



Identificação de áreas susceptíveis a desertificação na bacia leiteira de Alagoas

Jéssica Emily dos Santos Silva ¹  

José Viera Silva ²  

Leandro Rodrigo Macedo da Silva ³  

Anderson dos Santos ⁴  

Maria Renata Mariano da Silva ⁵  

Destaques

- A pecuária tem corroborado para a degradação do solo.
- O sensoriamento remoto é eficaz para a constatação da degradação do solo, mas apresenta limitações.
- As visitas *in loco* proporcionaram a aquisição de informações mais íntegras e precisas.
- A área de estudo é susceptível ao processo de desertificação.

Resumo: Localizada na região Nordeste, a região semiárida de Alagoas vem demonstrando diversos indícios de desertificação. Por conseguinte, objetivou-se identificar territórios desertificados ou com um alto nível de degradação em municípios do Semiárido de Alagoas, através do sensoriamento remoto e de visitas em campo. Desse modo, dados de satélite referentes ao período de 2013 a 2022 foram utilizados para a identificação e o monitoramento de regiões desertificadas ou em potencial, sendo processados no QGIS. Além disso, registros fotográficos e anotações foram obtidos através de visitas na área de estudo. Os diferentes níveis de precipitação ao longo da série temporal têm efeito significativo sobre os índices de desertificação, que apresentaram melhores resultados para períodos de maior umidade. A atividade pecuária é predominante no território analisado, seguido de floresta que, ainda assim, teve sua área reduzida em detrimento da ascensão da agropecuária. A expressiva degradação da área de estudo e a intensa antropização das áreas classificadas como naturais no MapBiomas foram evidenciadas através das visitas em campo, que proporcionaram a aquisição de dados mais íntegros acerca da vulnerabilidade da região ao processo de desertificação.

Palavras-chave: Desertificação; Semiárido; Alagoas; Caatinga.

¹ Mestra em Agricultura e Ambiente, pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

² Doutor em Agronomia e Professor do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

³ Doutor em Meteorologia, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

⁴ Doutor em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

⁵ Mestra em Agricultura e Ambiente, pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).



IDENTIFICATION OF AREAS SUSCEPTIBLE TO DESERTIFICATION IN THE ALAGOAS DAIRY BASIN

Abstract: The semi-arid region of Alagoas, northeastern Brazil, has shown several signs of desertification. Therefore, this study aimed to identify desertified or highly degraded areas in municipalities in the semi-arid region of Alagoas, through remote sensing and field visits. Thus, satellite data from 2013 to 2022 were used to identify and monitor desertified regions or areas at risk of desertification, being processed in the Qgis. Furthermore, photographic records and notes were obtained through visits to the study area. The different levels of precipitation throughout the time series have a significant effect on desertification rates, which showed better results for periods of higher humidity. Livestock activity is predominant in the study area, followed by forests, which, even so, had their area reduced because of the development of agriculture and livestock farming. The significant degradation of the study area and the intense anthropization of areas classified as natural in MapBiomas were evidenced through field visits, which provided more complete data about the region's vulnerability to the desertification process.

Keywords: Desertification; Semi-arid; Alagoas; Caatinga.

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES DE DESERTIFICACIÓN EN LA CUENCA LECHERA DE ALAGOAS

Resumen: La región semiárida de Alagoas, noreste de Brasil, ha mostrado varios signos de desertificación. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo identificar áreas desertificadas o con alto nivel de degradación en municipios de la región semiárida de Alagoas, a través de teledetección y visitas de campo. Así, se utilizaron datos satelitales de 2013 a 2022 para identificar y monitorear regiones desertificadas o en riesgo de desertificación, los cuales se procesaron en Qgis. Además, se obtuvieron registros fotográficos y notas a través de visitas al área de estudio. Los diferentes niveles de precipitación a lo largo de la serie temporal tienen un efecto significativo sobre las tasas de desertificación, que mostraron mejores resultados para los períodos de mayor humedad. La actividad ganadera es predominante en el área analizada, seguida de los bosques, que, aun así, se redujeron debido al desarrollo de la agropecuaria. La gran degradación del área de estudio y la intensa antropización de áreas clasificadas como naturales en MapBiomas se evidenciaron a través de visitas de campo, las cuales proporcionaron datos más completos sobre la vulnerabilidad de la región al proceso de desertificación.

Palabras clave: Desertificación; Semiárido; Alagoas; Caatinga.

INTRODUÇÃO

No Semiárido do Brasil destaca-se o bioma Caatinga cuja variedade fisionômica é resultado da grande diversidade das condições ambientais, constituindo um ecossistema terrestre de grande riqueza biológica. Entretanto, estima-se que 80% da vegetação da Caatinga foi impactada pelas atividades agropecuária e extrativista, proporcionando um cenário propício à degradação do

solo (Souza *et al.*, 2019). A degradação do solo em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de fatores diversos é caracterizada como desertificação. Esse processo é considerado um dos maiores problemas ambientais da contemporaneidade e constitui um dos grandes entraves ao desenvolvimento das áreas secas do planeta (IPCC, 2020).

O nordeste brasileiro apresenta elevadas temperaturas e taxas de insolação, sendo considerado uma das regiões secas mais populosas do planeta. Um estudo do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas indica que o semiárido alagoano é uma área susceptível a desertificação e diversos municípios já têm demonstrado sinais de que esse processo está ocorrendo em pelo menos 90% de seu território. Dada a conjuntura, faz-se necessário conter a degradação ambiental para prevenir a desertificação e/ou mitigar seus efeitos (Bezerra *et al.*, 2020; IMA, 2018).

A dinamicidade dos processos que contribuem para a desertificação exige a utilização de técnicas de monitoramento para identificar mudanças no ambiente de forma rápida, prática e eficiente. O uso do sensoriamento remoto é uma alternativa para a realização dessa avaliação. A contribuição das informações obtidas pode ser estendida as mais diversas áreas do conhecimento, corroborando para o planejamento de ações que visam combater e recuperar áreas em desertificação e conservação da biodiversidade.

Considerando que o uso de técnicas para o monitoramento e avaliação da ocorrência de desertificação no semiárido alagoano poderá contribuir para a elucidação de dados precisos referentes a essa temática, o presente estudo tem por objetivo identificar áreas desertificadas ou altamente degradadas no semiárido alagoano, durante os anos de 2013 a 2022, com emprego de dados de sensoriamento remoto validados *in loco*.

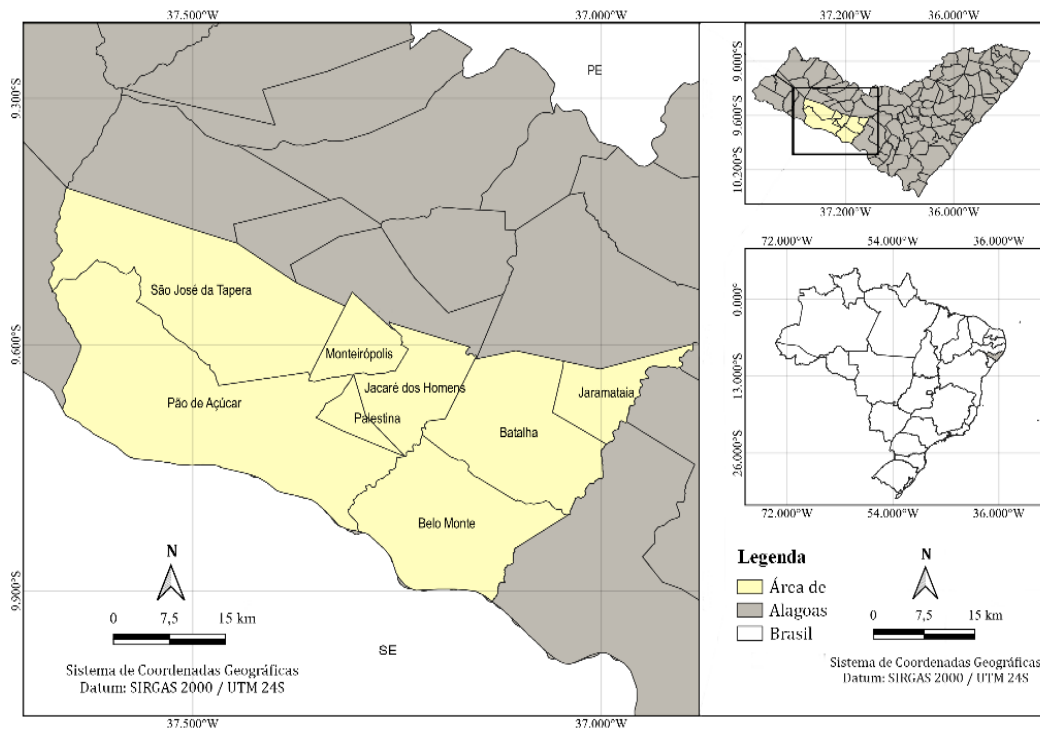
METODOLOGIA

Área de estudo

Localizada no Estado de Alagoas, na região Nordeste do Brasil, a área de estudo (Figura 1) compreende os municípios de São José da Tapera, Pão de

Açúcar, Monteirópolis, Palestina, Jacaré dos Homens, Belo Monte, Batalha e Jaramataia, possuindo 2.208,96 km² de extensão territorial (IBGE, 2011).

