

Identificação do NDVI dos municípios de Penalva-MA, Arari-MA, Bequimão-MA e Caxias-MA

Marcos Nabate Mendes Ferreira¹
Universidade Estadual Paulista - FCA

Eduardo Luís Silva Do Vale²
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Thayssa Manuelle Gaioso Garçês³
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Gabriel da Silva Behenck⁴
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Rodrigo Neves Silva⁵
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Francisco Ronaldo Belem Fernandes⁶
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

RESUMO

O estado do Maranhão possui grande diversidade na sua ecologia com características marcante na transição dos biomas Amazônia e Cerrado. Contudo, a

1 Mestrando em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP). 3780, Altos do Paraíso, Botucatu, São Paulo, Brasil, CEP: 18610-034. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-2541-4355>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/717385338843836>. **E-mail:** marcosmendes1410@gmail.com.

2 Graduando em Engenharia Agrônoma na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). AV. Lourenço Vieira da Silva, 1000, , São Cristóvão, São Luís, Maranhão, Brasil. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-9239-2287>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4658526296496734>. **E-mail:** eduardoval1237@gmail.com.

3 Graduando em Engenharia Agrônoma na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). AV. Lourenço Vieira da Silva, 1000, , São Cristóvão, São Luís, Maranhão, Brasil. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-6818-1466>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6915372663047582>. **E-mail:** thayssa.manu.garces@gmail.com.

4 Graduando em Engenharia Agrônoma na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). AV. Lourenço Vieira da Silva, 1000, , São Cristóvão, São Luís, Maranhão, Brasil. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1485-2568>.

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4145340143267244>. **E-mail:** gabriel.silva1971@outlook.com.

5 Graduando em Engenharia Agrônoma na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). AV. Lourenço Vieira da Silva, 1000, , São Cristóvão, São Luís, Maranhão, Brasil. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-7462-5778>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2076640869340496>. **E-mail:** rodrineves73@gmail.com.

6 Professor Doutor em Mecanização e Máquinas Agrícolas na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). AV. Lourenço Vieira da Silva, 1000, , São Cristóvão, São Luís, Maranhão, Brasil. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-5120-4390>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1775219184582439>. **E-mail:** ronaldoagroufc@gmail.com.

agricultura no estado é baseada no agronegócio e na agricultura itinerante resultando em diversos impactos no meio ambiente. Dessa forma, a análise das mudanças da vegetação contribui para as tomadas de decisões do poder público quanto a preservação do ecossistema e favorecem uma produção agrícola sustentável. Esse monitoramento, se tornou cada vez mais relevante já que existe a necessidade de aumentar a produção de alimentos sem haver a degradação da natureza. Portanto, conhecer os fatores que exercem impactos sobre o meio ambiente é de grande importância para tomadas de decisões sobre a preservação ambiental.

Palavras-chave: Biomass; Ecologia; Monitoramento; Vegetação.

Identification of NDVI for the municipalities of Penalva-MA, Arari-MA, Bequimão-MA and Caxias-MA

ABSTRACT

The state of Maranhão has great diversity in its ecology, with marked characteristics in the transition between the Amazônia and Cerrado biomes. However, agriculture in the state is based on agribusiness and itinerant farming, resulting in various impacts on the environment. In this way, the analysis of vegetation changes contributes to public decision-making regarding the preservation of the ecosystem and favors sustainable agricultural production. This monitoring has become increasingly relevant since there is a need to increase food production without degrading nature. Therefore, knowing the factors that have an impact on the environment is of great importance when making decisions about environmental preservation.

Keywords: Biomes; Ecology; Monitoring; Vegetation.

Identificación del NDVI para los municipios de Penalva-MA, Arari-MA, Bequimão-MA y Caxias-MA

RESUMEN

El estado de Maranhão presenta una gran diversidad en su ecología, con marcadas características en la transición entre los biomas de la Amazonia y el Cerrado. Sin embargo, la agricultura en el estado se basa en el agronegocio y la agricultura itinerante, lo que resulta en diversos impactos sobre el medio ambiente. De esta forma, el análisis de los cambios en la vegetación contribuye a la toma de decisiones públicas sobre la preservación del ecosistema y favorece la producción agrícola sostenible. Este seguimiento es cada vez más relevante, ya que es necesario aumentar la producción de alimentos sin degradar la naturaleza. Por ello, conocer los factores que inciden en el medio ambiente es de gran importancia a la hora de tomar decisiones sobre su preservación.

Palabras-clave: PBiomass; Ecología; Vigilancia; Vegetación.

INTRODUÇÃO

O Maranhão é um estado eminentemente agrícola, que historicamente desempenha um papel importante no setor agrícola, especialmente no fornecimento de matérias-primas (OLIVEIRA et al., 2022). Quando se trata da sua produção agrícola, em suas lavouras temporárias, se destacam a produção de abacaxi, algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja, e suas lavouras permanentes como a produção de banana obtendo destaque dentro da fruticultura (IBGE, 2023).

Segundo Azevedo et al. (2024), a base econômica do estado está constituída pelos setores de serviços, indústria e agropecuária, no entanto, a agricultura se destaca frente a esses demais setores, pois representa o maior mercado de trabalho para a população maranhense onde, em sua maioria, ainda está baseada no sistema de cultivo tradicional adotando o uso de práticas rudimentares de exploração, isto é, a broca, derrubada e queima da vegetação que continuam sendo usadas no dia a dia dos agricultores itinerantes para preparação de áreas agrícolas.

A agricultura familiar no Maranhão tem desempenhado um papel notável, principalmente nas últimas décadas, sendo responsável por uma parcela significativa da produção e da renda das famílias rurais (BEZERRA et al., 2023). De acordo com Carvalho e Macedo (2024), os principais sistemas de culturas temporárias praticados pelos agricultores familiares do Maranhão apresentam baixas produtividades, sendo os mesmos fundamentados no uso de práticas agrícolas rudimentares, a exemplo da utilização do fogo no preparo das áreas de plantio. O uso do fogo tem sido passado de geração em geração como uma ferramenta básica de manejo devido a sua forma rápida e barata de limpar a terra, reduzindo a incidência de plantas invasoras e pragas, além de produzir cinzas que, a curto prazo, disponibilizam nutrientes importantes como nitrogênio, fósforo e potássio. No entanto, a utilização do fogo como ferramenta agrícola gera vários impactos no ambiente, como a perda da biodiversidade e a piora na qualidade do ar (NERES e NERES, 2021).

