



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA – CCCh
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

MARCOS PEREIRA RODRIGUES

**ÍNDICE DA VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA NA
MICRORREGIÃO
DE CAXIAS, MA: UMA ANÁLISE DO EFEITO DA EXPANSÃO AGRÍCOLA.**

Chapadinha – ma
2025

MARCOS PEREIRA RODRIGUES

**ÍNDICE DA VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NA
MICRORREGIÃO
DE CAXIAS, MA: UMA ANÁLISE DO EFEITO DA EXPANSÃO AGRÍCOLA**

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharelado ao curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA), campus Chapadinha.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho

Chapadinha – ma
2025

Rodrigues, Marcos Pereira.

ÍNDICE DA VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA NA
MICRORREGIÃO DE CAXIAS, MA: UMA ANÁLISE DO EFEITO DA
EXPANSÃO AGRÍCOLA / Marcos Pereira Rodrigues. - 2025.
44 f.

Orientador(a): Marcus Willame Lopes Carvalho.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha-ma, 2025.

1. Expansão Agrícola; Ndzi; Cobertura Vegetal;
Degradação Ambiental; Monitoramento Ambiental. 2.
Cobertura Vegetal. 3. Degradação Ambiental. I. Carvalho,
Marcus Willame Lopes. II. Título.

TCC defendido e aprovado, em 28 de fevereiro de 2025, pela Comissão Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho
Universidade Federal do Maranhão

Prof.^a Dra. NATALIA SOREAS DA SILVA
Universidade Federal do Maranhão

Mestranda. ANDREZA MACIEL DE SOUSA
Universidade Federal do Maranhão

Dedico a toda minha família, a qual gostaria de expressar o meu profundo respeito e gratidão por tudo o que vocês fizeram por mim até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde força, sabedoria e discernimento ao longo dessa jornada academica, e onde consegui realizar um sonho de concluir a graduação.

Aos meus pais Osvaldo Barbosa Rodrigues e Edileusa Pereira Rodrigues pelo amor incondicional, e por toda apoio e incentivo a todos os momentos. Vocês são minha maior inspiração e motivação, sem vocês, eu não teria conseguido superar todos os desafios que encontrei ao longo do caminho. Vocês sempre estiveram lá para me encorajar, me inspirar e me motivar a continuar. Obrigado por serem a minha rocha e por me ajudar a alcançar meus objetivos.

Aos meus irmãos, Michael Pereira Rodrigues, Maikete Pereira Rodrigues e Elton John Pereira Rodrigues por todo incentivo e ajuda.

Ao meu Primo, Enilton Silva Rodrigues, que foi o pilar fundamental durante todo o processo. Foi através do seu apoio que consegui ingressar nessa graduação. Seu apoio foi muito importante para a conclusão deste projeto.

Ao meu orientador Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho, eu gostaria de expressar minha sincera gratidão por todo auxílio, por sua orientação inestimável e apoio contínuo ao longo deste projeto, pois sua paciência e dedicação foram de total importância para a realização desse trabalho de conclusão.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Intervalo, classes atribuídas e notas ao índice de vegetação por diferença	30
Tabela 2. Tabela de Produtividade Agrícola (kg/ha).....	30
Tabela 3. Tabela de Comparação de Uso do Solo (2014 e 2024).....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da Microrregião de Caxias no Maranhão, Brasil, com destaque para as áreas urbanas e vegetação densa.....	28
Figura 2. NDVI das microregiões de Caxias para os anos de 2014 e 2024.....	33

LISTA DE SIGLAS

IVs	Índices de Vegetação
MDE	Modelo Digital de Elevações
NDVI	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada
SIG	Sistema de Informações Geográficas
EVI	Índice de Vegetação Melhorado
ILF	Integração Lavoura-Floresta
MOS	Matéria Orgânica do Solo

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o efeito da expansão agrícola na cidade de Caxias, MA, utilizando o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) como ferramenta principal. O NDVI é um índice amplamente utilizado no sensoriamento remoto para avaliar a cobertura vegetal e a saúde da vegetação, sendo crucial para monitorar as mudanças no uso e ocupação do solo em áreas de intensa atividade agrícola. Uma pesquisa foi realizada por meio da análise de imagens de satélite, capturadas em diferentes períodos, para identificar as variações na vegetação ao longo do tempo. Os resultados demonstram que a expansão agrícola em Caxias gerou alterações significativas na cobertura vegetal, com uma redução dos valores de NDVI em áreas convertidas para a agricultura. Essa redução indica a perda de vegetação nativa e a degradação ambiental associada ao uso intensivo do solo. Os estudos também apontam para a necessidade de políticas públicas que conciliem o desenvolvimento agrícola com a preservação ambiental. A análise do NDVI mostrou-se eficaz na detecção de mudanças no ambiente, evidenciando o impacto das práticas agrícolas na vegetação local. Conclui-se que o monitoramento contínuo por meio de índices de crescimento é essencial para o planejamento e gestão sustentável das atividades.

Palavras-chave: Expansão agrícola; NDVI; Cobertura vegetal; Degradação ambiental; Monitoramento ambiental.

ABSTRACT

This work aims to analyze the effect of agricultural expansion in the city of Caxias, MA, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) as the main tool. NDVI is an index widely used in remote sensing to assess vegetation cover and vegetation health, and is crucial for monitoring changes in land use and occupation in areas of intense agricultural activity. A research was carried out through the analysis of satellite images, captured in different periods, to identify variations in vegetation over time. The results demonstrate that agricultural expansion in Caxias generated significant changes in vegetation cover, with a reduction in values of NDVI in areas converted to agriculture. This reduction indicates the loss of native vegetation and environmental degradation associated with intensive land use. The study also points to the need for public policies that reconcile agricultural development with environmental preservation. The NDVI analysis proved to be effective in detecting changes in the environment, highlighting the impact of agricultural practices on local vegetation. It is concluded that continuous monitoring through growth rates is essential for the sustainable planning and management of activities.

