglas C. Holanda (2024)

2.2 Obtenção de Imagens

O satélite Landsat 8 foi lançado em órbita no dia 11 de fevereiro de 2013, possuindo dois instrumentos imageadores (OLI) e (TIRS). O sensor *Operational Land Imager* (OLI), consiste no total de nove bandas, sendo oito bandas espectrais e uma pancromática, com resolução espacial de 30 metros para as bandas espectrais e 15 metros para a banda pancromática. O sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), possui duas bandas adicionais, sendo bandas térmicas, com resolução espacial de 100 metros. (Coelho & Correa, 2013).

Para a elaboração dos índices espectrais e das temperaturas de superfície, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), a aquisição foi feita no site da *United States Geological Survey* (USGS). Para a elaboração do NDVI, bem como do NDWI, optou-se por imagens de processamento nível-2, que já são processadas em reflectância com correções atmosféricas, eliminando assim a etapa de processamento manual de correção das imagens para a construção dos índices espectrais (USGS, 2021). Para a elaboração dos mapas de TST, optou-se por imagens de nível-1

de processamento, uma vez que os dados encontravam-se com melhor qualidade visual em comparação com as imagens de nível-2, que por sua vez apresentavam ausência de dados para área de interesse.

Foram utilizadas imagens datadas de 15/10/2014, 26/10/2018 e 25/11/2023, período correspondente a baixa pluviosidade no município de Crateús, optando-se por imagens com cobertura de nuvens em até 10%, buscando assim reduzir sua incidência nos valores de NDVI, NDWI e TST. As imagens foram processadas no Qgis versão (3.32.3), sendo posteriormente reprojatadas para o sistema de coordenadas Datum Sirgas, após processadas foram recortadas para a área de interesse, classificadas e analisadas.

2.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Proposto por Rouse et al. (1973), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), permite analisar a vegetação, por meio da reflectância dos canais Vermelho (Red) e Infravermelho Próximo (NIR), uma vez que tanto o Vermelho quanto o Infravermelho são refletidos pela clorofila presente na biomassa vegetal, o proposto índice pode ser obtido pela razão da subtração e da adição da reflectância dos canais (NIR) e (RED), gerando assim um índice de diferença normalizada (-1,0 à 1,0) capaz de analisar o vigor da vegetação. O NDVI pode ser obtido através da (equação 1).

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

Onde:

(NIR): Equivale à reflectância da banda do Infravermelho Próximo (banda 5)

(RED): Equivale à reflectância da banda do Vermelho (banda 4)

2.3 Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)

Proposto por Gao (1996), o Índice de Água por Diferença Normalizada, em inglês *Normalized Difference Water Index* (NDWI), permite analisar a umidade bem como as alterações hídricas na biomassa vegetal, diferente do NDVI, que em sua fórmula utiliza a razão de reflectância do Infravermelho Próximo (NIR) e do Vermelho (RED), o NDWI de Gao, utiliza dois canais de infravermelho, com comprimentos entre 0,86 µm 1,25 µm reduzindo assim os efeitos atmosféricos na análise da biomassa vegetal (Gao, 1996). O proposto índice pode ser obtido através do uso das bandas do Infravermelho Próximo (NIR) e do Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR) do satélite Landsat 8, sendo representado pela (equação 2).

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (2)$$

Onde:

(NIR): Equivale a reflectância da banda do Infravermelho Próximo (banda 5)

(SWIR) Equivale a reflectância do Infravermelho de Ondas Curtas (banda 6)

2.4 Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

Para a obtenção das imagens com valores de Temperatura de Superfície Terrestre (TST), optou-se pelo uso da banda termal, (banda 10) do satélite Landsat 8 de nível-1 de processamento, para as datas de 15/10/2014, 26/10/2018 e 25/11/2023, com horário de aquisição de 12:53h. Para o processamento da banda 10, utilizou-se as equações presentes no *Landsat 8 Data Users Handbook* (USGS, 2016), que consistiu em converter a

imagem de níveis de cinza para radiância espectral (equação 3), de radiância espectral para temperatura Kelvin (equação 4) e de temperatura Kelvin para temperatura em Celsius (equação 5).