O fluxo de queimadas no Maranhão é intenso especialmente entre os meses de agosto a novembro em consequência dos fatores climáticos como a baixa umidade do ar e a elevação da temperatura. Para o produtor rural a queima é tradicionalmente utilizada para abrir espaços para implantar uma agricultura e também para pastagens e rebanhos (CORRÊA et al., 2021). Na produção pecuária, a pastagem, é considerada a maior classe de utilização da terra no planeta, ocupando em torno de 3,5 bilhões de hectares e a fonte predominante de forragem para animais em pastejo no mundo (MARINO et al., 2022). Logo, a exploração da pastagem de forma inadequada, gera um sério problema de degradação e compromete o desempenho animal e a rentabilidade do sistema de produção (OJEDA et al., 2022).

Dessa forma, uma das maneiras de realizar o monitoramento das áreas onde há implantação da agricultura e da pecuária é através da utilização do sensoriamento remoto que segundo Jansen et al. (2023) para analisar os efeitos provocados na mudança da vegetação resultante das práticas de manejo agrícolas pode-se usar imagens de satélites dentro de uma série temporal que se consolidam como uma importante fonte de dados para o estudo da vegetação.

Assim, uma ferramenta que auxilia no estudo da mudança da vegetação e do uso da terra são os índices de vegetação, que capturam comprimentos de ondas do infravermelho, vermelho visível, azul e verde para ser analisados em modelos matemáticos (SANTORI, 2022). O modelo que tem sido mais utilizado para este tipo de operação é o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que expressa o vigor vegetativo da planta que nada

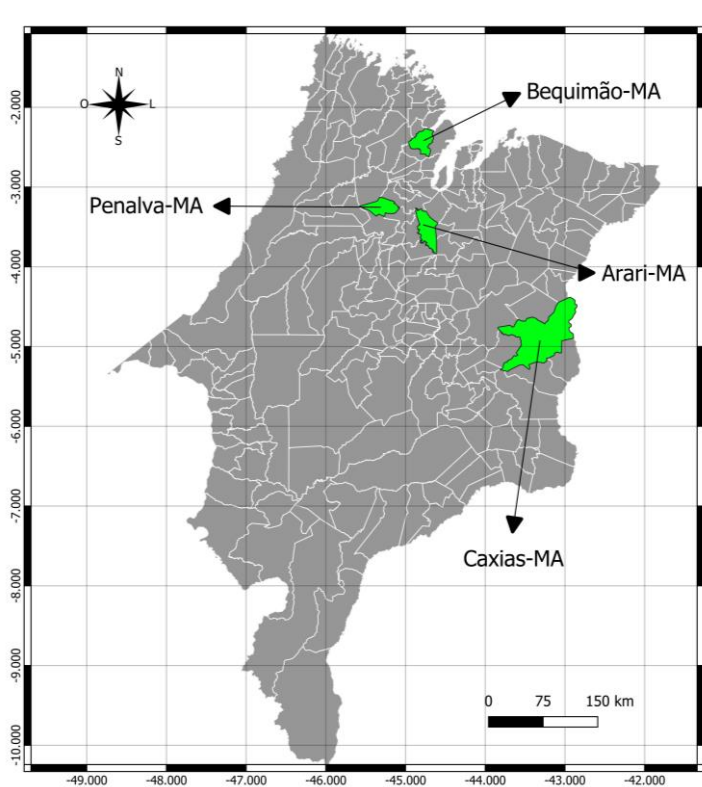
mais é do que, a diferença normalizada entre os valores das regiões do infravermelho e do vermelho (LIMA et al, 2023).

Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi analisar as extensões territoriais dos municípios de Arari, Penalva, Caxias e Bequimão por meio do NDVI entre os anos de 2013 a 2023 com intuito de analisar as mudanças que ocorreram na vegetação e no uso da terra nesse intervalo temporal auxiliando no reconhecimento das condições atuais da cobertura do solo permitindo maior direcionamento para implantação de políticas públicas que estejam voltadas para a preservação do meio ambiente.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no laboratório de geoprocessamento da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA através do software Qgis 3.28 selecionando os municípios de Arari, Bequimão, Caxias e Penalva localizados no estado do Maranhão (Figura 1). Estes municípios foram escolhidos devido ao destaque que tem sido atribuído as suas práticas agrícolas no qual estão majoritariamente voltadas para a roça no toco em decorrência da subestimação dessas áreas resultantes da sua formação geológica que apresentam em sua maioria campos de pastagem no qual seu manejo não é adequado contribuindo para o aumento de áreas degradadas e pressionando a abertura de novos campos para pastagem.

Figura1 – Localização dos municípios estudados no estado do Maranhão.



Fonte: Ferreira, M. N. M., 2024.

Os municípios de Arari, Bequimão e Penalva são pertencentes a formação Cujupe compostos basicamente por arenito, silte e argila avermelhados e amarelados com baixa fertilidade e alta toxidez por ferro e alumínio (ZEE, 2019). Para o município de Caxias que está localizado na região leste do estado possui solos resultantes da formação Itapecuru também apresentam Ferro e Alumínio em diferentes consistências e com grande presença de plintita caracterizando solos pobres em fertilidade (HECK et al., 1999). Tudo isso, estimula o aumento de áreas de pastagem devido a menor exigência nutricional se comparado com outras culturas permitindo que possam se desenvolver mesmo não alcançando seu ápice de produção, porém, entregando algum retorno com o suor da terra.