Figura 1 - Localização dos municípios do estado de Alagoas que correspondem à área de estudo.



Fonte: A autora (2023).

Os municípios em análise representam uma fração da ampliação dos territórios susceptíveis à desertificação do estado, cujas características são: áreas de clima semiárido, subúmido seco e Áreas em Processo de Degradação resultante da ação antrópica. Esse fato tem ampliado os problemas ambientais, econômicos e sociais no sertão alagoano (Alagoas, 2011; IMA, 2018). Além disso, os municípios integram a Bacia Leiteira de Alagoas cuja atividade predominante, a pecuária, é considerada um dos principais fatores da degradação do solo e da Caatinga, vegetação nativa da região (Alagoas, 2015; Figueiredo *et al.*, 2017).

Levantamento, seleção e organização dos dados espaciais

Através da plataforma *United States Geological Survey* (USGS) foram coletadas imagens das séries temporais provenientes do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do Landsat 8. Neste estudo, alguns critérios foram

adotados para a escolha das imagens: I) disponibilidade das mesmas; II) baixa cobertura de nuvens e; III) período seco (Bispo; Valeriano; Duplich, 2010). Desse modo, cinco imagens do ponto 67 da órbita 215 foram selecionadas, correspondentes as datas 10/12/2013, 14/11/2015, 08/12/2018, 26/10/2020 e 01/11/2022., as quais foram recortadas com base na camada vetorial (em *shapefile*) dos limites dos municípios da área de estudo, processadas e analisadas no software livre Qgis, versão 3.22. 14.

Precipitação

Para análise da dinâmica da vegetação no período de 2013 a 2022 foram utilizados dados de precipitação obtidos do CHIRPS Daily, por meio do aplicativo *Climate Engine*. Considerando a resiliência da vegetação do bioma Caatinga em resposta à ocorrência das chuvas (Almeida; Carvalho; Araújo, 2019), foi avaliado o histórico de precipitação dos últimos 90 dias que antecedem as datas das imagens Landsat 8/OLI para a região selecionada.

Cobertura e Uso da Terra

Com base na coleção 7 da classificação da cobertura e uso da terra disponibilizada na plataforma MapBiomas Brasil, foram adquiridos arquivos referentes aos anos de 2013 e 2021, dividindo o período de estudo em duas fases, uma inicial e outra final. Para avaliar as mudanças ocorridas no uso do solo durante o período observado (2013 e 2021) e atentando-se ao histórico da região e a disponibilidade das mesmas, foram consideradas as classes floresta, formação natural não florestal, pastagem, agricultura, mosaico de usos, área não vegetada e corpos d'água e reagrupadas segundo as alterações identificadas (Tabela 1).

Quadro 1 - Grupos de classes do MapBiomas Brasil segundo as alterações ocorridas entre os anos de 2013 e 2021.

Classes	Grupo	Alterações	Novo Grupo
Floresta			
Formação natural	Natural	Natural - Natural	Natural
não florestal			
Pastagem	Antrópico	Antrópico → Antrópico	Antrópico
Agricultura		Água → Antrópico	

Mosaico de usos	Natural → Antrópico		
Área não vegetada			
Corpo d'água	Água	Antrópico → Água Natural → Água	Água
-	-	Água → Natural Antrópico → Natural	Regeneração da vegetação

Fonte: A autora (2023).

Indicadores de desertificação

Utilizando o *Normalized difference vegetation index* (NDVI) foram adquiridas informações acerca do vigor e caracterização da vegetação (equação 1). Os valores obtidos estão entre -1 e +1, sendo que quanto mais próximos de 1 maior a densidade de cobertura vegetal. Solos sem cobertura vegetal ou rochas apresentam valores próximos a 0. Já em superfícies que contêm corpos hídricos e na presença de nuvens a variação tende ser entre 0 e -1 (Francisco, 2013).

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

Para minimizar os efeitos do solo na caracterização do dossel das plantas, o *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) é utilizado para corrigir as interferências do mesmo no NDVI. O índice pode ser expresso pela equação 2, onde L trata-se de uma constante denominada fator de ajuste para o substrato do dossel. Tomando como referência o valor de 0,5 para o fator de ajuste, dado que a vegetação desse bioma é pouco densa, resultados satisfatórios têm sido obtidos em diversos estudos (Ribeiro; Silva; Silva, 2016; Oliveira; Costa, 2020).

$$SAVI = \frac{(1+L) \times (NIR - Red)}{(L + NIR + Red)} \quad (2)$$

Uma vez que a textura está intrinsecamente relacionada à retirada da cobertura vegetal que amplia a vulnerabilidade do solo aos processos erosivos, o *Topsoil Grain Size Index* (TGSI) demonstra a magnitude do tamanho das partículas presentes na superfície do solo em ambientes com pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Por estar relacionado diretamente com a textura do solo, o TGSI não é afetado pela precipitação ou fenologia da vegetação, sendo mais

indicado para o monitoramento da desertificação (Lamchim *et al.*, 2016). A equação 3 expressa como o índice pode ser calculado.

$$TGSi = \frac{\text{Red-Blue}}{\text{Red+Blue+Green}} \quad (3)$$

O saldo de radiação em superfície também foi considerado através do cálculo do Albedo Superficial usando as etapas do algoritmo SEBAL determinado por Allen, Tasumi e Trezza (2007). A primeira dessas etapas consiste no cálculo da calibração radiométrica, conforme a equação 4 (Markham; Baker, 1987):

$$L_{\lambda} = \alpha + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) \times ND \quad (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) \quad (4)$$

Onde L_{λ} é a radiância em ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$); a e b são, respectivamente, as radiâncias espectrais mínimas e máximas; ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde às bandas (1, 2,..., 7) do satélite Landsat 8/OLI.

O passo seguinte foi calcular a reflectância no topo da atmosfera (TOA) usando a Equação 5 proposta por Chander e Markham (2003):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \times \cos Z \times D_r} \quad (5)$$

Onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar, $\pi = 3,14$ e D_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (em unidade astronômica – UA), determinado pela equação 6:

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos \left(DJ \frac{2\pi}{365} \right) \quad (6)$$

Onde DJ é o dia Juliano e o argumento da função cosseno está em radianos. O ângulo zenital solar foi obtido através do arquivo de texto (MTL) das imagens adquiridas.

O albedo planetário α_{TOA} é obtido através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas, conforme a equação 7:

$$\alpha_{toa} = \sum (\rho_{\lambda_i} \times \omega_{\lambda_i}) \quad (7)$$

Posteriormente, foi calculada a transmissividade atmosférica através da equação 8 (Allen *et al.*, 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5}z \quad (8)$$

Onde z é a altitude em metros de cada pixel cuja obtenção foi realizada através da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Corrigindo os efeitos atmosféricos, foi calculado o albedo da superfície, segundo a equação 9:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (9)$$

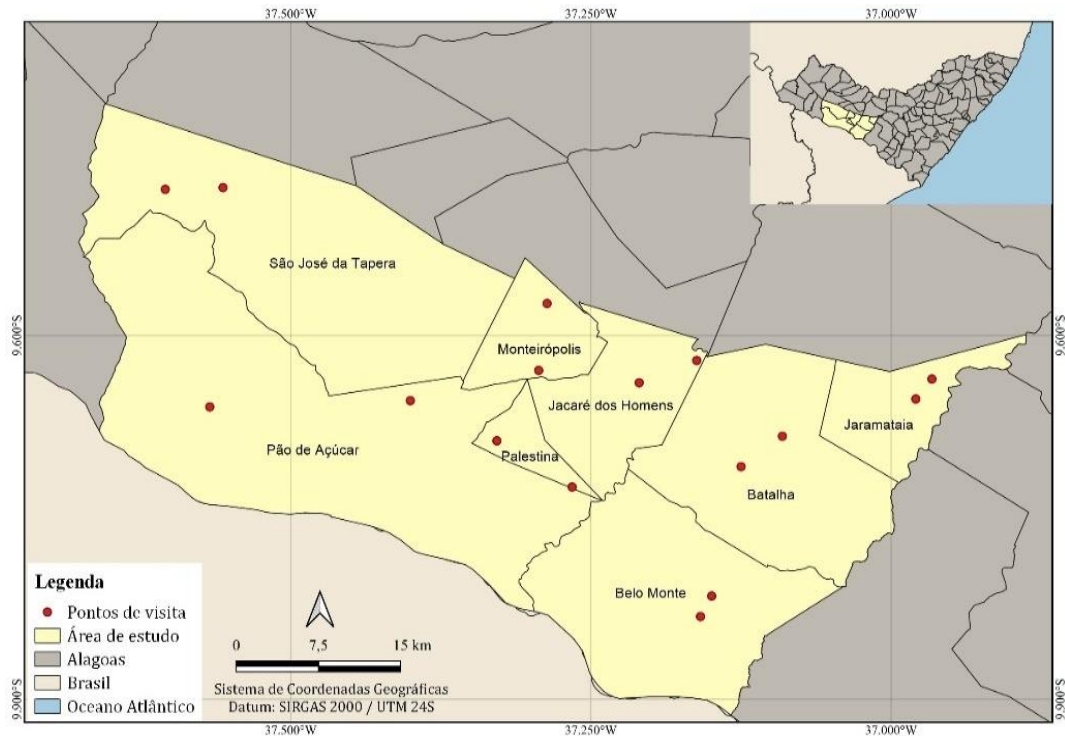
Onde α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, recomendada para o SEBAL como 0,03.