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (3)$$

Onde:

- (Lλ): Radiância Espectral em (watts/m² sr μm)
- (ML): Fator de Redimensionamento Multiplicativo da banda 10
- (Qcal): Nível de cinza quantificado em número digital (ND)
- (AL): Fator de Redimensionamento Aditivo da banda 10

$$Tk = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

Onde:

- (Tk): Temperatura Captada pelo Sensor (Kelvin)
- (K1): Constante Térmica de Calibração 1 da banda 10 (774.88)
- (K2): Constante Térmica de Calibração 2 da banda 10 (1321.07)
- (Lλ): Radiância Espectral em (watts/m² sr μm)
- (ln): Logaritmo Natural

$$Tc = Tk - 273,15 \quad (5)$$

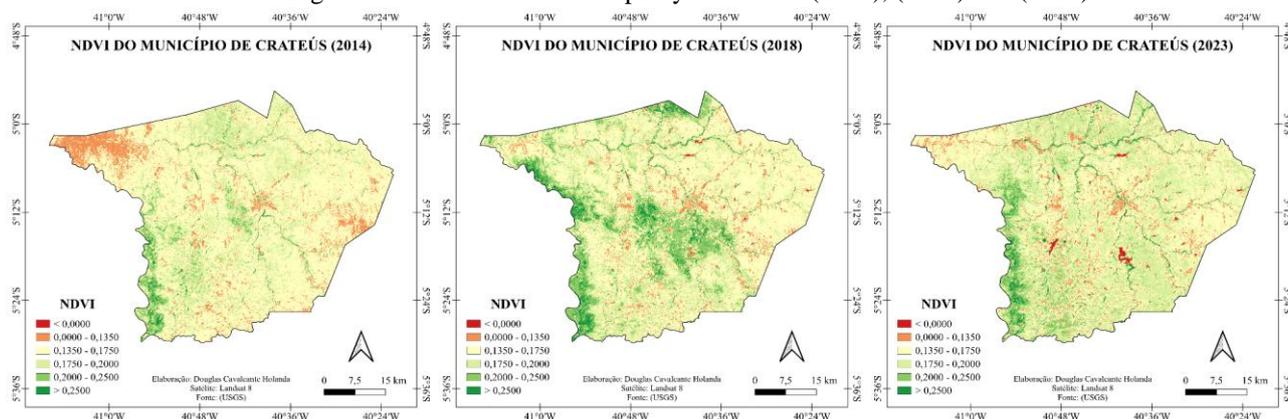
Onde:

- (Tc): Valor Convertido (Celsius)
- (Tk): Valor Captado pelo Sensor (Kelvin)

3. Resultados e Discussão

Após a etapa de geoprocessamento, foram elaborados mapas de NDVI com seis classes, para os anos de 2014, 2018 e 2023 (Figura 3), onde por meio das imagens buscou-se analisar a presença de vegetação, bem como sua distribuição espacial, levando em consideração que a vegetação do semiárido tem como principal característica a perda das folhas nos períodos de estiagem, o que ocasiona baixos valores de NDVI (Barbosa, Huete & Baethgen, 2006).

Figura 3 – NDVI do Município de Crateús (2014), (2018) e (2023)
Figure 3 – NDVI of the Municipality of Crateús (2014), (2018) and (2023)



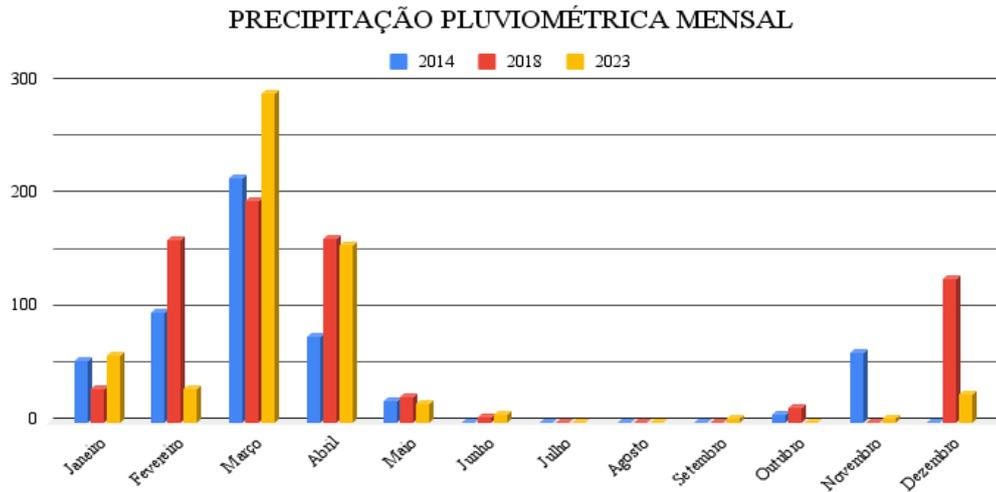
Fonte: Elaborado por Douglas C. Holanda (2024)
 Source: Prepared by Douglas C. Holanda (2024)