Segundo o IBGE (2022), o município de Penalva-MA possui uma extensão territorial de 1.512,96 km², com latitude: 2° 31' 15" S, e longitude: 45° 04' 58" W. Arari-MA apresenta uma extensão de 1.199,3 km² na latitude: 3° 27' 38" S, longitude: 44° 46' 56" O. Já Bequimão-MA possui uma extensão territorial de 790,222 km² na latitude: 2° 26' 58" S, longitude: 44° 46' 57" O. O município de Caxias-MA, possui uma extensão territorial de 5.202,927 km² com coordenadas geográficas na latitude: 4° 52' 29" S, longitude: 43° 20' 49" O. O estado do Maranhão está localizado em uma zona de transição de climas semiáridos, região nordeste, para o úmido equatorial, se assemelhando a região amazônica. As temperaturas anuais médias são superiores a 24°C, podendo chegar a 26° C na região norte do estado e possuindo regime pluviométrico que varia entre 700 mm na região central a 2200 mm na região norte com duas estações bem definidas.

Para alcançar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram baixadas imagens do Landsat 8 das bandas 4 (Vermelho) e 5 (Infravermelho próximo) do site do Earth Explorer USGS da NASA seguindo a seguinte sequência: 02/09/2013 e 04/10/2023 para o município de Penalva, Arari e Bequimão. Para o município de Caxias foram nos dias 24/09/2013 e 30/10/2023.

Em seguida, o arquivo vetorial em formato shapefile MUNICÍPIOS 2022 foi adquirido no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com informações sobre a delimitação dos municípios em formato Zip. Posteriormente, foi necessário selecionar a camada vetorial referente ao município pelo Qgis para que os mapas gerados respeitassem as delimitações distritais ajustando as coordenadas para UTM Zona 23 Sul, Datum Sirgas 2000 (Nascimento et al., 2020). Em seguida adicionadas ao software Qgis 3.28 para serem feitos o pré-processamento por meio do plugin SCP (Semi Automatic Classification) e o cálculo do NDVI usando a fórmula (1) na calculadora raster do próprio sistema.

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

NDVI - Índice por diferença normalizada;

NIR - Banda infravermelho;

RED - Banda do vermelho.

Esta fórmula foi usada na calculadora raster do software QGIS para obtenção de valores de NDVI que variam de -1 a 1 nos quais valores que estão mais próximo de 1 representam áreas com maior vegetação enquanto, valores mais próximos de 0 representam solo exposto e próximos de -1 corpos d'água. Os intervalos da tabela 1 foram estabelecidos para fins de classificação das classes nas imagens analisadas ao longo da série temporal (SILVA et al., 2022).

Tabela 1 – Valores padronizados para o cálculo do NDVI.

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	Caracterização
-1,0 a 0	Corpos d'água, área edificada
0,01 a 0,30	Solo exposto
0,31 a 0,60	Vegetação esparsa
0,61 a 1,0	Vegetação mais densa

Fonte: Silva et al., 2022.

Para a verificação de concordância dos mapas gerados por meio de validação estatística e confiabilidade dos dados, utilizou-se o índice Kappa que consiste de uma técnica discreta e multivariada que utiliza em seu cálculo todos os elementos de uma matriz de confusão (Silva e Silva, 2021).

Foi utilizado como referência o sensor TM do Landsat 8 para verificar o nível de concordância entre o mapa de referência da primeira data de intervalo e o mapa gerado com a segunda data 10 de seus respectivos municípios buscando a validação entre os dados elaborados. Segundo os Ferreira, M. N. M., 2024.es Lendis e Koch (1977) os valores do índice Kappa possuem graus de concordância variando de 0 a 1, entendendo-se que quanto mais próximo de 1 maior a concordância dos pontos gerados pelo software (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de índice Kappa e suas concordâncias.

Índice Kappa	Concordância
<0	Sem concordância
0,00 a 0,19	Pobre
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,59	Moderada

0,60 a 0,79	Forte
0,80 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch, 1977.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os dados gerados dos municípios de Penalva, Arari e Caxias neste trabalho obtiveram o índice Kappa de 0,60 sendo classificado como forte concordância dos pixels usados para análise da acurácia dos mapas gerados, com exceção do município de Bequimão que obteve o índice Kappa de 0,54 indicando uma concordância moderada devido à qualidade da imagem disponível no repositório do USGS com todas elas apresentando uma cobertura de nuvens com cerca de 10% da área da imagem.

Com a utilização da tecnologia de sensoriamento remoto, foi possível observar e analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal dos municípios de Penalva, Arari, Bequimão e Caxias no qual foram quantificados a extensão territorial correspondente a cada classe de acordo com os municípios estudados.

Para o município de Penalva as áreas de corpos d'água em 2013 foram de 33,0320 km² e em 2023 de 26,5185 km² representando uma redução de 14,54%. Já, para Arari apresentou uma área de 25,2837 km² em 2013 seguido de um aumento para 17,6521 km² no ano de 2023 representando uma redução de 30,16% e por fim, foi detectado para Bequimão uma área de 31,1751 km² no ano de 2013, enquanto em 2023 foi uma área de 17,5527 km² representando uma redução de 43,7%. Como os três municípios encontram-se na baixada maranhense essa redução dos corpos d'água foi perceptível para todos eles devido ao fenômeno da El Niño no ano de 2023 apresentando um acumulado de chuvas com valores próximos ou abaixo da média em grande parte das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (INMET, 2023).

Para o município de Caxias houve uma pequena redução no volume de água, representando um percentual de 0,68% sendo considerado um resultado insignificante, pois esse valor pode ter sido influenciado por diversos fatores como o sombreamento de uma área alagada, veranicos, aumento na incidência de radiação solar provando aumento na evaporação ou até mesmo redução na precipitação em dias anteriores a fotografia.

Já, para as áreas de solo exposto em 2013 para o município de Penalva tinha uma extensão territorial de 64,5887 km² e após 10 anos aumentou para 31,0671 km² representando uma redução de 51,89%. Para o município de Arari o tamanho da área em 2013 era de 146,1411 km², enquanto em 2023 era de 84,4056 km² representando uma redução de 42,24%. Já, para Bequimão apresentou uma área de 59,4270 km² em 2013 e de 111,5118 km² em 2023 indicando um aumento de 46,71%. Por fim, para o município de Caxias foi detectado que em 2013 tinha uma área de 197,1600 km² e em 2023 foi de 418,5050 km² representando um aumento de +100%.