Keywords: Agricultural expansion; NDVI; Vegetation cover; Environmental degradation; Environmental monitoring..

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1. O cerrado brasileiro.....	15
3.2. Expansão da agricultura no cerrado.....	16
3.3. Principais consequências do desmatamento	18
3.4. Monitoramento Ambiental.....	21
3.5. Índices de Vegetação	24
4. METODOLOGIA.....	26
4.1 Caracterização da área de estudo.....	26
4.2 Índices de vegetação.....	27
4.3 Dados de produtividade	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6. CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios para o futuro será a demanda global por alimentos, o que envolve uma complexa solução em termos de aspectos sociais, econômicos, culturais, tecnológicos, ambientais e geopolíticos. Estima-se que em 2050 irão existir 9,8 bilhões de habitantes, com crescente urbanização e com aumento da demanda de produção agrícola em mais de 50% (em relação a 2013) (Fao, 2017).

O Brasil ocupa posição de destaque na produção de alimentos. Entre 1977 e 2023, a produção de grãos passou de 47 milhões de toneladas para 295 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de mais de 500% para um aumento de apenas 70% em área plantada (Conab, 2024). Esse crescimento foi fruto principalmente do aumento da produtividade de culturas agrícolas, como soja, milho, arroz, feijão, e trigo, e da intensificação de uma para duas safras ao ano na mesma área (Oliveira et al., 2020).

Apesar do pouco aumento em área plantada, segundo dados do MapBiomas (2023), nos últimos cinco anos o Brasil perdeu 8.558.237 hectares de vegetação nativa. Grande parte da área desmatada do país (97%) é correspondente à expansão agropecuária. Ainda de acordo com dados do Map Biomas (2023) os dois maiores biomas do Brasil (Amazônia e Cerrado) somam mais de 85% da área total desmatada no país. Mas pela primeira vez o Cerrado ultrapassou a Amazônia em termos de área desmatada. Em 2023, o Cerrado correspondeu a 61% da área desmatada em todo o país e a Amazônia por 25%.

Foram 1.110.326 hectares desmatados no Cerrado, em 2023, um crescimento de 68% em relação a 2022.

Considerada a última fronteira agrícola, a região MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, ultrapassaram a área desmatada nos estados da Amazônia e responderam por quase metade (47%) de toda a perda de vegetação nativa no país em 2023. O Maranhão saiu da quinta posição para a primeira posição, com um aumento de 95,1% e totalizando uma perda de 331.225 hectares de vegetação nativa.

Diante dos impactos gerados pelas atividades agrícolas intensivas, destaca-se a importância do uso apropriado da terra, de forma a atender às características físico-

naturais do ambiente, com o propósito de minimizar os impactos e possibilitar o manejo sustentável do ambiente (Oliveira e Aquino, 2019). Entre as técnicas de monitoramento do uso e ocupação da terra, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a análise de imagens orbitais têm auxiliado nas determinações das medidas de manejo ambiental.

A utilização dos SIGs permite sobrepor diversas informações espaciais, permitindo a correlação e comparação entre as informações como tipo de solo, uso da terra, hidrologia, vegetação, etc., auxiliando na tomada de decisões na definição de diretrizes a respeito do uso da terra. Conforme Oliveira et al. (2012) as técnicas de geoprocessamento têm sido amplamente utilizadas para monitorar as características biofísicas e as ações antrópicas na Terra, de modo que nos últimos anos o zoneamento do uso da terra tem sido realizado visando identificar áreas que necessitam de um manejo adequado, tanto em relação à erosão do solo quanto ao vigor da vegetação, e auxiliando a estabelecer condições de uso sustentável.

Os cálculos dos índices de vegetação, que são medidas radiométricas adimensionais, foram criados para distinguir as informações espectrais da vegetação em relação as demais superfícies da terra (Oliveira et al., 2009) e indicar a quantidade e qualidade da vegetação em uma área imageada (Jensen, 2009). Portanto, orientam o manejo adequado dos recursos florestais e permitem analisar se a exploração dos recursos está de acordo com a capacidade de recuperação dos sistemas agrícolas.

Os índices de vegetação têm sido muito utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação, estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa. Através do parâmetro NDVI é possível identificar as alterações no uso e ocupação da terra num determinado período e dessa forma, contribuir com práticas de educação ambiental para o manejo adequado dos recursos naturais.

Pesquisas com o uso do NDVI vem sendo realizadas para a detecção de mudanças a partir da identificação das diferenças entre dois conjuntos de imagens tomadas da mesma área em diferentes épocas (Elker et al., 2015; Aquino et al. 2016). Segundo estes autores, a partir da utilização da detecção de mudanças, diferentes fenômenos podem ser identificados, como desmatamentos, modificações do uso da terra (substituição de matas nativas por agricultura), queimadas e etc.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a expansão da agricultura na microrregião de Caxias, Maranhão, utilizando o índice de vegetação da diferença normalizada entre os anos de 2013 a 2024.

De forma específica, analisar as variações do NDVI na microrregião de Caxias, MA entre os anos de 2013 a 2024, relacionando com a evolução da agricultura da região; Classificar o NDVI e identificar as classes que obtiveram maior ou menor variação ao longo de 11 anos e mapear a produtividade dos municípios que compõem a microrregião de Caxias-MA e relacioná-los com os mapas de índice de vegetação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar a expansão da agricultura na microrregião de Caxias no Maranhão, utilizando o índice de vegetação da diferença normalizada entre os anos de 2013 a 2024.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar as variações do NDVI na microrregião de Caxias no Maranhão, entre os anos de 2013 a 2024, relacionando com evolução da agricultura da região.
- Classificar o NDVI e identificar as classes que obtiveram maior ou menor variação ao longo de 11 anos.
- Mapear a produtividade dos municípios que compõem a microrregião de Caxias-MA e relacioná-los com os mapas de índice de vegetação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O cerrado brasileiro

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 2 milhões de km², o que corresponde a aproximadamente 24% do território nacional. É conhecida como a "caixa d'água do Brasil" por abrigar nascentes das principais bacias hidrográficas do país, incluindo as bacias do Paraná, São Francisco, e Tocantins-Araguaia (Kling e Moreira, 2014).