A primeira classe do NDVI, (>0), equivale a corpos hídricos, a segunda classe (0 a 0,135), equivale a solos severamente expostos/áreas antropizadas, a terceira classe (0,135 a 0,175) representa o solo exposto, com baixa presença de vegetação, a quarta classe (0,175 a 0,2) é representada por solo moderadamente exposto com presença de vegetação gramínea e arbustiva, vegetação de baixo vigor, a quinta classe (0,2 a 0,25) representa vegetação arbórea de médio porte/vegetação de vigor moderado, por último, a sexta classe ($>0,25$) representa a vegetação de grande porte e com alto vigor, exemplo a vegetação da floresta subcaducifólia tropical pluvial, da mata ciliar e a vegetação dos corpos hídricos eutrofizados.

Os resultados do NDVI, evidenciam uma variação da presença e vigor da biomassa vegetal para os anos escolhidos, com 2014 apresentando maior presença de valores correspondentes a solo exposto e áreas antropizadas, com valores entre (0 a 0,135), com presença moderada de vegetação na serra, localizada na porção oeste do município, em 2018 evidenciou-se maior vigor vegetativo, com valores superiores a ($>0,25$), com boa distribuição na área municipal, 2023 apresentou valores que correspondem a solos expostos, com presença de vegetação rala, correspondente a vegetação de baixo vigor/gramínea e arbustiva, com valores (0,175 a 0,2). Vale ressaltar que os valores de NDVI para os três anos adotados no estudo ressaltaram o alto vigor de biomassa vegetal na bacia hidrográfica do Rio Poty, por conta da mata ciliar e da eutrofização, bem como da vegetação da vertente leste da serra, caracterizada como floresta subcaducifólia tropical pluvial.

Os valores de NDVI, estão fortemente ligados à presença e vigor da vegetação, que por sua vez são influenciados por fatores como a precipitação anual (Barbosa, Huete & Baethgen, 2006; Barbosa & Kumar, 2016; Fayeck & Tarhouni, 2021). Buscando analisar a influência da variabilidade da precipitação pluviométrica nos valores do NDVI, elaborou-se um gráfico com a distribuição de chuvas para os anos adotados no estudo, a partir de dados extraídos do posto pluviométrico da cidade de Crateús, disponibilizados pela FUNCEME (Figura 4).

Figura 4 – Gráfico da Precipitação Pluviométrica Mensal em Milímetros
 Figure 4 – Graph of Monthly Rainfall in Millimeters