Sabendo que a emissão solar máxima acontece em 0,475, aproximadamente, os resultados foram ajustados para albedo de superfície menor que esse valor.

Dados de campo

Na busca por validar os dados espaciais resultantes do processamento das imagens, visitas *in loco* foram realizadas nos oito municípios inseridos na área de estudo durante os dias 15 e 16 de fevereiro de 2023. Considerou-se neles um ponto cujos índices apontavam para a desertificação da área e outro onde os resultados obtidos demonstravam a conservação do solo e da vegetação, totalizando 16 pontos que foram previamente georreferenciados utilizando o Qgis e, em campo, validados através do *Global Positioning System* (GPS) (Figura 2).

Figura 2 - Localização dos pontos selecionados para a visitação na área de estudo.



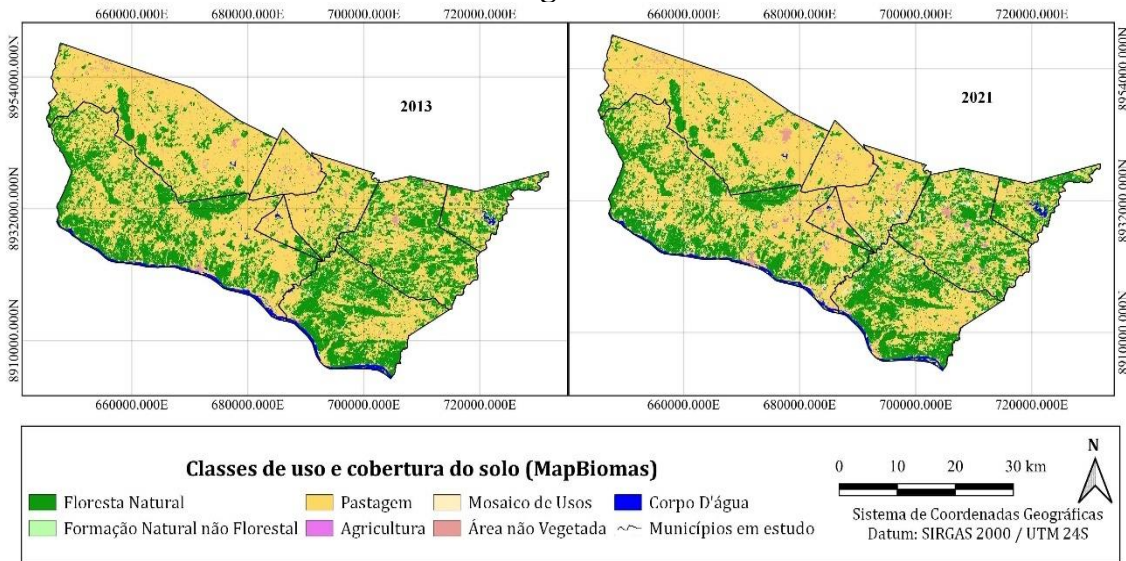
Fonte: A autora (2023).

METODOLOGIA

Uso e cobertura do solo

Através da classificação de uso e cobertura do solo da plataforma MapBiomas (Coleção 7), foram destacados os mapas temáticos referentes aos anos de 2013 e 2021, com a representação das principais classes de uso e cobertura da terra (Figura 3).

Figura 3 - Dinâmica de uso e cobertura da terra - municípios do semiárido alagoano.

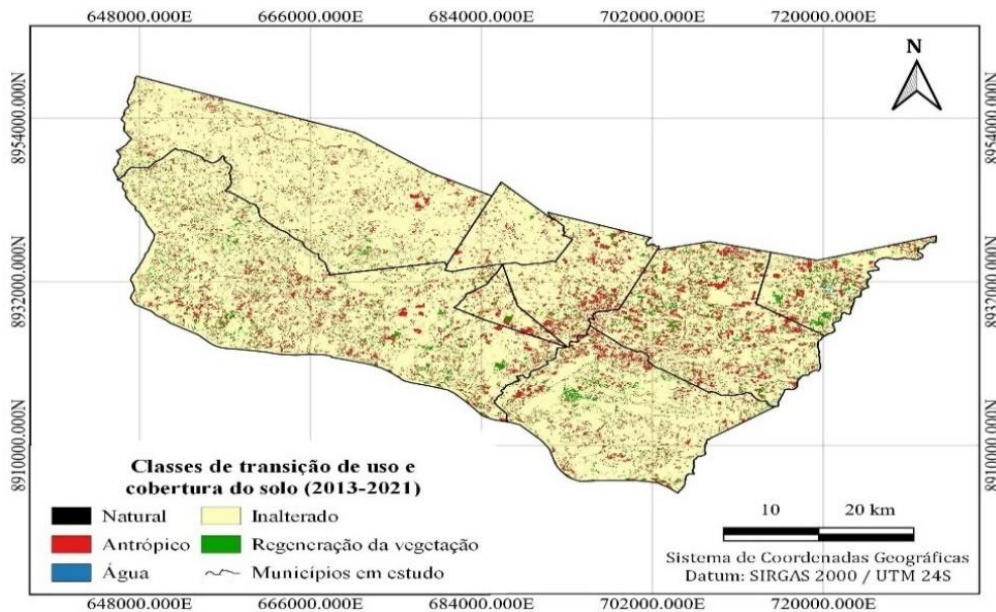


Fonte: A autora (2023).

Apesar da expansão de outras classes, a prática da pecuária demonstra acentuada relevância para os municípios analisados, pois mesmo a classe pastagem sofrendo uma ligeira redução de ocupação na região, mais da metade da área é destinada a ela. Esse cenário provém do fato de que a área de estudo está inserida na Bacia Leiteira de Alagoas, cuja produção atual de leite é a 6ª maior da região nordeste (IEL/AL, 2022). Dado o valor da pecuária para a região e o impacto que seu desenvolvimento representa para o meio ambiente, o manejo adequado da área é fundamental para que as necessidades humanas sejam atendidas em concordância com a manutenção da qualidade ambiental (Queiroz *et al.*, 2021).

Observa-se ainda uma transição espacial de uso e cobertura da terra entre as classes ao longo da série temporal (Figura 4). Apesar de indicar singela regeneração da vegetação em determinadas regiões na área de estudo, a dinamicidade do uso e cobertura da terra ao longo do tempo exhibe o crescimento de áreas destinadas ao setor agropecuário, fator que geralmente resulta em aumento da degradação dos recursos naturais e, conseqüentemente, intensifica a vulnerabilidade da área a problemas ambientais.

Figura 4 - Reclassificação de uso e cobertura da terra na área de estudo entre 2013 e 2021.

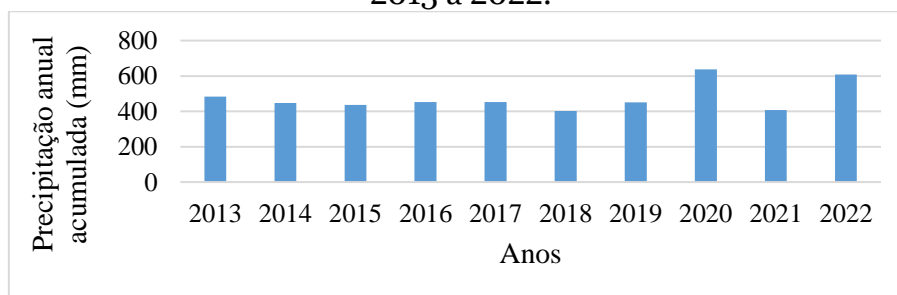


Fonte: A autora (2023).

Precipitação

Os baixos índices de chuva foram registrados na maioria dos anos ao longo do período estudado, uma característica marcante da região semiárida do Estado de Alagoas (Figura 5) (Silva Júnior *et al.*, 2022).

Figura 5 - Precipitação anual acumulada (mm) para a área de estudo de 2013 a 2022.