O Cerrado abriga uma diversidade significativa de espécies vegetais, estimada em cerca de 12.000 espécies, das quais 4.400 são endêmicas. Além disso, é habitat de diversas espécies ameaçadas de extinção, como o lobo-guará, o tamanduá-bandeira e o tatu-canastra (Ribeiro e Walter 2016)

Os solos do Cerrado são, em sua maioria, ácidos e pobres em nutrientes, mas muito ricos em alumínio, o que demanda técnicas específicas de manejo para a agricultura. Os solos latossolos, que predominam na região, são caracterizados por serem profundos e bem drenados, mas desativam correção com calcário para a produção agrícola. (Oliveira e Costa, 2005)

Além da importância econômica, o Cerrado abriga várias comunidades tradicionais, incluindo quilombolas, indígenas e pequenos agricultores que dependem dos recursos naturais para sua subsistência.

O Cerrado é um dos biomas mais ameaçados do Brasil, com aproximadamente 50% de sua cobertura vegetal original já destruída ou alterada para dar lugar a pastagens e áreas agrícolas. A falta de áreas protegidas suficientes, juntamente com a pressão do agronegócio, coloca em risco a conservação deste bioma, que deve ter 20% pra o Cerrado (Santelli, 2021).

O Cerrado brasileiro é um dos maiores biomas do país, abrangendo cerca de 24% do território nacional. Ele é frequentemente referido como a savana tropical brasileira devido à sua vegetação predominantemente recomposto por gramíneas, arbustos e árvores de pequeno porte, adaptados ao clima sazonal. O Cerrado se estende por diversas regiões do Brasil, incluindo os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins, e partes do Maranhão, Piauí Bahia e

São Paulo (Eiten, 1994). A vegetação do Cerrado é altamente diversificada, com mais de 12.000 espécies de plantas catalogadas (Mendonça et al, 1998)

O clima no Cerrado, segundo Oliveira, PTS e Silva, AC (2019) é caracterizado por uma estação seca pronunciada, que vai de maio a setembro, e uma estação chuvosa, que ocorre de outubro a abril. As temperaturas médias anuais variam entre 22°C e 27°C, com opções anuais entre 800 mm e 2.000 mm. Os solos do Cerrado são predominantemente ácidos e pobres em nutrientes, com alta concentração de alumínio, exigindo técnicas específicas (Sano e Almeida, 2018)

O Cerrado é considerado um dos biomas mais ricos em biodiversidade do mundo. Ele abriga uma vasta gama de espécies, incluindo mamíferos, aves, répteis e anfíbios, muitos dos quais são endêmicos e ameaçados de extinção (Silva e Ribeiro, 2017). Espécies emblemáticas do Cerrado incluem o lobo-guará, o tamanduá-bandeira e o tatu-canastra.

No entanto, o avanço da agricultura no Cerrado tem gerado impactos ambientais significativos, incluindo a perda de habitats naturais e a redução da biodiversidade (Fearnside, 2001). Comunidades tradicionais, como indígenas e quilombolas, também são afetadas, muitas vezes perdendo acesso a terras e recursos dos quais dependem para sua sobrevivência (Barretto e Soares-Filho, 2013)

A ocupação agrícola do Cerrado começou de forma mais intensa a partir da década de 1970, com o programa governamental Prodecir, que visava transformar o Cerrado em uma nova fronteira agrícola. A introdução de técnicas de correção do solo, como a aplicação de calcário, e o desenvolvimento de variedades de plantas adaptadas ao solo ácido e pobre em nutrientes do Cerrado (Pacheco, 2014)

A expansão agrícola no Cerrado foi caracterizada por um aumento exponencial na produção de grãos, especialmente soja, milho e algodão, que hoje são as principais culturas da região. Essa transformação foi acompanhada pelo avanço da pecuária, que se consolida como uma atividade econômica (Silva, 2020)

3.2. Expansão da agricultura no cerrado

A degradação ambiental causada pela intensa exploração agropecuária, especialmente no Cerrado brasileiro, tem acarretado transformações significativas nas características do solo e na biodiversidade desse bioma (Cunha et al., 2008).

Essas mudanças, resultantes de fatores como desmatamento excessivo, compactação do solo, erosão e contaminação da água subterrânea, têm impactos profundos em todo o ecossistema, afetando a capacidade de regeneração das florestas e a reposição de outras espécies vegetais (Ferreira et al., 2007).

Nos últimos anos, os sistemas de integração lavoura-floresta (ILF) têm emergido como alternativas promissoras para a recuperação de áreas degradadas. Esses sistemas combinam espécies arbóreas nativas e exóticas com culturas agrícolas, proporcionando melhorias nas propriedades físico-químicas do solo e estimulando a atividade microbiana (Arato et al., 2002).

A avaliação da qualidade do solo é fundamental para o monitoramento e o manejo sustentável dessas áreas. Indicadores microbiológicos, como a biomassa microbiana, fornecem informações importantes sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) (D'Andrea et al., 2004). A biomassa microbiana, composta por uma variedade de organismos, desempenha um papel crucial na ciclagem de nutrientes e na manutenção da fertilidade do solo (Gama-Rodrigues, 1999).

A biomassa microbiana, por exemplo, é um indicador sensível da atividade biológica do solo, desempenhando papéis cruciais na ciclagem de nutrientes e no comportamento da matéria orgânica (Anderson, 2003; Andrews *et al.*, 2004). Além disso, a diversidade microbiana está diretamente relacionada à estabilidade e à fertilidade do solo (Bardgett *et al.*, 1999). Esses microrganismos desempenham funções essenciais na ciclagem de nutrientes, na perda de matéria orgânica e na funcionalidade de serviços ecossistêmicos que influenciam diretamente na fertilidade do solo e, conseqüentemente, na produtividade das culturas (Bardgett e Van der Putten, 2014).