Tal crescimento da extensão territorial de solo exposto pode ser justificado pelo aumento de áreas que são devastadas pela prática da roça no toco, desmatamento e queimadas

para implantação de pastagens já que, os agricultores ainda usam tratos culturais rudimentares que aceleram a perda de fertilidade do solo resultando assim no abandono de áreas e a abertura de novos campos com a retirada da vegetação nativa para a continuação das práticas agrícolas.

Esse resultado corrobora com Jacobe e Manjate (2024), que observaram um crescimento de 18,91% de solo exposto no distrito de Inharrime em Moçambique entre o período de junho de 2013 a junho de 2023 através do NDVI atribuindo as causas desse aumento em função do desmatamento e queimadas, degradação do solo e a urbanização.

Já a redução detectada no município de Penalva e Arari, pode ser justificado pela crescente ação da iniciativa privada do Núcleo de Desenvolvimento Rural da Fundação Vale fornecendo assistência técnica aos produtores rurais desde 2009 em Arari (Fundação Vale, 2021) e pelas políticas públicas realizada pelo governo do estado como os programas do PAA (Programa de Aquisição de Alminetos), PENAE (Programa Nacional da Alimentação Escolar), Programa Mais Produção e entre outros que visam fortalecer o setor garantindo o transporte e a comercialização dos produtos agrícolas.

Esse apontamento vai de encontro ao que foi mencionado por Amaral et al. (2020) , que perceberam que as políticas públicas aplicadas no setor da agricultura familiar tem fortalecido os produtos oriundos desses agricultores promovendo estímulo para os cultivos agrícolas aliado a uma agricultura mais sustentável.

Além disso, foi perceptível as mudanças nas áreas de vegetação esparsas. O município de Penalva apresentou uma área de 529,9776 km² em 2013 e 3480462 km² em 2023 representando assim uma redução de 34,33%. Já para o município de Arari, foi identificado que em 2013 apresentou uma área de 775,3536 km² e em 2023 apresentou uma área de 470,0952 km² representando uma redução de 36,17%. Em relação ao município de Bequimão, no ano de 2013 foi detectado uma área de 426,7323 km² e no ano de 2023 detectou uma área de 274,4469 km² representado uma redução 35,69%. Por fim, para o município de Caxias em 2013 tinha uma área de 171,7946 km² e no ano de 2023 tinha uma área de 154,7377 km² representado uma redução de 9,93%.

Essas reduções de vegetação esparsa reflete os diversos fatores que influenciam sobre a cobertura da terra, resultante de interferências causadas pelas mudanças climáticas como as alterações nos padrões de precipitação, temperatura, umidade do ar e pela intensificação do agronegócio e práticas agrícolas pouco sustentáveis.

Esse resultado corrobora com Silveira et al. (2022), que observaram entre os anos de 2008 e 2018 uma redução da vegetação na região da Bacia Hidrográfica do Terra Nova que está situada no sertão Pernambucano devido a expansão urbana e as atividades agrícolas.

Ademais, a classe de vegetação densa para o município de Penalva apresentou no ano de 2013 uma área de 129,9222 km², enquanto no ano de 2023 a área foi de 375,9246 km² representando um aumento de +100%. Para o município de Arari foi detectado no ano de 2013 uma área de 107,1162 km² e para o ano de 2023 uma área de 494,8947 km² representando um aumento de +100%. Já para o município de Bequimão foi detectado no ano de 2013 uma área de 216,4626 km² e para o ano de 2023 uma área de 369,9792 km² representando um aumento de 41,69%. Por fim, para o município de Caxias no ano de 2013

apresentou uma área de 309,9502 km² e para o ano de 2023 apresentou uma área de 307,8493 km² representando uma redução de 0,68%.

Esses aumentos de áreas de vegetação densa podem ser explicados pelo aumento do volume de vegetação em áreas que foram abandonadas pelos agricultores permitindo assim, a recuperação da vegetação ao longo dos anos. Por outro lado, as mudanças no regime de chuvas das regiões obrigaram os produtores a se adaptarem as novas janelas de plantio e de colheitas das culturas. Assim, as imagens retiradas pelos satélites podem ter coincidido com o ápice fisiológico das plantas que conseqüentemente registraram altos valores de NDVI devido a alta quantidade de folhas na arquitetura da planta e alta atividade fotossintética com maior captação dos comprimentos de ondas do vermelho visível.

Já a redução identificada no município de Caxias pode ser considerada insignificante com uma mudança menor que 1%. Isso pode ser explicado devido a leves alterações que podem ocorrer em relação a reflectância do solo que se torna mais intenso devido as características da vegetação do Cerrado que tem ocorrência em regiões que se estendam do sul a leste do estado (SNIF, 2020). Contudo, essa vegetação com características arbustiva e rasteira possuem níveis de reflectância do solo mais intenso devido a classificação do pixel serem feitas baseados nas médias das classes do NDVI identificados havendo uma tendência pela classe predominante.

Esse resultado corrobora com Villwock et al (2021), que perceberam um aumento da vegetação entre os anos de 2004 a 2009 após uma constante redução desde 1985 em uma ilha fluvial na Foz do Rio Poruquara no município de Guaraqueçaba localizado no litoral Norte Paranaense.

Tabela 3 - Valores dos índices do solo em km² dos anos de 2013 e 2023.