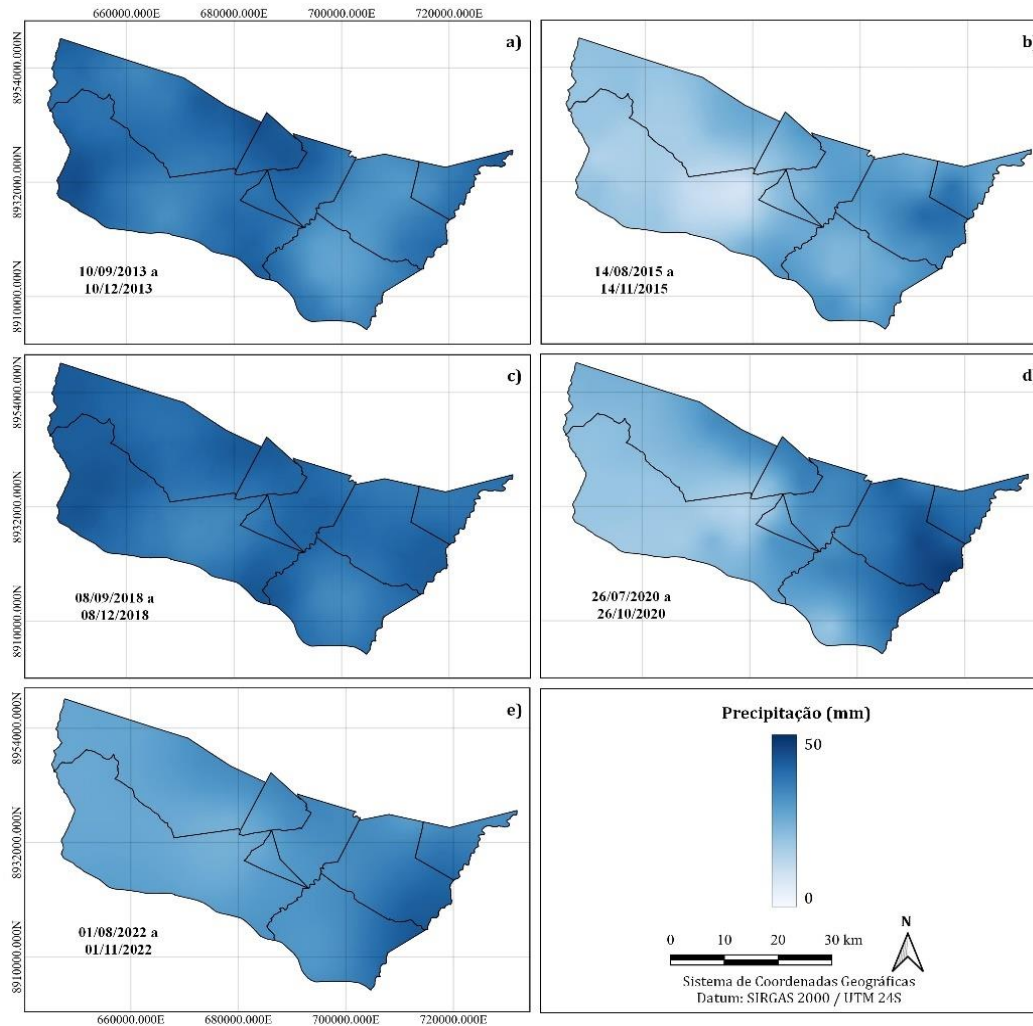


Fonte: A autora (2023).

Ao se avaliar o acumulado de chuva para o período de 90 dias que antecede a obtenção das imagens através do Landsat 8, verifica-se que os maiores níveis de precipitação são constatados nos anos de 2013 e 2018 (Figuras 6a e 6c) cujos valores médios são, respectivamente, 19,72 e 20,98 mm. O menor acumulado de chuva foi registrado em 2015 (Figura 6b) com uma média de 12,71 mm. Apesar de

2018 ser o ano mais seco do período observado (Figura 5), a quantidade de chuva na área de estudo nos últimos 90 dias foi superior aos outros anos, evidenciando a má distribuição de chuvas na região do semiárido brasileiro concentrada nos meses de novembro, dezembro e janeiro (Jardim *et al.*, 2022).

Figura 6 - Distribuição da precipitação no decorrer de 90 dias na área de estudo.



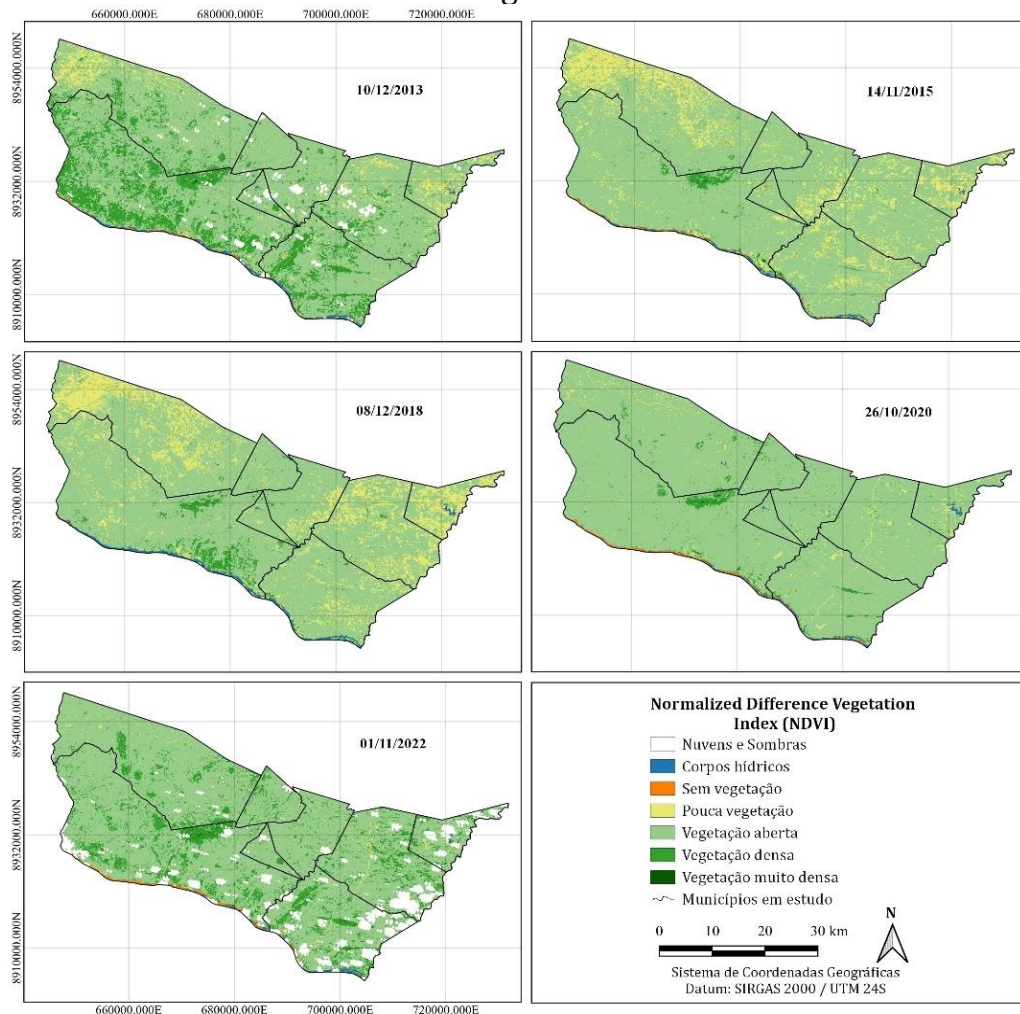
Fonte: A autora (2023).

Normalized difference vegetation index - NDVI

A densidade de vegetação expressa pelo NDVI a partir da intensidade de verde ressalta as modificações ocorridas ao longo da série temporal. Os municípios da área de estudo com menor densidade de vegetação foram São José da Tapera, Jacaré dos Homens, Batalha, Belo Monte e Jaramataia (Figura 7), nos quais a pecuária apresenta notória produtividade. A realização desta atividade

explica ainda o porquê de a classe “vegetação aberta” ser mais expressiva no território, dado que a criação de animais é realizada sobretudo de maneira extensiva (Alagoas, 2017; IEL/AL, 2022).

Figura 7 - Distribuição espaço-temporal do NDVI em municípios do semiárido alagoano.



Fonte: A autora (2023).