O carbono é um dos principais elementos associados às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O carbono da biomassa microbiana (CBM) é particularmente relevante como indicador da qualidade do solo, refletindo sua saúde e capacidade de suportar atividades biológicas (Leite et al., 2003; Vieira et al., 2007). No entanto, a avaliação exclusiva do CBM pode não capturar totalmente a atividade microbiana, tornando necessário considerar outros atributos microbiológicos para uma avaliação abrangente (Pôrto, 2013).

Além da biomassa microbiana, a quantificação de CO₂ resultante da respiração

dos microrganismos é amplamente utilizada como indicador da atividade metabólica do solo. O quociente metabólico (qCO_2), que relaciona a respiração basal à biomassa microbiana do solo, é uma métrica valiosa para avaliar o estado metabólico das comunidades microbianas e a eficiência dos processos biogeoquímicos no solo (Alves et al., 2011; Silva et al., (2007).

Sistemas conservacionistas propiciam aumento da MOS ao longo do tempo. Estratégias como a adoção de práticas que consistem no aporte de resíduos vegetais ao solo, associadas a semeadura direta e/ou cultivo mínimo do solo, em adição as outras práticas conservacionistas de manejo, são indispensáveis para a manutenção ou aumento da MOS e para a sustentabilidade de agroecossistemas (Oliveira, 2010).

A necessidade de trabalhos que ilustrem o impacto do manejo das culturas comerciais, sobre os diferentes compartimentos da MOS, e de formas de manejo do solo, visando aumento da sustentabilidade, entendendo como fatores que interferem nas mudanças, seja possível manipulá-los em prol de sistemas produtivos mais sustentáveis (Belmiro et al, 2023).

Partindo do pressuposto de que diferentes sistemas agrícolas podem influenciar de maneira distinta uma variedade de fatores relacionados à qualidade do solo, como sua estrutura, fertilidade e saúde biológica, realizou-se a presente pesquisa com o objetivo de avaliar os compartimentos da matéria orgânica e os atributos biológicos do solo em diferentes sistemas agrícolas sustentáveis no Cerrado (Nogueira et al, 2023).

O Cerrado desempenha um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico do Brasil, pois uma vegetação do Cerrado atua como uma esponja, absorvendo a água da chuva e liberando-a lentamente para os lençóis freáticos, rios e aquíferos. O desmatamento reduz essa capacidade de armazenamento e infiltração de água, o que pode resultar em secas mais frequentes (Lima, 2023)

3.3. Principais consequências do desmatamento

O desmatamento é uma das principais ameaças à biodiversidade no Cerrado, bioma que abriga uma das maiores diversidades biológicas do planeta. O Cerrado é conhecido por sua flora e fauna únicas, com um elevado nível de endemismo, ou seja, muitas espécies vegetais e animais ocorrem exclusivamente nesta região. A remoção

da cobertura vegetal natural para fins agrícolas, pecuárias ou urbanos resulta em uma redução drástica dos habitats naturais, levando à extinção local ou até global de muitas espécies (Silva, 2023)

A perda de biodiversidade é particularmente preocupante no Cerrado porque o bioma funciona como um importante refúgio para espécies durante períodos de mudanças climáticas. Com a fragmentação do habitat, as espécies ficam isoladas em pequenos fragmentos de vegetação, o que limita a troca genética e reduz a resiliência das populações. Espécies carismáticas e ameaçadas, como o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e o tatu-canastra (*Priodontes maximus*), estão entre as mais afetadas. A redução das populações dessas espécies não compromete a biodiversidade, mas também afeta os ecossistemas onde elas desempenham papéis ecológicos orgânicos, como predadores de topo ou dispersores de sementes de plantas endêmicas também é alarmante.

O Cerrado abriga cerca de 12.000 espécies de plantas, das quais aproximadamente 4.400 são exclusivas desse bioma. Com a conversão de terras para a agricultura, essas plantas, muitas das quais possuem potencial medicinal ou econômico ainda não explorado, estão sendo destruídas antes que possam ser estudadas ou utilizadas. Além disso, a perda de vegetação nativa altera a dinâmica dos polinizadores, muitos dos quais carecem de plantas específicas para sua sobrevivência, criando um ciclo vicioso que acelera ainda mais a perda de biodiversidade (Klink e Machado, 2005).

O Cerrado desempenha um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico do Brasil. As suas extensas áreas de vegetação nativa funcionam como uma "esponja", absorvendo as águas das chuvas e permitindo a recarga dos lençóis freáticos e aquíferos, incluindo o Aquífero Guarani, uma das maiores reservas de água doce do mundo. No entanto, o desmatamento (Oliveira, 2006).

A remoção da vegetação nativa para dar lugar à agricultura e à pecuária aumenta o escoamento superficial da água, que, em vez de penetrar no solo, corre rapidamente para os rios, levando consigo sedimentos, nutrientes e poluentes. Esse aumento no escoamento não só eleva o risco de inundações durante a estação chuvosa, mas também contribui para a erosão do solo e a acumulação de corpos

d'água. A perda de solo fértil é uma das consequências mais graves do desmatamento. Além disso, a redução do vegetal interfere na evapotranspiração, o processo pelo qual as plantas liberam vapor d'água na atmosfera (Nobre, 2014)

O desmatamento no Cerrado também contribui um papel significativo na contribuição para as mudanças climáticas globais. Quando uma vegetação nativa é derrubada e queimada, grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2) são liberadas na atmosfera. Este processo de queima é uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, especialmente quando combinado com a conversão do solo para a agricultura intensiva, que pode liberar carbono do solo (Marengo, 2020)