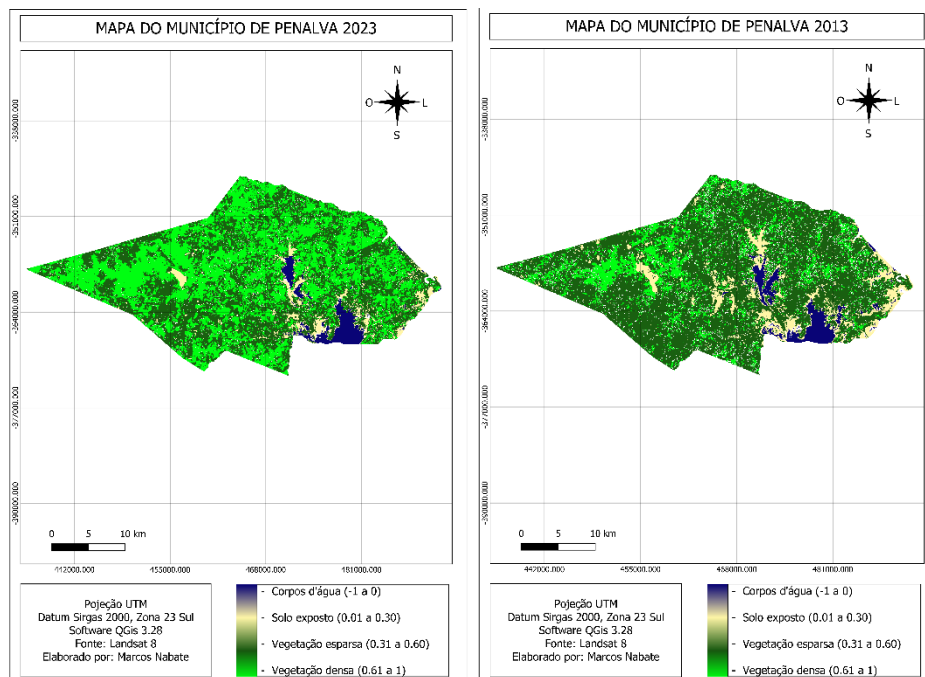
Área em Km ²			
Classes de NDV	2013	2023	Comparação (%)
Penalva			
Corpos d'água	31,03	26,52	-14,54
Solo exposto	64,59	31,07	-51,89
Vegetação esparsa	529,98	348,05	-34,33
Vegetação densa	129,92	375,92	+100
Arari			
Corpos d'água	25,28	17,66	-30,16
Solo exposto	146,14	84,41	-42,24
Vegetação esparsa	775,35	470,1	-36,17
Vegetação densa	107,12	494,89	+100
Bequimão			
Corpos d'água	31,18	17,55	-43,7

Solo exposto	59,43	111,51	46,71
Vegetação esparsa	426,73	274,45	-35,69
Vegetação densa	216,46	369,98	41,69
Caxias			
Corpos d'água	61,36	61,31	-0,08
Solo exposto	197,16	418,51	+100
Vegetação esparsa	171,79	154,74	-9,93
Vegetação densa	309,95	307,85	-0,68

Fonte: Ferreira, M. N. M., 2024.

Assim, podemos observar no mapa do município de Penalva (Figura 2) as mudanças ocorridas entre os anos de 2013 e 2023. Destacando toda extensão territorial do município que apresentou aumento significativo de vegetação densa sejam elas pela preservação de áreas nativas ou por implantação das áreas de pastagens que consequentemente contribuiram para redução de áreas com solos expostos. Além disso, houve um aumento nas áreas de vegetação esparsa em porções da região central e leste do município podendo ser explicado pelo grande uso da horticultura, milho e melancia pelos agricultores itinerantes como forma de renda dentro dos campos de produção agrícola.

Figura 2 – Mapa do NDVI do município de Penalva no ano de 2013 e 2023.

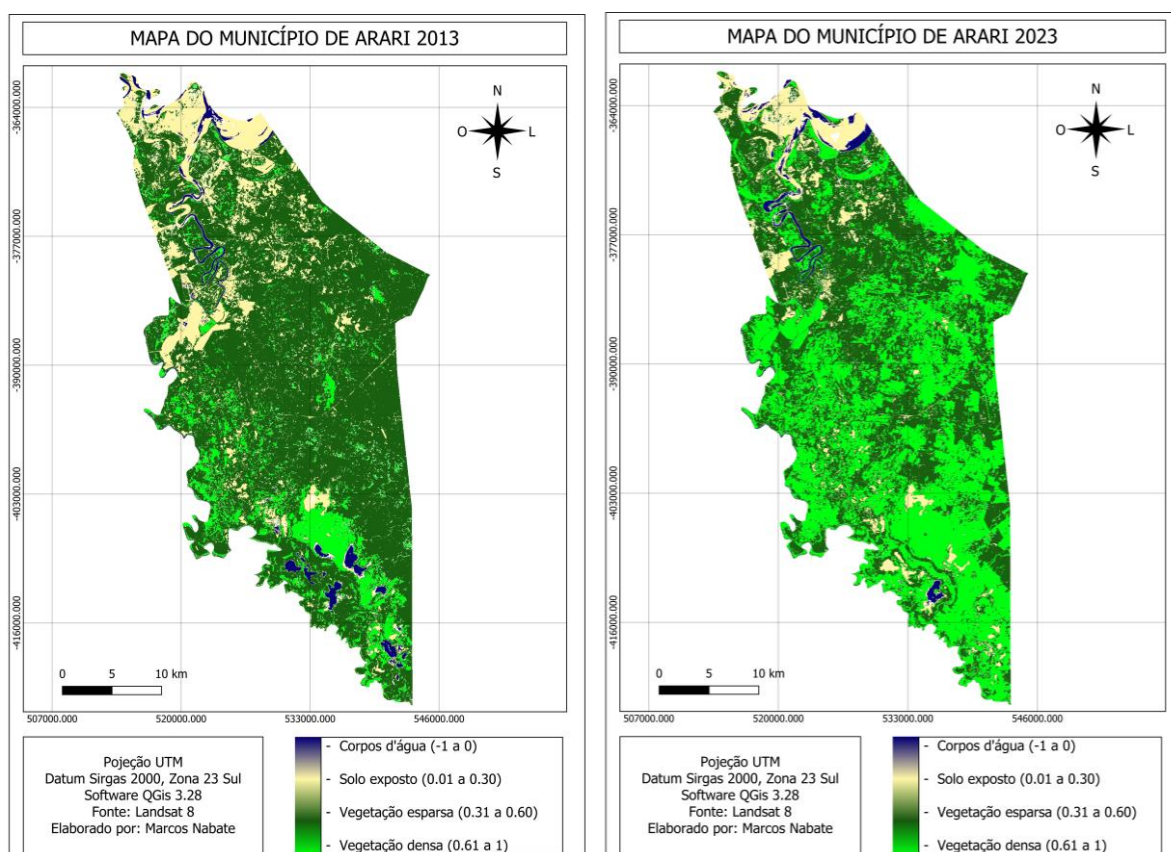


Fonte: Ferreira, M. N. M., 2024.