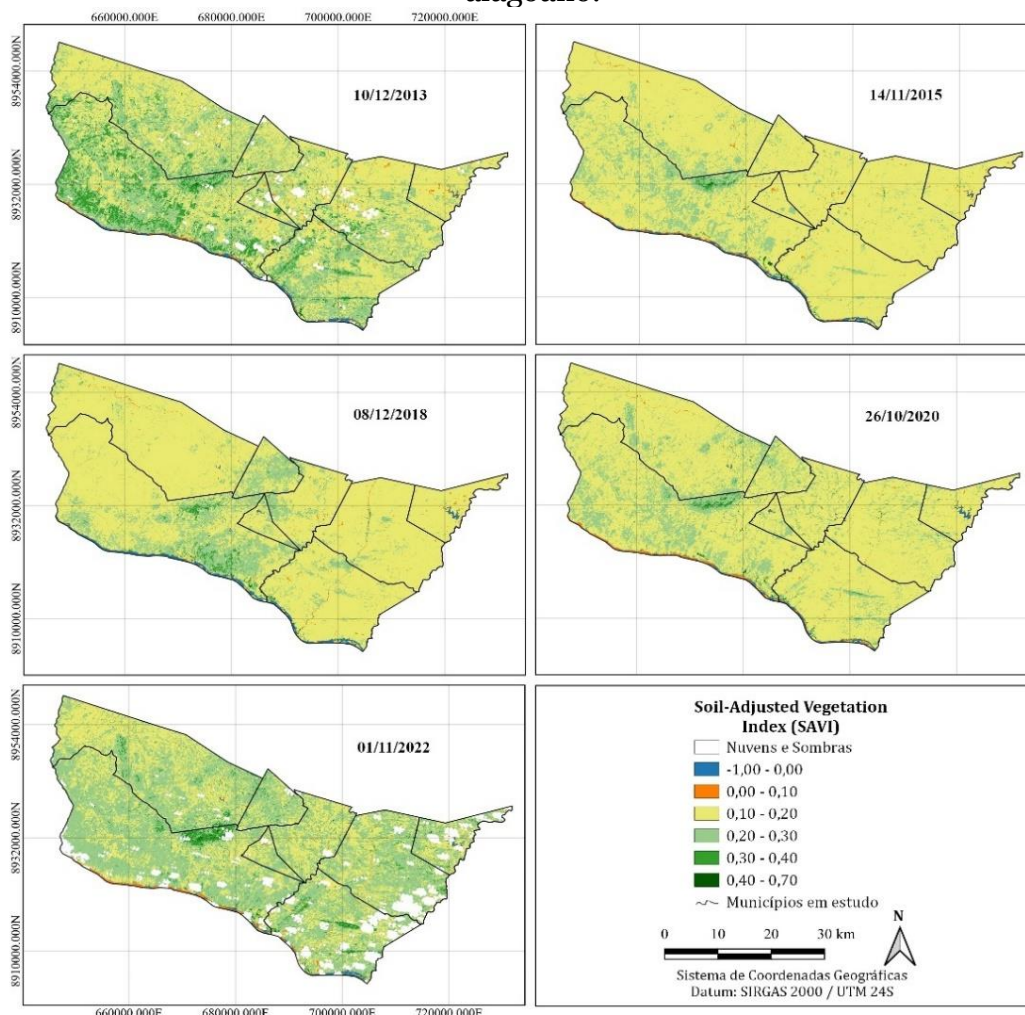
Ao verificar a distribuição da precipitação dos últimos 90 dias (Figura 6) que antecedem a captura das imagens pelo satélite é possível verificar os efeitos dos altos volumes de chuva em 10/12/2013 (Figura 7), onde é considerável a distribuição da vegetação densa. Todavia, há uma redução significativa nos anos seguintes, voltando a manifestar-se com mais vigor somente em 01/11/2022, um dos anos mais chuvosos da série (Figura 5), o que evidencia os efeitos diretos dos baixos volumes de chuva no período seco na vegetação da Caatinga. Entretanto,

a prática agrícola na área de estudo pode, por vezes, elevar os valores de NDVI, visto que o desenvolvimento de algumas culturas pode confundir os sensores dos satélites devido aos seus comportamentos espectrais assemelharem-se aos da vegetação nativa (Jardim *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2021a).

Soil-adjusted vegetation index - SAVI

Para melhor interpretação dos dados provenientes do SAVI, foi adotada a seguinte classificação: -1,0 a 0,0 para corpos hídricos, 0,0 a 0,1 para solo exposto, 0,1 a 0,2 para pouca vegetação, 0,2 a 0,3 para vegetação aberta, 0,3 a 0,4 para vegetação densa e 0,4 a 0,7 para vegetação muito densa (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição espaço-temporal do SAVI em municípios do semiárido alagoano.



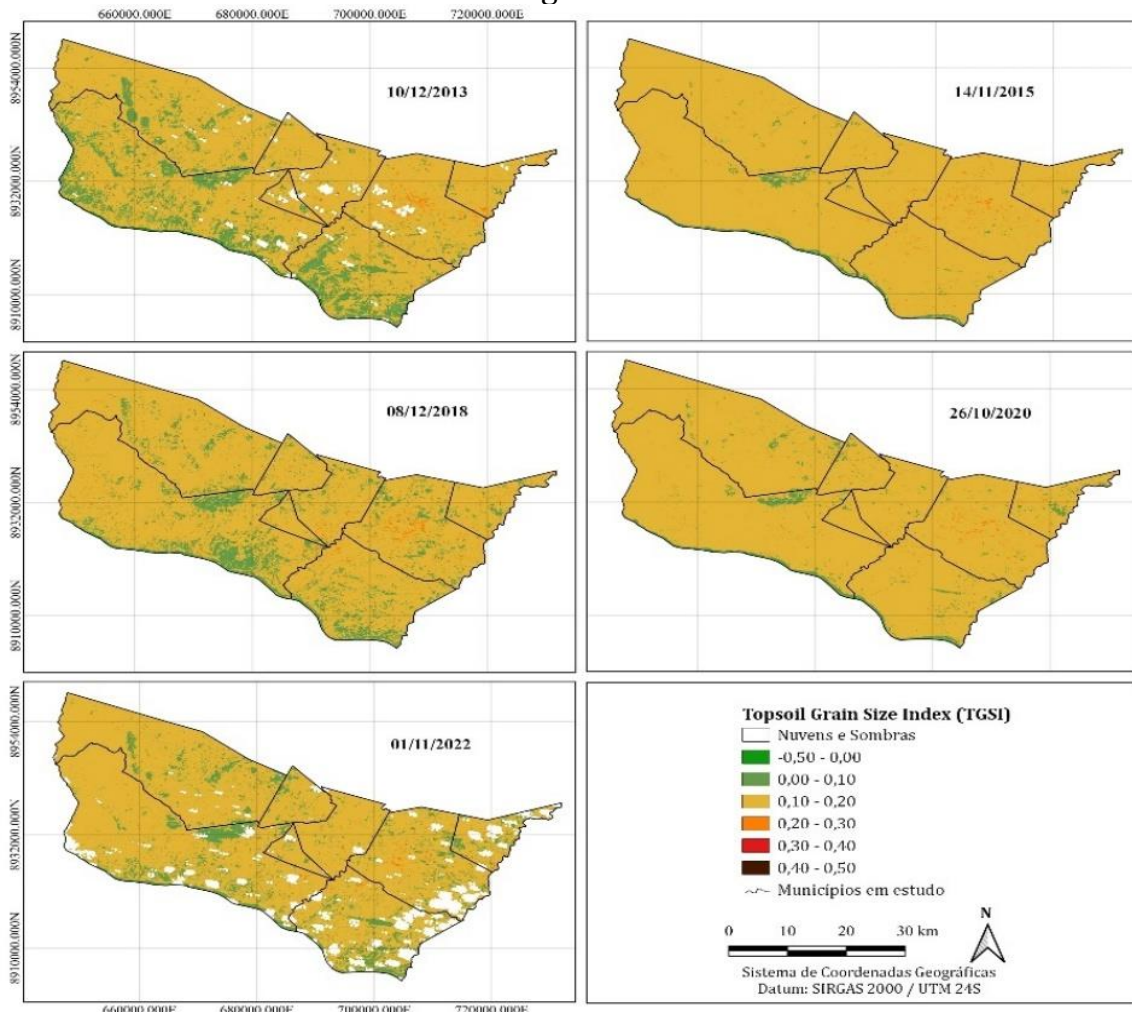
Fonte: A autora (2023).

Uma vez que o SAVI é um subproduto do NDVI, os resultados obtidos tendem a ser semelhantes, entretanto algumas alterações foram constatadas. Enquanto o NDVI declara “vegetação aberta” como classe mais expressiva no território durante a série temporal, o SAVI aponta a classe “pouca vegetação” como dominante. Isso ocorre porque ao não considerar os efeitos do solo na resposta espectral, os valores de NDVI costumam ser maiores que os do SAVI, pois o índice pode confundir áreas degradadas com a vegetação nativa da Caatinga, como evidenciado nas figuras 7 e 8 (Ribeiro; Silva; Silva, 2016).

Topsoil grain size index - TGSI

Em 10/12/2013, os dados de TGSI destacam uma maior zona coberta por valores negativos cuja ocorrência diminui gradativamente no território ao longo da série temporal de modo que para as outras imagens valores maiores que zero foram predominantes (Figura 9).

Figura 9 - Distribuição espaço-temporal do TGSi em municípios do semiárido alagoano.



Fonte: A autora (2023).

Valores acima do limiar de 0,2 estabelecido por Xião *et al.* (2006) para áreas vulneráveis a desertificação foram observados nos anos avaliados, sobretudo na região correspondente à Batalha. Essa constatação dos autores pode estar relacionada à degradação intensa do meio devido ao pisoteio excessivo de animais, desenvolvimento de práticas rudimentares na pecuária e a devastação da floresta nativa, fatos comumente observados no município (Alagoas, 2017; IEL/AL, 2022). Tais atitudes podem culminar no empobrecimento do solo e redução da cobertura vegetal, colaborando para o aumento de zonas de solos expostos e ocorrência dos processos erosivos cuja atuação frequente e intensa pode retirar material fino do solo, deixando somente o material grosseiro,