O desmatamento também acarreta impactos socioeconômicos, afetando diretamente a população local e tradicional. Comunidades indígenas, quilombolas e pequenos agricultores, que há séculos contam com os recursos naturais do Cerrado para sua subsistência, enfrentam o desafio crescente de perda de terras e manipulação ambiental. A conversão de terras nativas em áreas de cultivo e pastagem não só desloca esses locais, mas também reduz a disponibilidade de recursos naturais dos quais elas dependem, como frutas nativas, plantas medicinais, madeira e caça (Silva e Rebouças, 2004)

A perda de biodiversidade também tem implicações econômicas. A destruição de habitats pode resultar na perda de serviços ecossistêmicos essenciais, como a polinização, que é crucial para muitas culturas agrícolas. Estima-se que a polinização por insetos nativos, que é afetada diretamente pelo desmatamento, contribui significativamente para a produtividade agrícola. A redução ou perda desses serviços pode levar a uma redução na produção agrícola, aumentando os custos para os agricultores e, eventualmente, para os consumidores (Oliveira, 2006)

Além disso, o desmatamento pode agravar a pobreza e a insegurança alimentando regiões afetadas. Com a manipulação dos recursos naturais, as comunidades locais podem se ver obrigadas a abandonar suas práticas tradicionais de subsistência, muitas vezes sem ter acesso a alternativas viáveis de geração de renda. Isso pode levar à migração para áreas urbanas, onde a falta de oportunidades de emprego e a inadequação dos serviços públicos podem agravar-se (Moret, 2018).

O desmatamento no Cerrado contribui significativamente para a destruição e manipulação do solo. O solo do Cerrado, já naturalmente pobre em nutrientes, torna-se ainda mais vulnerável quando uma vegetação nativa é removida (Nadaletti e Cervinski, 2004). As raízes das plantas do Cerrado desempenham um papel crucial na estabilização do solo, prevenindo a erosão causada pela água e pelo vento. Quando essas plantas são removidas, o solo fica exposto e sujeito à erosão, o que pode levar à perda de uma camada superficial fértil essencial para uma agricultura sustentável.

A erosão do solo também está ligada à redução da qualidade da água, na medida em que os sedimentados para os rios e corpos d'água, causando assoreamento. Este processo não só diminui a capacidade dos rios e reservatórios de armazenamento de água, mas também pode aumentar a turbidez da água, afetando a fauna aquática e prejudicando a qualidade da água potável. A longo prazo, a manipulação do solo pode resultar em desertificação, tornando vastas áreas do Cerrado incapazes de sustentar qualquer forma de vida, tanto para a flora e fauna nativas quanto para a agricultura (Lima, 2019)

3.4. Monitoramento Ambiental

Segundo Oliveira (2017) o monitoramento ambiental é uma ferramenta essencial para a gestão sustentável dos recursos naturais, especialmente em biomas de alta biodiversidade e vulnerabilidade, como o Cerrado. A crescente pressão antrópica, caracterizada pelo desmatamento, expansão agrícola e mudanças climáticas, tem exigido a implementação de estratégias robustas de monitoramento para entender e mitigar os impactos ambientais. O monitoramento ambiental envolve uma coleta sistemática e contínua de dados sobre diferentes componentes do meio ambiente, incluindo ar, água, solo, fauna e flora, para avaliar as condições ambientais ao longo do tempo e auxiliar na tomada de decisões.

No Cerrado, o monitoramento ambiental é crucial devido à sua rica biodiversidade e ao seu papel na regulação do ciclo hidrológico e na manutenção dos serviços ecossistêmicos. Através do monitoramento, é possível identificar mudanças na cobertura vegetal, avaliar a saúde dos ecossistemas, monitorar a qualidade da água e do solo, e detectar precocemente a manipulação ambiental. Esses dados são

fundamentais para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de conservação que visam preservar o bioma e promover o uso sustentável de seus recursos (Veiga, 2018)

Diversos métodos são usados no monitoramento ambiental do Cerrado, que variam desde técnicas tradicionais, como inventários de campo, até tecnologias mais avançadas, como sensoriamento remoto e o uso de drones (Almeida, 2019). A seguir, são discutidos alguns dos principais métodos utilizados.

Inventários de Campo: Este método envolve a coleta direta de dados ambientais através de levantamentos e amostragens no local. No Cerrado, inventários de campo são frequentemente usados para monitorar a biodiversidade, através da catalogação de espécies vegetais e animais. Esses levantamentos são essenciais para avaliar o estado de conservação de diferentes áreas do bioma e para identificar espécies ameaçadas de extinção. No entanto, os inventários de campo são limitados em termos de cobertura espacial e temporal, sendo muitas vezes complementados por outras técnicas de monitoramento (Ribeiro, 2012)

Sensoriamento Remoto: O sensoriamento remoto utiliza dados de satélites ou aeronaves para monitorar grandes áreas de forma contínua e em diferentes escalas espaciais e temporais. No Cerrado, o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado para monitorar mudanças na cobertura vegetal e na dinâmica do uso do solo. Imagens de satélite, como as obtidas pelos satélites Landsat, MODIS e Sentinel, permitem a detecção de desmatamento, queimadas e alterações no uso da terra. Além disso, essas imagens são usadas para calcular índices de vegetação, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que fornecem informações sobre a saúde da vegetação e a produtividade primária (Silva e Ferreira, 2015)

Monitoramento da Qualidade da Água: A qualidade da água nos rios e aquíferos do Cerrado é monitorada através da coleta de amostras e análise de parâmetros físico-químicos, como pH, turbidez, condutividade elétrica e concentrações de nutrientes e metais pesados. O monitoramento da qualidade da água é fundamental para identificar fontes de poluição, avaliar os impactos das atividades agrícolas e pecuárias, e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. Além disso, a biomonitorização, que utiliza organismos aquáticos como

bioindicadores, é uma técnica importante para avaliar a saúde dos ecossistemas aquáticos (Oliveira et al, 2017).