Apresentando as alterações detectadas no mapa do município de Arari no ano de 2013 em relação ao ano de 2023 (Figura 3) pode-se perceber que um aumento na tonalidade da cor verde claro desde a porção central leste passando pela porção oeste até o sul do município. Esse aumento da vegetação densa foi significativo devido a crescente implantação das culturas como o arroz e o açaí de sequeiro com cultivares adaptada a região sendo estas culturas que possuem grandes capacidades de serem cultivadas em terra firme graças ao melhoramento genético.

Além disso, porções de terras localizadas próximas à fonte de água na parte norte e sul do município tiveram um aumento nos valores de NDVI. Já na parte oeste, pode-se observar uma supressão da área de solo exposto no período em que a imagem de 2013 foi registrada não havendo culturas instaladas no local por se tratar da estação da estiagem enquanto que no ano de 2023, foi detectado cultivos na mesma área também no período de estiagem indicando a adoção das cultivares adaptada a terra firme pelos agricultores.

Figura 3 – Mapa do NDVI do município de Arari nos anos de 2013 e 2023.



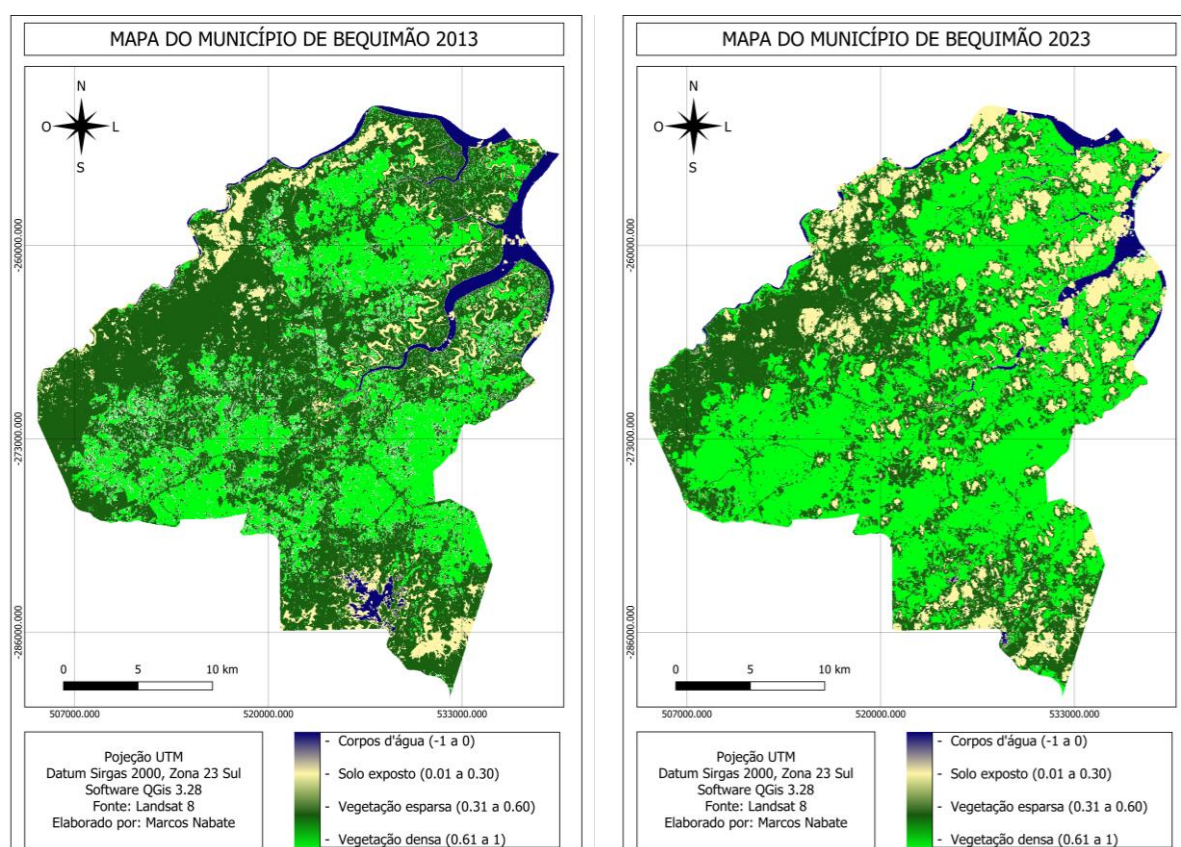
Fonte: Ferreira, M. N. M., 2024.

Para o município de Bequimão, foi possível observar que no ano de 2023 houve um aumento na intensidade da coloração verde claro em relação ao ano de 2013 indicando uma recuperação da vegetação nativa pelo fato da produção agrícola está baseada em hortaliças, milho, mandioca e pastagem. Contudo, essas produções podem ter contribuído para o

aumento da classe de vegetação densa com a expansão da produção devido ao trabalho das associações de agricultores com essas culturas em conjunto com apoio técnico que tem sido direcionados as esses produtores.

Por outro lado, foi possível perceber na região sul do município a perda de áreas que antes eram alagadas e muito utilizadas para o cultivo do arroz Lajeado sendo responsável por atender diversas famílias da comunidade ao entorno do lago. Porém, existe a necessidade de outros estudos mais detalhados para o melhor entendimento dessa área com análises anuais nos últimos 10 anos facilitando assim a visualização da dinâmica ocorrida nessa porção de terra e compreendendo as causas dessas mudanças de classes. Ademais, houve a detecção de nuvens na imagem de 2023 influenciando assim a análise de certas áreas próximas as regiões alagadas no nordeste do município impedindo a visualização das mudanças da vegetação.