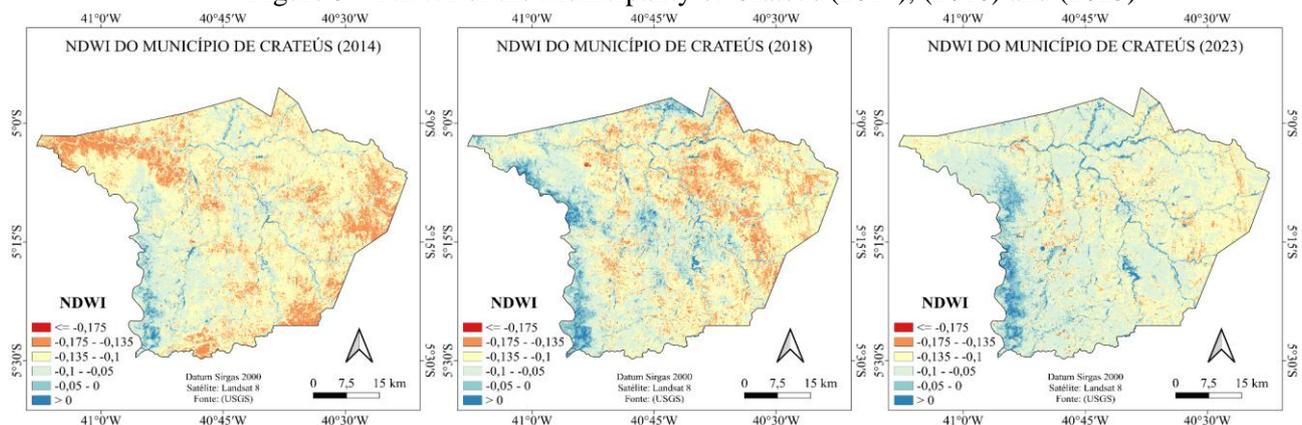


Fonte: Elaborado a partir de dados da FUNCEME (2024)
 Source: Based on data from FUNCEME (2024)

Após coletar e organizar os dados, foi constatado uma variabilidade de precipitação pluviométrica anual entre os três anos, em que 2014 obteve a menor precipitação pluviométrica total anual de 565,5 mm, 2018 com a maior de 713 mm e 2023 com 584,7 mm, sendo a frequência de chuvas ao longo dos meses quase uniforme entre os três anos adotados neste estudo, em que houve maior frequência entre os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio, com ausência de ocorrências de chuvas nos meses de junho, julho, agosto e setembro, decorrendo em variadas ocorrências de chuvas nos meses subsequentes.

Para análise da vegetação, foi também elaborado o NDWI da área de estudo, para os anos de 2014, 2018 e 2023 (Figura 5), onde buscou-se avaliar o estresse hídrico da vegetação, uma vez que o proposto índice é sensível a água presente na biomassa vegetal.

Figura 5 – NDWI do Município de Crateús (2014), (2018) e (2023)
 Figure 5 – NDWI of the Municipality of Crateús (2014), (2018) and (2023)



Fonte: Elaborado por Douglas C. Holanda (2024)
 Source: Prepared by Douglas C. Holanda (2024)

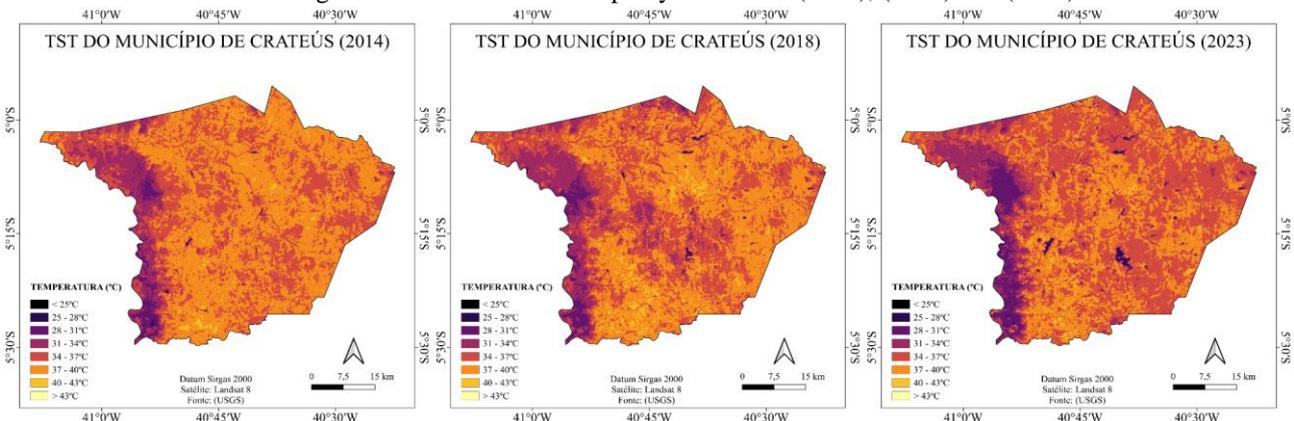
O NDWI constatou valores negativos que representam a ausência de umidade, evidenciando em destaque a eutrofização do Rio Poty e a vegetação da Serra da Ibiapaba, que em sua vertente leste é caracterizada por vegetação da floresta subcaducifólia tropical pluvial, que mesmo em períodos mais secos tende a manter o vigor, preservando umidade, uma vez que na porção oeste do município verifica-se o fenômeno de chuvas orográficas, que são precipitações fora de época que ocorrem por conta da elevada cota altimétrica da Serra da Ibiapaba, agindo assim como um barlavento, que precipita a umidade presente no ar (Santos & Souza, 2012).