Monitoramento da Qualidade do Solo: A qualidade do solo no Cerrado é monitorada através da análise de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Parâmetros como a matéria orgânica, a textura, a capacidade de retenção de água e a presença de contaminantes são avaliados para determinar o grau de manipulação do solo. A erosão, a compactação e a salinização são alguns dos principais problemas que afetam a qualidade do solo no Cerrado, e o monitoramento contínuo é essencial para a adoção de práticas de manejo que minimizem esses impactos (Santos e Lima, 2016).

Uso de Drones: Drones equipados com sensores e câmeras de alta resolução têm ferramentas poderosas no monitoramento ambiental. Eles permitem a coleta de dados detalhados em áreas de difícil acesso, além de possibilitar o mapeamento preciso de mudanças na cobertura vegetal e na topografia. No Cerrado, drones são usados para monitorar queimadas, desmatamentos e regeneração natural de áreas degradadas. Eles também podem ser fornecidos com sensores multiespectrais para a coleta de dados sobre a saúde da vegetação e a composição do solo (Almeida et al, 2019).

Embora o monitoramento ambiental seja fundamental para a gestão sustentável do Cerrado, existem vários desafios que precisam ser superados. Um dos principais desafios é a falta de recursos financeiros e humanos para implementar programas de monitoramento abrangentes e de longo prazo. O monitoramento contínuo exige investimentos avançados em tecnologia, treinamento e manutenção de infraestruturas, o que nem sempre está disponível (Pedrosa, 2011)

Outro desafio é a integração de dados de diferentes fontes e métodos. O uso combinado de inventários de campo, sensoriamento remoto e outras técnicas de monitoramento requer a padronização dos dados e a criação de plataformas de integração que permitam a análise conjunta de informações. (Costa e Pires, 2018). A falta de interoperabilidade entre os sistemas de monitoramento pode limitar a eficácia das análises e a tomada de decisões.

A questão da escala temporal também é um desafio, uma vez que mudanças ambientais podem ocorrer em diferentes escalas de tempo. Monitorar mudanças

rápidas, como queimadas, requer uma abordagem diferente de monitoramento de processos de longo prazo, como a degradação do solo ou a perda de biodiversidade. A escolha dos métodos e a frequência de monitoramento precisam ser adaptadas às características específicas de cada processo ambiental (Silva, 2005)

O monitoramento ambiental no Cerrado tem várias aplicações importantes para a conservação e o desenvolvimento sustentável. Ele é utilizado para avaliar a eficácia de áreas protegidas, como parques nacionais e reservas particulares, na preservação da biodiversidade e na manutenção dos serviços ecossistêmicos. O monitoramento também é essencial para a gestão dos recursos hídricos, permitindo a identificação de áreas críticas que ocorrem de intervenção para prevenir a escassez de água e a poluição (Novo et al, 2009).

Além disso, o monitoramento ambiental é fundamental para o cumprimento de regulamentações e políticas ambientais, como o Código Florestal Brasileiro e os compromissos internacionais de redução de emissões de gases de efeito estufa. As informações geradas pelos programas de monitoramento são utilizadas para relatar o estado do meio ambiente às autoridades competentes e para orientar a implementação de políticas públicas (Silva et al, 2020).

Outro aspecto relevante é o uso do monitoramento ambiental na pesquisa científica. Dados de monitoramento fornecem uma base sólida para estudos sobre ecologia, climatologia e ciências do solo, entre outras áreas. Pesquisas baseadas em monitoramento ajudam a entender os processos ecológicos e as interações entre os diferentes componentes do meio ambiente, contribuindo para o desenvolvimento de novas tecnologias e práticas de manejo sustentável (Ferreira et al, 2020)

3.5. Índices de Vegetação

Os índices de vegetação são ferramentas essenciais na ecologia e na gestão ambiental, especialmente no monitoramento de grandes biomas como o Cerrado. Eles são cálculos de dados de sensoriamento remoto, geralmente obtidos de satélites, e são usados para quantificar a quantidade, qualidade e vigor da vegetação em uma determinada área. Esses índices permitem a avaliação da cobertura vegetal, da saúde das plantas e das mudanças no planejamento ao longo do tempo, sendo fundamentais

para monitorar o impacto das atividades humanas e das mudanças climáticas sobre os ecossistemas (Bussinguer e Baptista, 2023).

O uso de índices de vegetação é particularmente relevante no Cerrado devido à sua diversidade fisionômica, que varia de campos abertos em florestas densas. A variabilidade da vegetação, associada a fatores climáticos sazonais, como a seca e as queimadas, torna o Cerrado um bioma sonoro, onde o monitoramento contínuo é necessário para avaliar as condições ambientais e a resposta da vegetação às pressões externas (Medeiros Et Al, 2022)

NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada): O NDVI é o índice de vegetação mais amplamente utilizado no mundo e no Cerrado. Ele é calculado a partir da diferença entre as faixas do vermelho visível e do infravermelho próximo, refletidas pela vegetação. O NDVI varia de -1 a 1, onde valores próximos de 1 indicam vegetação densa e saudável, enquanto valores próximos de 0 ou negativos indicam ausência de vegetação ou áreas com solo exposto, água ou superfícies impermeáveis (Rouse et al, 1974)