Figura 4 – Mapa do NDVI do município de Bequimão dos anos de 2013 e 2023.



Fonte: Ferreira, M. N. M., 2024.

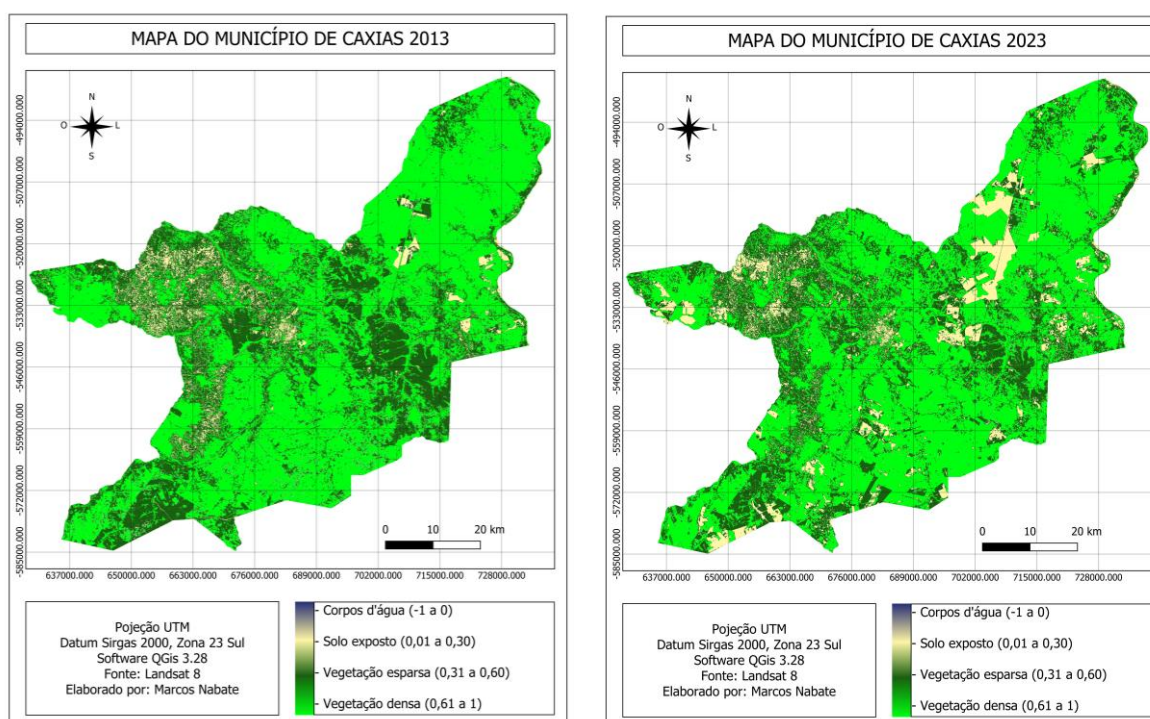
Por fim, pode-se perceber que no ano de 2013 e no ano 2023 sempre houve uma grande predominância da vegetação densa apresentando uma alteração insignificante na coloração verde claro quando a imagem é analisada por completo. Porém, existem mudanças quanto aos lugares que foram detectadas classes de vegetação em 2013 e que em 2023, apresentam características da vegetação mais adensadas, enquanto o contrário também é perceptível. A quantidade de área de vegetação densa identificada pelo software não foi significativa devido a substituição de áreas que antes eram compostas de mata nativa pela

implantação de culturas agrícolas mais trabalhadas no município sendo a soja com um aumento de 11.114 ha (IBGE, 2023) entre 2013 e 2023, enquanto para a cana-de-açúcar houve um aumento de 1.460 ha (IBGE, 2023).

Isso pode ser percebido pelos contornos geométricos localizados na parte sul do município no qual no ano de 2013 não era tão marcante. Isso apoia a ideia da substituição da mata pelos campos agrícolas através das culturas adaptadas ao período de estiagem ou pelas práticas de rotação de cultura e plantio direto para reduzir os efeitos erosivos do solo.

Além disso, foi possível detectar o aumento da vegetação esparsa na porção central e sudoeste do município reduzindo assim a quantidade de áreas de solos expostos.

Figura 5 – Mapa do NDVI do município de Caxias dos anos de 2013 e 2023.



Fonte: Ferreira, M. N. M., 2024. (2024).

CONCLUSÃO

Dessa forma, o NDVI foi capaz de analisar as mudanças que ocorreram na cobertura da terra através da quantificação das classes estudadas apesar de, haver partes dos municípios que precisam ser feitas análises mais detalhadas para se obter a melhor compreensão dessas alterações.

Além disso, o estudo mostrou uma redução nas áreas de corpos d'água de todos os municípios em decorrência de eventos climáticos. Essa redução hídrica revelou não ter influenciado na retomada da vegetação dos quatro municípios sugerindo a possibilidades de outros fatores que contribuíram para o crescimento da cobertura do solo.

Contudo, foi perceptível que a prática da roça no toco que ainda tem grande participação na agricultura maranhense, não tem sido um dos fatores contribuintes para o aumento do desmatamento e da degradação do solo em decorrência do tamanho das áreas que

o agricultor itinerante conseguem trabalhar e ao seu poderio econômico.

No entanto, a capacidade de distinção de áreas com cultivos e áreas de vegetação nativas foi bem relevante para os municípios de Penalva, Arari e Bequimão percebendo-se que houve uma recuperação das áreas de matas nos últimos 10 anos. Já para o município de Caxias os dados apresentados sugeriram interpretações quanto as alterações sofridas nas áreas de vegetação nativas em decorrência da expansão agrícola.