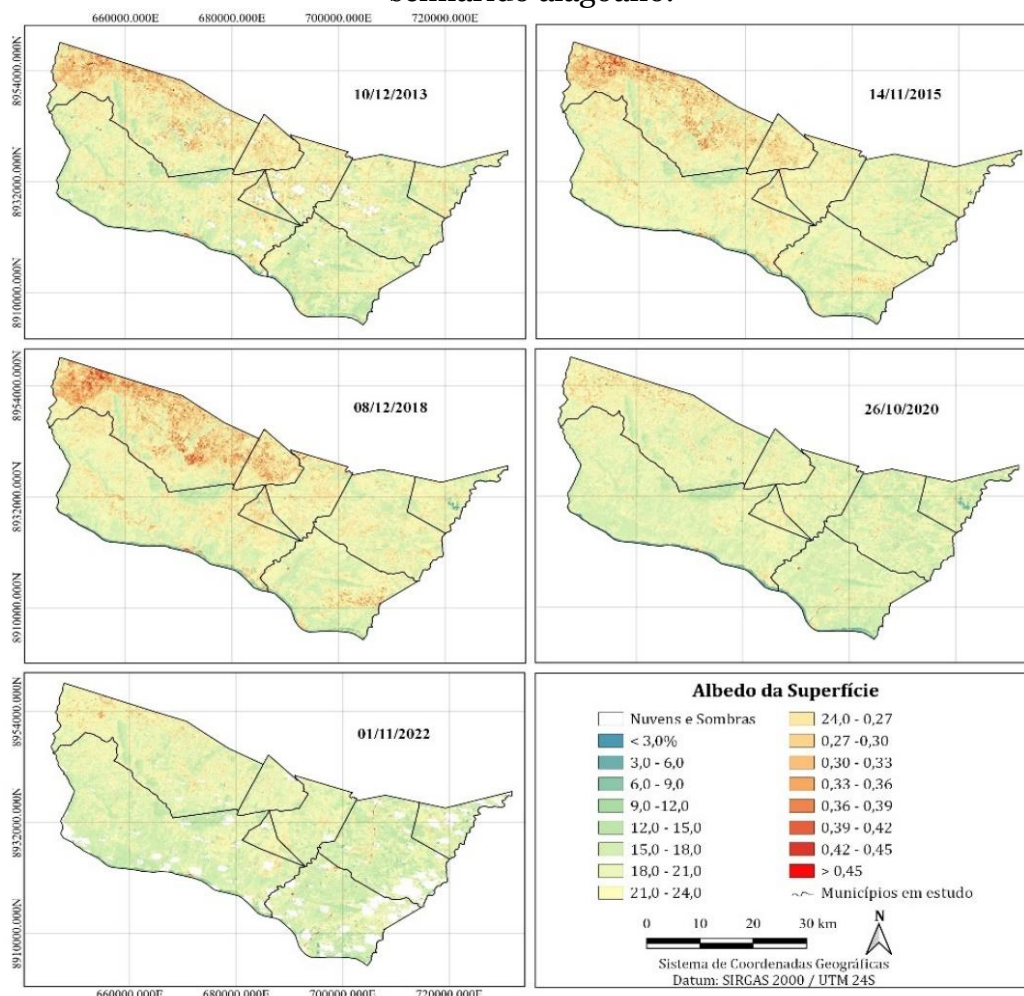
justificando os valores de TGSI elevados, acima do limiar instituído (Pereira *et al.*, 2021; Queiroz *et al.*, 2021).

Albedo

A razão da energia refletida pela incidente expressa pelo albedo evidencia as modificações ocorridas no espaço ao longo da série temporal (Figura 10).

Os tons avermelhados que ocupam parte expressiva dos municípios de São José da Tapera, Monteirópolis e Palestina em 10/12/2013, 14/11/2015 e 08/12/2018 representam superfícies lisas e de coloração mais clara, portanto, mais vulneráveis ao processo de desertificação (Lamchin *et al.*, 2016). A mesma área também apresentou valores mais baixos para os índices NDVI e SAVI.

Figura 10 - Distribuição espaço-temporal do albedo em municípios do semiárido alagoano.



Fonte: A autora (2023).

A classe 18,0-21,0 ocupou maior proporção do território analisado em todos os mapas, indicando quão esparsa e reduzida é a vegetação predominante no território, como já demonstrado pelos índices NDVI e SAVI, além da prevalente fração grosseira no solo, apontada pelo TGSI, fatores decorrentes do sobrepastejo, prática comum em municípios da Bacia Leiteira de Alagoas (Vasconcelos Júnior, 2017). Os elevados valores de albedo na área de estudo são reflexo do estado crítico da cobertura vegetal e do solo na região. Tais aspectos corroboram para a susceptibilidade do território desses municípios ao processo de desertificação, intensificado a cada ano pelas práticas insustentáveis desenvolvidas nos mesmos, reflexo da gestão equivocada associada a falta de conhecimento da população (Costa, 2021).

Dados de campo

Os dados registrados através das visitas nos oito municípios correspondentes a área de estudo (Figura 11) foram confrontados com aqueles oriundos dos índices de desertificação, bem como os do MapBiomias.

O primeiro ponto corresponde a uma área de pastagem localizada no município de Jaramataia (Figura 11A). Em meio a vegetação herbácea, haviam espécimes jovens de algaroba (*Prosopis juliflora*) e jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), evidências de degradação, visto que o expressivo potencial alelopático da *M. tenuiflora* concebe, em ambientes desequilibrados, predomínio de sua espécie em relação a outras plantas nativas da Caatinga, enquanto *P. juliflora* é uma espécie invasora no semiárido nordestino e, portanto, compete pelos recursos disponíveis com as plantas características da região (Alves *et al.*, 2020; Nogueira *et al.*, 2019).

Ainda em Jaramataia, o ponto 2 constitui-se de uma área classificada como Floresta pelo MapBiomias (Figura 11B). No entanto verificou-se apenas um fragmento de vegetação nativa remanescente de extrato subarbóreo, no qual foram encontradas catingueiras (*Caesalpinia pyramidalis*), madacarus (*Cereus jamacaru*), marmeleiros (*Croton sonderianus*), angicos (*Anadenanthera colubrina*), juazeiros (*Ziziphus joazeiro*), braúnas (*Melanoxylon brauna*) e

juremas-preta (*Mimosa tenuiflora*). Apesar da presença de espécies nativas, foram encontradas também palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*), capim panasco (*Aristida adscensionis*) e velame (*Croton heliotropiifolius*), evidenciando o manejo do território. A introdução de plantas forrageiras em área de vegetação nativa intensifica a prática do desmatamento e amplia o contingente de potenciais espécies invasoras, pois o estabelecimento das mesmas é facilitado em ambientes perturbados (Almeida *et al.*, 2014).

Desmatamento expressivo, fumaça decorrente de queimadas, solo desnudo e marcas de trator de esteira foram encontrados em área de floresta no ponto 3, localizado no município de Batalha, caracterizando perda de vegetação natural (Figura 11C). Em meio a essa devastação, alguns exemplares de catingueira, marmeleiro e jurema-preta foram identificados. Batalha é uma das principais cidades da bacia leiteira de Alagoas, apresentando produção significativa de leite e derivados. Porém, a vegetação nativa é incomum em seu território. Nesse contexto, é evidente a vulnerabilidade do solo ao fenômeno de desertificação na região, fazendo-se necessária a implantação de práticas que conservem e restaurem os ecossistemas naturais e a melhoria dos sistemas alimentares, como sugerido pelo último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022).

O ponto 4 corresponde a uma área de pastagem em uma propriedade de Batalha, onde foi observada a criação de bovinos e grande quantidade de algaroba (Figura 11B). A dispersão dessa espécie é comumente realizada por meio das fezes de bovinos e caprinos. Apesar de sua madeira ser utilizada como fonte de lenha e em construção de cercas e de suas vagens servirem de alimento para o homem e para o gado, sua presença prejudica o desenvolvimento da vegetação da Caatinga, a fauna a ela associada e a disponibilidade de água. Desse modo, a presença de *P. juliflora* não é interessante no semiárido nordestino (Nogueira *et al.*, 2019). O solo na propriedade encontrava-se arado, prática que fragiliza sua estrutura e constituição, uma vez que o torna mais susceptível às consequências da erosão hídrica e eólica, pois além da discreta cobertura vegetal não proteger efetivamente o solo, sua natureza rasa e suas partículas soltas corroboram para a degradação do mesmo (Oliveira, 2021b).

Em Belo Monte, o quinto ponto (Figura 11E) corresponde a um fragmento de vegetação nativa bastante degradada. Mesmo situado em uma serra, foram observadas muitas áreas desmatadas e marcas de queimadas no solo e na vegetação ainda presente, representada por espécimes de Ouricuri (*Syagrus coronata*), Braúna, Catingueira, Ipê-amarelo (*Handroanthus albus*), jurema-preta e velame. O cultivo de palma forrageira destinada a alimentação animal é predominante no local, mesmo nas partes mais íngremes do relevo, caracterizando o uso da área para a atividade agropecuária, expressiva no município.

Uma plantação de capim foi encontrada no ponto 6, ainda em Belo Monte, área direcionada a criação de animais (Figura 11F). O solo bastante seco apresentava uma tonalidade clara e suas partículas grosseiras estavam nitidamente soltas. Isto pode indicar um constante revolvimento e uso do solo, justificando assim os maiores valores apresentados pelo TGSI e albedo (Figura 9 e 10).

Em Jacaré dos Homens, são registrados os pontos 7 e 8. O primeiro refere-se a um fragmento de floresta de extrato subarbóreo composto por diversas espécies nativas, como catingueira, angico, mandacaru (*Cereus jamacaru*), mofumbo (*Combretum leprosum*), marmeleiro, pau ferro (*Libidibia ferrea*), jurema-branca (*Piptadenia stipulacea*), braúna, juazeiro e pata de vaca (*Bauhinia forficata*). Apesar da diversidade vegetal, a área não pode ser considerada natural dada a existência de clareiras no meio da mata para o plantio de espécies forrageiras, tornando-a antropizada (Figura 11G). O ponto 8, por sua vez, está localizado às margens do Riacho Jacaré (Figura 11H). A plantação de palma presente na área e a criação de animais explicam o assoreamento deste corpo hídrico, justificando os valores mais críticos dos índices de desertificação encontrados para esse ponto.