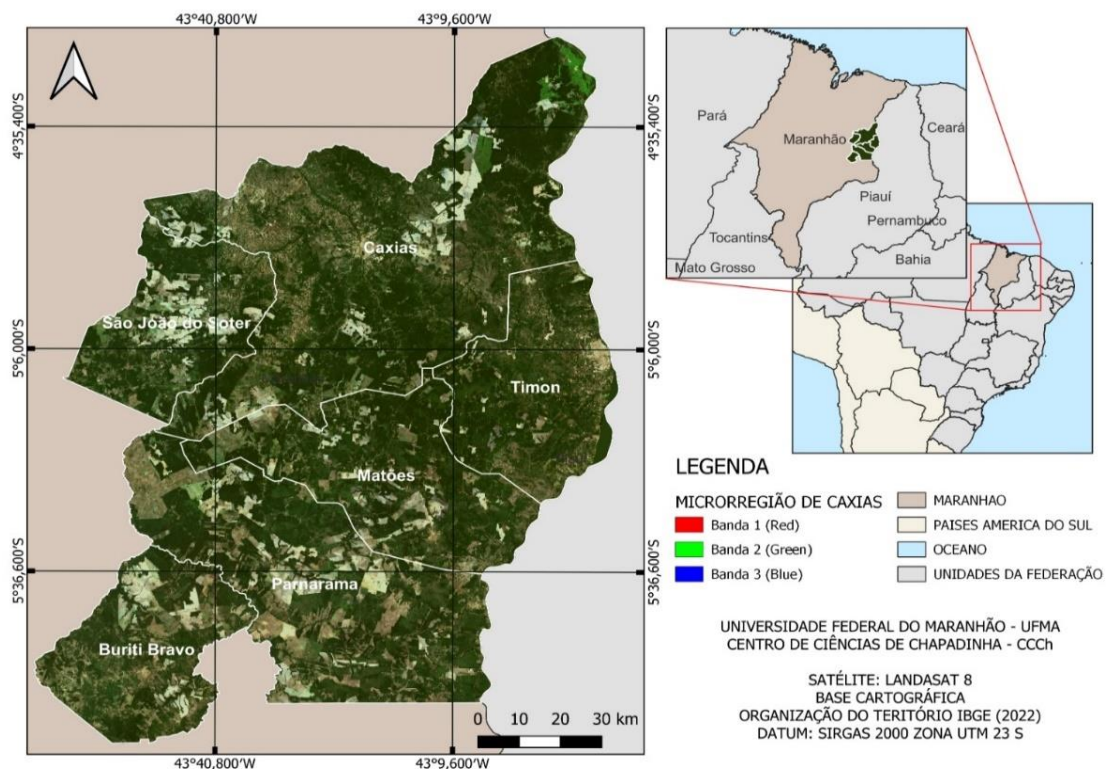
O NDVI é amplamente utilizado no Cerrado para monitorar mudanças sazonais no telhado, detectar áreas de desmatamento, avaliar a recuperação de áreas degradadas e estimar a produtividade líquida primária (NPP) do bioma. Ele também é utilizado em estudos de observação entre a cobertura vegetal e variações climáticas, como acontecimentos e temperatura, ajudando a entender os impactos das mudanças climáticas no Cerrado (Gamarra, 2016).

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A microrregião de Caxias está situada na porção Leste do estado do Maranhão e agrega os municípios de Caxias, Buriti Bravo, Matões, Parnarama, São João do Soter e Timon (IBGE, 2017). Apresenta topografia plana, marcada por extensões, com altitudes que variam de 50 a 150 metros e apresenta características fitofisionômicas de cerrado, matas e áreas de babaçuais, estando inserida nas bacias hidrográficas do rio Itapecuru, rio Munin e rio Parnaíba. O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical (AW') com dois períodos bem definidos: um chuvoso de janeiro a julho e outro seco, compreendendo os meses de agosto a dezembro (Bandeira, 2013).

Figura 1. Mapa de localização da Microrregião de Caxias no Maranhão, Brasil, com destaque para as áreas urbanas e vegetação densa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.2 Índices de vegetação

Para a determinação do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) utilizou-se o produto landsat 8-9 OLI/TIRS C2L2. O produto C2L2 indica que os dados foram processados e corrigidos para geolocalização e que o produto já passou por processos de correção atmosférica, tornando os dados prontos para análise científica e ambiental. A imagens foram adquiridos na plataforma Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Para a cobertura total da área utilizou-se imagens de diferentes datas, tolerando-se cobertura de núvens de 10%. As informações das imagens podem ser observadas na tabela 01.

Tabela 01. Detalhe das imagens de satélite utilizadas para determinação do índice de vegetação

Ano	Satélite	Data	Descrição
2013	Landsat 8/9	03/10/2013	LC08_L2SP_219063
		03/10/2013	LC08_L2SP_219064
		24/09/2013	LC08_L2SP_220063
		24/09/2013	LC08_L2SP_220064
2024	Landsat 8/9	09/11/2024	LC08_L2SP_220063
		09/11/2024	LC08_L2SP_220064
		10/11/2024	LC09_L2SP_219063
		10/11/2024	LC09_L2SP_219064

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Utilizou-se o software QGis na versão 3.38.2 para o geoprocessamento das imagens. Para a determinação do índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI, utilizou-se a equação descrita abaixo (Jensen, 1996 apud Melo; Sales; Oliveira, 2011) com o auxilio da calculadora raster.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

1

Onde:

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada;

NIR = refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo

– bandas 4 e 5 respectivamente (0,76 a 0,90 μm para o Landsat 5 e 0,85 a 0,88 μm para o Landsat 8); R = refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm para o Landsat 5 e 0,64 a 0,67 μm para o Landsat 8).

O resultado da determinação do NDVI foi então reclassificado utilizando a ferramenta reclassificar por tabela utilizando o intervalo de classes (Tabela 02), segundo Oliveira e Aquino (2020).

Tabela 2. Intervalos, classes atribuídas e notas ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Intervalo do NDVI	Classe atribuída	Notas
0,6 a 0,8	Vegetação com alta atividade fotossintética	6
0,4 a 0,6	Vegetação com média atividade fotossintética	5
0,2 a 0,4	Vegetação com baixa atividade fotossintética	4
0,1 a 0,2	Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	3
0 a 0,1	Solo exposto	2
<0,1	Corpo hídrico	1

Fonte: Adaptado de Oliveira e Aquino (2020).

Após a reclassificação as imagens foram então vetorizadas para calcular a área correspondente a cada classe utilizando a ferramenta estatística por categoria.