O NDWI aplicado no município de Crateús mostrou-se não tão eficiente na análise da vegetação quanto o NDVI, havendo leve confusão espectral entre os alvos, onde a vegetação com maior vigor, representada pela mata ciliar e a floresta subcaducifólia tropical pluvial evidenciou valores próximos da água, sendo difícil distinguir os alvos por classes. Em áreas de vegetação caducifólia foi constatado valores de solo exposto (área urbana do município), com baixa umidade. O índice em questão é sensível a água presente na biomassa vegetal (Gao, 1996), a vegetação predominante no município de Crateús é do tipo caatinga caducifólia, que tem como principal característica a redução total ou parcial de folhas durante períodos de estiagem, havendo assim uma diminuição da evapotranspiração superficial por parte da vegetação (Fernandes, 2007), dificultando portanto a eficiência do NDWI na análise e distinção da vegetação caducifólia se comparado ao NDVI.

Por outro lado, o NDWI de Gao, mostrou-se eficiente na análise da umidade presente na área de estudo, sendo um índice eficiente no monitoramento e avaliação de ambientes degradados pela escassez de vegetação, detectando facilmente solos expostos (Silva & Farias, 2021; Medeiros et al. 2022), haja visto que a ausência da vegetação do semiárido carregue consigo uma série de problemáticas, tais como a exposição dos solos, o aumento da temperatura de superfície, a diminuição da umidade e aumento no transporte de sedimentos, que impactam diretamente a população e a economia, é evidente a importância de técnicas de geoprocessamento que permitam analisar essas características ambientais (Molnar et al. 2018; Tavares, Arruda & Silva, 2019; Oliveira, 2020; Araújo, 2022).

Buscando avaliar a influência da vegetação no clima do município, foi elaborado material cartográfico, com valores de temperatura de superfície terrestre (TST), obtidos através do geoprocessamento da banda 10 do satélite Landsat 8 (Figura 6).

Figura 6 – TST do Município de Crateús (2014), (2018) e (2023)
 Figure 6 – LST of the Municipality of Crateús (2014), (2018) and (2023)



Fonte: Elaborado por Douglas C. Holanda (2024)
 Source: Prepared by Douglas C. Holanda (2024)

A análise da temperatura de superfície demonstrou nos três anos avaliados, temperaturas amenas na porção oeste do município, que corresponde a Serra da Ibiapaba, como já supracitado, região esta de domínio da floresta subcaducifólia tropical pluvial, que tem como característica manter a umidade e o vigor em períodos mais secos, há também nesta região a ocorrência de chuvas orográficas, por conta da elevada altimetria. Oliveira (2020), constatou que em áreas pouco vegetadas, com predominância de solos expostos, as temperaturas tendem a ser mais elevadas, por conta da ausência de cobertura proveniente do dossel das plantas, sendo constatado em áreas vegetadas a presença de valores amenos.

A vegetação de alto vigor, com valores ($>0,25$) no NDVI, apresentou valores de TST que variam de 25° a 31°C , enquanto em áreas com vegetação de baixo e médio vigor com valores de NDVI igual a (0,175 a 0,2) e (0,2 a 0,25) apresentaram valores de TST entre 34° a 37°C , em áreas de solo exposto as temperaturas variam de 37° a $>43^{\circ}\text{C}$. O NDVI mostrou-se útil, com pouca confusão espectral, sendo possível elaborar classificações com valores distintos, enquanto o NDWI de Gao mostrou-se eficiente na análise de áreas mais secas, porém apresentou leve confusão espectral entre os alvos, a TST foi útil para analisar a importância climática exercida pela vegetação. O NDVI, o NDWI e a TST, devem ser elaborados e analisados em conjunto com dados climáticos, para facilitar a interpretação, sendo necessário também entender as características fisiográficas da área estudada.