Desse modo, a agricultura praticada nesses municípios tem demonstrado resultados significativos quanto a preservação do meio ambiente e a capacidade de conservação dos solos resultando em uma menor interferência na ecologia local aliada ao retorno econômico.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. S. Et al. O papel das Cadeias Curtas de Comercialização na construção de um modelo de desenvolvimento rural sustentável no semiárido nordestino: o caso da Central de Comercialização da Agricultura Familiar do Rio Grande do Norte (CECAFES). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 55, p. 494-516, 2020. DOI: [10.5380/dma.v55i0.74160](https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.74160)
- AZEVEDO, G. A. Et al. Geoestatística aplicada à agroecologia: autocorrelação espacial entre agricultura familiar e assistência técnica no estado Maranhão. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*. v. 4, n.1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.61164/rnm.v4i1.2284>.
- BEZERRA, A. O; PAZ, D. A. S.; SALLES, J. S. J. Territorialização do capital agroflorestal sobre o uso da terra na Região Tocantina do Maranhão, Brasil. *Revista de Geografia Agrária*, v. 18, n. 49, p. 140-164, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCT184967443>.
- CARVALHO, D. A.; MACEDO, E. S. Programa ALI rural como instrumento de contribuição para desenvolvimento da agricultura familiar em Grajaú, Maranhão, Brasil. *Revista Sustinere*, v. 12, p. 16-25, 2024. DOI: <https://doi.org/10.12957/sustinere.2024.86081>.
- CORRÊA, N. S. Et al. Legislação ambiental do Brasil e do Estado do Maranhão: vislumbrando as queimadas como tematica necessária. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 6, p. 56806-56822, 2021. DOI: [10.34117/bjdv7n6-202](https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-202).
- FUNDAÇÃO VALE. Núcleo de Desenvolvimento Rural. Arari: Fundação Vale, 2021.
- HECK, R. J.; MERMUT, A. R.; SANTOS, M. C. Iron oxides in plinthic soils on sedimentary deposits in Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 651-660, 1999.
- HERMANN, P. B.; NASCIMENTO, V. F.; FREITAS, M. W. D. Sensoriamento Remoto Aplicado à Análise de Fogo em Formações Campestres: Uma Revisão Sistemática. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 74, n. 2, p. 437-458, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n2-63739>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidade e Estados. 2022.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola. 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. El Niño: saiba como foi a atuação do fenômeno no Brasil. Brasília: INMET, 2023.

JACOBÉ, M.; MANJATE, M. J. Análise espaço-temporal das mudanças de cobertura de terra pelo NDVI no Posto Administrativo de Mocumbi, Inhambane, Moçambique. *Revista Delos*, v. 17, n. 61, p. 01-16, 2024. DOI:[10.55905/rdelosv17.n61-120](https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n61-120).

JANSEN, L. N. S.; FILHO, M. S. F.; CAMPOS, M. C. C. Potencial Agrícola e Usos dos Solos na Microrregião de Caxias - Maranhão – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 4, p. 2069-2082, 2023.

LANDIS, J.R.E., KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. DOI: <https://doi.org/10.2307/2529310>.

LIMA, S. C. et al. Response of semi-arid vegetation to agricultural drought determined by indices derived from MODIS satellite1. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, n. 8, p.632-642, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n8p632-642>.

MARINO, N.; AQUINO, M. D. H.; JÚNIOR, E. F. A importância da recuperação de áreas degradadas: uma forma de conservação ambiental. *Interface Tecnológica*, v. 19, n. 1, 2022.

NERES, D. A. S. L.; NERES, R. L. Degradação do meio ambiente Maranhense: Uma investigação com aporte nas leis ambientais. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 11, p. 101793-101812, 2021. DOI:[10.34117/bjdv7n11-006](https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-006).

OJEDA, A. A. Et al. Potencial uso de leguminosas forrageiras em áreas de pastagens degradadas. *Revista Mangsul de Agronomia*, 2022.

OLIVEIRA, A. B. Et al. Da Fronteira Agrícola aos Territórios do Agronegócio Florestal: avanços da silvicultura de eucalipto sobre a agricultura familiar nos municípios de São Francisco do Brejão e João Lisboa, Maranhão, Brasil. *Geografia*, v. 31, n.1, p. 2017-236, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2022v31n1p217>.

SANTORI, A. R. Amostragem de componentes puros (vegetação, solo, água/sombra) em imagens de satélite Sentinel-2 como subsídios à interpretação do NDVI na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cruzes, Selvíria/MS. *Boletim Paulista de Geografia*, v. 1, n. 107, 2022.

SILVA, B. H. R.; SILVA R. N. F. Avaliação de impactos ambientais em áreas de mineração com o uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): estudo de caso Para a região de Paracatu (Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 2, n. 3, 2021.

SILVA, M. H.; ELIAS, A. R.; ROSÁRIO, L. L. Análise da cultura da soja a partir de índices de vegetação (ExG – GLI – TGI – VEG) advindos de imagens RGB obtidas com ARP. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 10, n. 2, p. 140-154, 2022. DOI: [10.3895/rbgeo.v10n2.15042](https://doi.org/10.3895/rbgeo.v10n2.15042).

SILVEIRA, N. T. Et al. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (Pernambuco). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*. v. 3, n. 3, 2022.

VILLWOCK, F. H.; PAROLIN, M.; PARELLADA, C. I. Índice ndvi aplicado ao sambaqui da Foz do rio Poruquara, município de Guaraqueçaba, Paraná, Brasil. *Revista GEOMAE*, v. 12, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33871/21783306.2021.12.2.5847>.

ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão. Relatório técnico de geologia, geomorfologia e hidrologia do zoneamento ecológico econômico do estado do Maranhão. São Luis: SEPE/IMESC/ZEE, 2019.

HISTÓRICO

Submetido: 12 de dezembro de 2024.

Aprovado: 28 de fevereiro de 2025.

Publicado: 12 de março de 2025.

COMO CITAR O ARTIGO - ABNT

FERREIRA, M. N. M.; VALE, E. L. S.; GARÇÊS, T. M. G.; BEHENCK, G. S.; SILVA, R. N.; FERNANDES, F. R. B. Identificação do NDVI dos municípios de Penalva-MA, Arari-MA, Bequimão-MA e Caxias-MA. **FLOVET - Flora, Vegetação e Etnobotânica**, Cuiabá (MT), v. 3, n. 14, e202025005, 2025.