Em Monteirópolis todo o percurso realizado compreendia áreas destinadas a criação animal, sobretudo bovinos. O nono ponto afirma este cenário ao estar inserido numa extensa área de pastagem, com alguns espécimes de juazeiro e umburana (*Amburana cearenses*) plantados. Ao lado dessa havia ainda

um cultivo de palma, provavelmente utilizado para alimentação animal (Figura 11I).

Nas proximidades do limite municipal de Monteirópolis, localiza-se o ponto 10, uma área declivosa de solo coberto por fragmentos rochosos com vegetação nativa, mas manejada (Figura 11j). Dentre as plantas encontradas destaca-se a cajarana (*Spondias venulosa*), cujo nascimento espontâneo é incomum, ocorrendo comumente em regiões mais conservadas (Alvarenga; Araújo-Santos; Benchimol, 2020). Ainda, foi observado o plantio de palma para a alimentação animal e uma área destinada ao plantio de culturas como o milho e o feijão, onde são mantidos os ouricuris devido a importância de sua palha e seus frutos para os moradores locais.

O ponto 11 está situado em São José da Tapera e corresponde a uma área de pastagem direcionada a criação de bovinos e caprinos. Ipê-amarelo, catingueira e macambira (*Bromelia laciniosa*) foram identificados na área, porém a disposição das mesmas demonstra que não surgiram naturalmente no ambiente. A presença de pequenos arbustos esparsos, com destaque para jurema-preta e algaroba, e o cultivo de plantas forrageiras reforçam a existência de uma área degradada (Figura 11K).

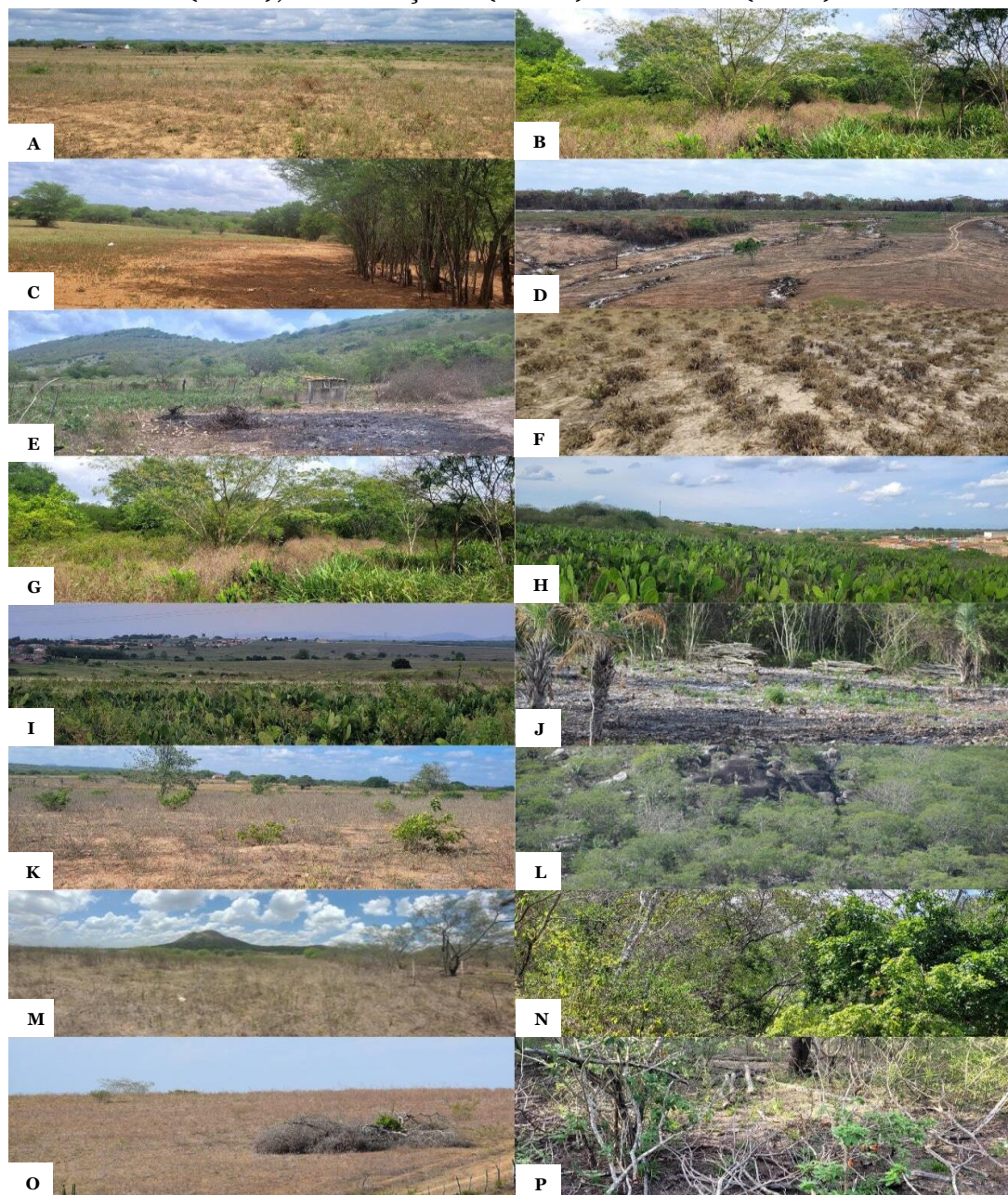
No décimo segundo ponto, foi encontrada uma região de mata em São José da Tapera (Figura 11L). A diversidade vegetal é representada por espécies de ouricuri, angico, jurema-branca, jurema-preta, catingueira, pereiro (*Aspidosperma pyriformium*), umbuzeiro, pinhão manso (*Jatropha curcas*), bromélias (família *Bromeliaceae*), ipês (*Tabebuia sp.*), pau ferro, espirradeira (*Nerium oleander*), cactáceas e variedades de pata de vaca (*Bauhinia sp.*). Também, foi observada a existência de muitos fungos associados à vegetação, demonstrando quão equilibrado é o ambiente, visto que quando sujeito a mudanças drásticas o desenvolvimento desses organismos é afetado (Oliveira *et al.*, 2022). Mesmo assim, foram verificados indícios de manejo da área, dentre eles pegadas de animais no solo, fezes bovinas e clareiras, nas quais havia inclusive a algaroba.

Os pontos 13 e 14 estão situados no município de Pão de Açúcar. No primeiro foi observada a presença de gado e o predomínio de algarobas e jurema-

preta, evidenciando o uso da área para a atividade pecuária (Figura 11M). Já o ponto 14 está localizado em um território de difícil acesso, há 300m de altitude (Figura 11N). Neste ambiente foram encontradas as espécies juazeiro, marmeleiro, catingueira, barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), ipê, pata de vaca e embaúba (*Cecropia pachystachya*). Entretanto, mesmo diante do acentuado declive do terreno, a plantação de capim e palma forrageira, bem como pegadas e fezes de animais ruminantes foram identificadas no local em meio a vegetação nativa.

Em Palestina se localizam os dois últimos pontos. Assim como em Monteirópolis, a maior parte de seu território é ocupada por áreas de pastagem, todavia em Palestina o solo apresenta, geralmente, aspecto mais grosseiro e coloração mais clara, indicando maior degradação. O ponto de número 15 é uma área de pasto cujo solo é desnudo, havendo apenas alguns trechos de capoeira (Figura 11O). Algumas espécies plantadas foram encontradas, tais como braúna, catingueira e facheiro (*Pilosocereus pachycladus*). Já o ponto 16, um dos poucos locais do município classificados como floresta pelo MapBiomas (Figura 4), apresenta um fragmento de mata bastante antropizado, com extensas clareiras e indícios de retirada de madeira, principalmente do angico (Figura 11P). Além da *A. colubrina*, espécimes de catingueira, macambira, marmeleiro e cactáceas foram observadas no local.

Figura 11 - Aspectos dos pontos selecionados para a visita na área de estudo, classificados, respectivamente, como Pastagem/Agricultura e Floresta no MapBiomas nos municípios Jaramataia (A e B), Batalha (C e D), Belo Monte (E e F), Jacaré dos Homens (G e H), Monteirópolis (I e J), São José da Tapera (K e L), Pão de Açúcar (M e N) e Palestina (O e P).



Fonte: A autora (2023).

CONCLUSÃO

No decorrer dos anos, o avanço da degradação do solo nos municípios de São José da Tapera, Pão de Açúcar, Monteirópolis, Palestina, Jacaré dos Homens,

Belo Monte, Batalha e Jaramataia tem corroborado para a susceptibilidade da área ao processo de desertificação. O manejo inadequado do solo, sobretudo para o desenvolvimento da pecuária, bem como a exploração demasiada da vegetação, representa fatores essenciais na instauração desse cenário.