De forma geral a vegetação do município de Crateús, mostrou-se mais desenvolvida no ano 2018, sendo perceptível no NDVI, com valor ($>0,25$) que representa a vegetação arbórea, mais desenvolvida, 2014 apresentou baixos valores, com pouca distribuição espacial, e predominância de solo exposto, vale destacar a vegetação da vertente leste da Serra da Ibiapaba, que evidenciou pouca distribuição espacial e vigor reduzido, em 2023 é evidente um leve aumento no vigor da vegetação, com valor de NDVI (0,175 a 0,2), que representa a vegetação de pequeno porte com boa distribuição espacial.

É evidente que a vegetação do município de Crateús sofre influência da precipitação pluviométrica, uma hipótese é que a vegetação do município em questão, possa estar sujeita a fenômenos como o El Niño e La Niña, que alteram o regime de chuvas no estado do Ceará (Rodrigues et al. 2021). Em anos de El Niño forte, o Nordeste Brasileiro tende a sofrer com prolongados períodos de estiagem intensificando assim a seca, já em anos de La Niña forte, tendem a ter altas precipitações no Nordeste Brasileiro, sendo necessário mais estudos comprobatórios, do impacto desses fenômenos na vegetação do semiárido de Crateús (Dias, 2014; Costa, 2014).

4. Conclusão

Conclui-se que por meio do sensoriamento remoto, foi possível elaborar uma análise espaço-temporal da vegetação do município de Crateús no período de estiagem, constatando alteração na distribuição espacial e vigor da vegetação ao longo dos anos, bem como evidenciando sua interação com a precipitação pluviométrica e avaliando também sua influência no clima local, o sensoriamento remoto, em conjunto com as técnicas de geoprocessamento, são ferramentas úteis para o planejamento e monitoramento ambiental, bem como para a tomada de decisões que envolvam a natureza e a sociedade, o desenvolvimento e o refinamento de tais tecnologias permitem melhor suporte para pesquisas que envolvam o estudo das características ambientais.

Foi também evidenciado neste estudo, que a precipitação pluviométrica anual está diretamente ligada ao vigor e desenvolvimento da vegetação do semiárido, sendo necessário, mais pesquisas para análise da influência da variabilidade climática bem como da ação antrópica na vegetação do município de Crateús, o uso do sensoriamento remoto se faz indispensável em pesquisas desse cunho, uma vez que o mesmo permite análises espaço-temporais, bem como a construção de índices que permitem analisar os aspectos fisiográficos, contribuindo portanto de forma prática para o planejamento urbano e a tomada de decisões no âmbito das questões ambientais no município.

Contudo é possível afirmar que os índices utilizados na pesquisa, mostraram-se eficientes na análise da distribuição espacial, vigor, umidade e influência climática da vegetação, expondo assim sua importância para o município, uma vez que, áreas vegetadas tendem a ser mais úmidas, bem como manter temperaturas mais amenas, gerando assim áreas de frescor, a conservação da vegetação do semiárido é essencial para evitar o processo de desertificação e suas consequências climáticas, sociais, ambientais e econômicas, sendo necessário monitoramento constante do semiárido brasileiro.

5. Referências

- Ab'Sáber, A. N. (2003). **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas** (Vol. 1). Ateliê editorial.
- Andrade Silva, G., & de Andrade Farias, C. W. L. (2021). Análise espaço-temporal da vegetação no semiárido do Nordeste brasileiro utilizando parâmetros biofísicos. **Revista Semiárido De Visu**, 9(3), 195-203.
- Araújo, D. T. (2022). **Avaliação dos processos de degradação ambiental/desertificação no município de Crateús-CE** (Tese de doutorado), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- Barbosa, H. A., Huete, A. R., & Baethgen, W. E. (2006). A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of arid environments**, 67(2), 288-307.
- Barbosa, H. A., & Kumar, T. L. (2016). Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, 124, 377-387.
- Coelho, A. L. N., & Correa, W. D. S. C. (2013). Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, 7(1), 31-45.
- Costa, J. A. (2014). O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Revista E.T.C Educação, tecnologia e cultura**. 12, 57-64.
- Coutinho, L. M. (2016). **Biomass brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos.
- Dias, M. A. F. S. (2014). Eventos climáticos extremos. **Revista usp**, (103), 33-40.
- Fayech, D., & Tarhouni, J. (2021). Climate variability and its effect on normalized difference vegetation index (NDVI) using remote sensing in semi-arid area. **Modeling Earth Systems and Environment**, 7, 1667-1682.
- Fernandes, A. (2007). **Fitogeografia Brasileira-Fundamentos Fitogeográficos**. Fortaleza: Edições UFC.
- Ferreira, J. M. S., dos Santos Ferreira, H., da Silva, H. A., dos Santos, A. M., & Galvêncio, J. D. (2012). Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina-PE (Analysis Space-Time from Dynamics of Caatinga Vegetation in the Municipality of Petrolina-PE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5(4), 904-922.
- Fialho, E. S., Fernandes, L. A., & Correa, W. D. S. C. (2019). Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, 47-85.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Índices de aridez do Estado do Ceará**. Disponível em: http://www.funcceme.br/?page_id=5826. Acesso em: 06/06/2024.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Postos Pluviométricos**. Disponível em: http://www.funcceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 06/06/2024.

Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of environment**, 58(3), 257-266.

Guedes, J., & da Silva, S. M. P. (2018). SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO: PRINCÍPIOS FÍSICOS, SENSORES E MÉTODOS. **Acta Geográfica**, 12(29), 127-144.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Crateús (CE) | **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/crateus.html>. Acesso em: 06/06/2024.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. (2017). **Perfil Básico Municipal: Crateús**. Governo do Estado do Ceará. Disponível em: ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crateus_2017.pdf. Acesso em: 23/06/2024

Medeiros, R. L. B., de Meneses Sousa, G., de Figueiredo, C. F. V., de Sousa Formiga, A. C., de Oliveira, F. F. D., de Oliveira, P. A. T., ... & Leite, A. C. N. (2022). Resposta espectral do comportamento do NDVI e NDWI diante de diferentes intensidades pluviométricas na cidade de Patos–PB. **Research, Society and Development**, 11(3), e49811326819-e49811326819.

Molnar, M. A. S., Carbone, A. S., Cezare, J. P., & Castro, M. D. L. (2018). Planejamento territorial de áreas verdes. In A. Philippi (Org.), **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável** (2ª ed., pp. 805-838). Barueri: Manole.

Oliveira, I. G. F., Silva, J. E. M., & dos Santos, L. F. L. (2024). Análise da expansão urbana e os impactos na cobertura vegetal e na temperatura da superfície terrestre do município de Toritama, agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, 5(1), 82-91.

Oliveira, J. R. F. D. (2020). **O clima urbano em cidade de pequeno porte no semiárido cearense: o caso de Crateús**. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

Rodrigues, B. D., Coutinho, M. D. L., Sakamoto, M. S., & Jacinto, L. V. (2021). Uma análise sobre as chuvas no Ceará baseada nos eventos de El Niño, La Niña e no Dipolo do Servain durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Climatologia**, 28, 507-519.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, 351(1), 309.

Santos, A. F. L., & de Souza, M. J. N. (2012). Caracterização geoambiental do Planalto cuestiforme da Ibiapaba–Ceará. **Revista GeoNorte**, 3(5), 301-309.

Tavares, V. C., de Arruda, Í. R. P., & da Silva, D. G. (2019). Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, 34(70), 385-405.

Townsend, C. R., Begon, M., & Harper, J. L. (2010). **Fundamentos em Ecologia** (3ª ed.). Porto Alegre: Artmed.

U.S. Geological Survey. (2016). **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Disponível em: Using the USGS Landsat Level-1 Data Product | U.S. Geological Survey. Acesso em: 11/07/2024.

U.S. Geological Survey. (2021). **Landsat 8-9 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide**. <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-l2sp-guide>. Acesso em: 11/07/2024.