O sensoriamento remoto mostrou-se uma ferramenta eficaz para a constatação da degradação existente no território, facilitando a compreensão da relação existente entre diversos fatores ambientais. Entretanto, notou-se limitações dos sensores para distinguir solos desnudos daqueles com pouca e esparsa vegetação. Portanto, apesar da eficácia do sensoriamento remoto para a obtenção de dados, a realização de visitas aos municípios proporcionou a aquisição de informações mais íntegras e precisas.

O desenvolvimento de estudos complementares para a avaliação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo podem contribuir para a descrição do nível de sua deterioração, contribuindo para a implantação de estratégias a fim de impedir ou mitigar os efeitos da desertificação no semiárido alagoano.

REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). **Plano de Ação Estadual de Alagoas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE-AL**. 2011.

Disponível em:

https://www.mma.gov.br/images/arquivos/gestao_territorial/desertificacao/programas_estaduais/pae_al_versao_final.pdf. Acesso em: abr. 2020.

ALAGOAS. Secretaria de Estado do Planejamento Gestão e Patrimônio (SEPLAG). **Estudo sobre Pecuária Leiteira de Alagoas**. Maceió: Seplag, 2017.

Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/fab1d5e2-e649-40fd-a965-cd5b73235914/resource/7c57b399-bc36-42ab-b280-d665aeb2196b/download/pecuaria.pdf>. Acesso em: jun. 2022.

ALAGOAS. Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio (SEPLAG). **Bacia Leiteira e Pólo Leiteiro Alagoano (Mapa)**. 2015.

Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/0305ed10-fdf6-45b9bedf-c91d553f50d4/resource/222ffe76-29b0-47aa-933f224652df68df/download/baciaepololeiteiroalagoano2015.png>. Acesso em jun. 2022.

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, p.395 - 406, 2007. DOI: [https://10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380)).

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSSEN, W. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL):** Advanced training and users manual, Idaho, 2002.

ALMEIDA, C. L.; CARVALHO, T. R. A.; ARAÚJO, J. C. Leaf area index of Caatinga biome and its relationship with hydrological and spectral variables. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 279, n.7, p.1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107705>.

ALMEIDA, W. R. *et al.* The alien flora of Brazilian Caatinga: deliberate introductions expand the contingent of potential invaders. **Biological Invasions**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 51-56, 2014. DOI: 10.1007/s10530-014-0738-6.

ALVARENGA, J. M.; ARAÚJO-SANTOS, I.; BENCHIMOL, M. Influência da cobertura florestal na chegada de sementes em agroflorestas de cacau. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 32, n. 3, p. 207-216, 2020. DOI: <https://10.21757/0103-3816-2020v32n3p207-216>.

ALVES, R. J. R.; SILVA, M. A. D; ALVES, R. M.; DVOSKIN, D. M. ; MOURA, D. P.; SILVA, L. M. Allelopathic influence of the aqueous extract of fresh leaflets of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. on the germination of *Bidens pilosa* L. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 1-16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8061>.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; DUPLICHT, T. M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.523-530. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000500010>.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [s.l.], v, 41, n. 11, p. 2674 – 2677, 2003. DOI: <https://10.1109/TGRS.2003.818464>.

COSTA, L. E. dos S. **Avaliação do processo de desertificação nos municípios de Ouro Branco e Senador Rui Palmeira, no semiárido alagoano, a partir de sensoriamento remoto.** 2021. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDAO, Z. N.; LIMA, E. R. V. de; SILVA, B. B. da. Mapeamento da Vulnerabilidade das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. **Revista Brasileira de Geografia**

Física, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 271-286, 2013. DOI:
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.2.p271-286>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de Informações do Censo Demográfico 2010**: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IEL/AL - Instituto Euvaldo Lodi. **Diagnóstico do setor de laticínios do estado de Alagoas**: análise das empresas vinculadas ao sindicato do leite de alagoas. Maceió: Avança + Indústria, 2022.

IMA – Instituto de Meio Ambiente do Estado de Alagoas. **Áreas de risco à desertificação, semiárido alagoano (Mapa)**, 2018.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change and Land**: an IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, [s.l.], 2020.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. The Working Group II contribution was released on 28 February 2022. **Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.], 2022.

JARDIM, A. M. Da R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; SILVA, M. V.; SANTOS, A. dos; SILVA, J. L. B. da; PANDORFI, H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; TEIXEIRA, A. H. C.; TEODORO, P. E.; LIMA, J. L. M. P. ; SILVA JÚNIOR, C. A.; SOUZA, L. S. B. de; SILVA, E. A.; SILVA, T. G. F. da . Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 14, n. 8, p. 1911-1938, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14081911>.

LAMCHIN, M.; LEE, J.; LEE, W.; LEE, E. J.; KIM, M.; LIM, C.; CHOI, H.; KIM, S. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. **Advances in Space Research**, [s.l.], v. 57, n.1, p. 64–77, 2016. DOI: <https://10.1016/j.asr.2015.10.006>.

MARKHAM, B. L., BARKER, L. L. “Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances”. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 517 - 523, 1987.

NOGUEIRA, F. de C.; PAGOTTO, M. A. ; ARAGÃO, J. R. V.; ROIG, F. A.; RIBEIRO, A. de S.; LISI, C. S. The hydrological performance of *Prosopis juliflora* (Sw.) growth as an invasive alien tree species in the semiarid tropics of northeastern Brazil. **Biological Invasions**, [s.l.], v. 21, n. 8, p. 2561-2575, 2019. DOI: <https://10.1007/s10530-019-01994-y>.

OLIVEIRA, A. M.; COSTA, D. F. S. Mapping of Caatinga ecosystems: evaluation of the effectiveness of vegetation indexes (ndvi and savi) and object-oriented

mapping. **Raega**, [s.l.], v. 49, n.2, p. 143-163, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.5380/raega.v49i0.66456>.

OLIVEIRA, M. K. S.; FERREIRA, E. A.; ALMEIDA, N. V.; SILVA, E. F. da;
VASCONCELOS, A. A. Dinâmica Espaço-Temporal da Paisagem Semiárida no
Município de Apodi/RN e seus Condicionantes Socioeconômicos e Ambientais.
Revista Brasileira de Geografia Física, [s.l.], v.14, n.4, p. 2446-2464,
2021a. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2446-2464>.

OLIVEIRA, T. S.; CARVALHO, C. C. N. de; CORREIA, C. C.; FONSECA, E. C. N.
F.; NUNES, F. C. Avaliação da degradação de pasto nativo embasada em
parâmetros de solo. **Diversitas Journal**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 1871-1885, 2021b.
DOI: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i2-1424>.

OLIVEIRA, V. C.; TRINDADE, R. de C.; CARVALHO FILHO, O. M. de; COSTA,
J. L. da S.. Atividade microbiana enzimática e população microbiana como
bioindicadores da qualidade de solos para o monitoramento ambiental em
agroecossistemas do semiárido. In: SOUZA, W. J. O.; GOMES, E. N.;
RODRIGUES, J.S. **Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia,**
produção e novos mercados. Guarujá: Científica Digital, 2022. DOI:
<https://doi.org/10.37885/220308074>.

PEREIRA, A. P. A.; LIMA, L.; BEZERRA, W.; PEREIRA, M.; NORMANDO, L.;
MENDES, L.; OLIVEIRA, J.; ARAUJO, A.; MELO, V. Grazing exclusion
regulates bacterial community in highly degraded semiarid soils from the
Brazilian Caatinga biome. **Land Degradation & Development**, [s.l.], v. 32,
n. 6, p. 2210-2225, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22541/au.159100389.91906493>.

QUEIROZ, M.G.; SILVA, T. G. F. da; SOUZA, C. A. A. de; JARDIM, A. M. da R.
F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de.
Composition of Caatinga Species Under Anthropic Disturbance and Its
Correlation With Rainfall Partitioning. **Floresta e Ambiente**, [s.s.], v. 28, n. 1,
p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0044>.

RIBEIRO, G. A.; SILVA, J. N. C.; SILVA, J. B da. Índice de vegetação ajustado
ao solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. **Revista Brasileira de
Geografia Física**, [s.l.], v. 9, n. 6, p. 2054 – 2074, 2016. DOI:
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p2054-2074>.

SILVA JUNIOR, R. S.; GAMA, M. C. C.; SILVA, E. H. de L.; MARIANO, G. L.;
OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; SILVA, L. S. de O.; CARDOSO, K. R. A. Avaliação de
eventos extremos de precipitação, associados a desastres naturais. **Revista
Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 15, n. 6, p. 2755-2767, 2022. DOI:
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p2755-2767>.

SOUZA, D. G.; SFAIR, J. C.; PAULA, A. S. de; BARROS, M. F.; RITO, K. F.;
TABARELLI, M. Multiple drivers of aboveground biomass in a human-modified
landscape of the Caatinga dry forest. **Forest Ecology And Management**,

[s.l.], v. 435, n. 1, p. 57-65, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.042>.

VASCONCELOS JÚNIOR, N. A. **Organização espacial da bacia leiteira no Semiárido de Alagoas**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

XIÃO, J.; SHEN, Y.; TATEISHI, R.; BAYAER, W. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 27, n.1, p. 2411-2422, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600554363>.

Recebido em 13 de fevereiro de 2024
Aceito em 04 de julho de 2024