4.3 Dados de produtividade

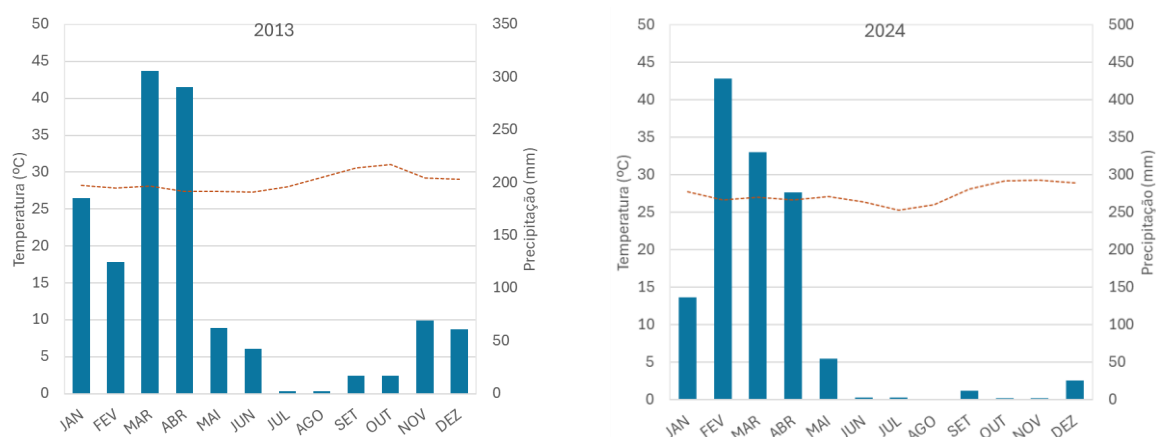
Para análise da expansão agrícola utilizou-se dados históricos de área plantada e produção total de milho e soja disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística por meio da plataforma SIDRA (<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>). A partir dos dados obtidos foram elaborados mapas com a distribuição espacial da área plantada e produção total para os municípios referentes à microrregião de Caxias – MA. Para isso utilizou-se a malha municipal que retrata a situação vigente da Divisão Político Administrativa (DPA), através da representação vetorial das linhas definidoras das divisas estaduais e limites municipais, utilizada na coleta dos Censos Demográficos e demais pesquisas do IBGE (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/-organizacao-do-territorio/malhasterritoriais.html>).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação mensal e a variação da temperatura média mensal para o município de Caxias-MA pode ser observada na figura 02. No ano de 2013 a precipitação total anual foi de 1182,3 mm, enquanto no ano de 2024 foi de 1275,60 mm, uma diferença de 93,3 mm. De acordo com Farias et al., (2007), para a obtenção de rendimentos satisfatórios, a soja necessita entre 450 a 800 mm de água durante seu ciclo, em função das condições edafoclimáticas, do manejo da cultura e do ciclo da cultivar. Já a cultura do milho de ciclo médio cultivado para a produção de grãos secos consome de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas (ANDRADE et al, 2006). Ambos os anos apresentarem lâminas de água satisfatória para os cultivos, porém as precipitações precisam ser bem distribuídas ao longo do ciclo da cultura para que a produção ocorra de forma satisfatória.

Apesar do maior volume de chuva no ano de 2024 as chuvas ficaram mais concentradas nos primeiros 4 meses do ano sendo o mês de fevereiro o mais chuvoso com uma lâmina de 428,8 mm, já no ano de 2013 as chuvas foram mais distribuídas ao longo do ano sendo o mês de março o mais chuvoso com uma lâmina de 305,8 mm.

Figura 02. Precipitação mensal e temperatura média mensal dos anos de 2013 e 2024 para o município de Caxias-MA.



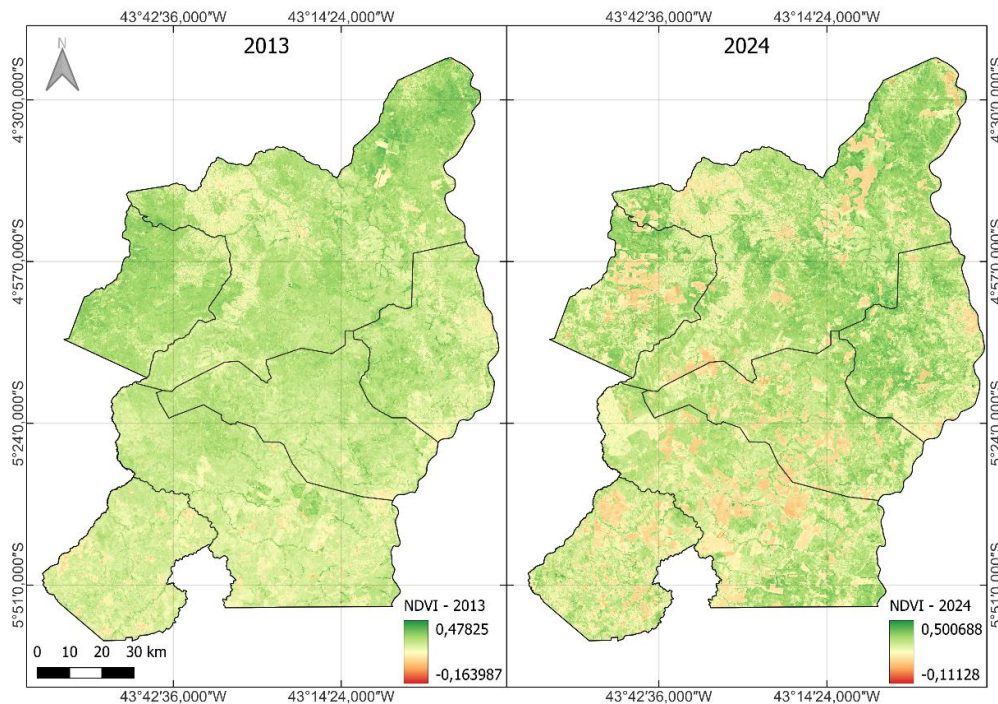
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Quanto a temperatura, houve pouca variação para os dois anos sendo que o

ano de 2013 apresentou uma maior média anual de 28,6 °C, com o mês de setembro sendo o mais quente com 30,6°C. O ano de 2023 apresentou média anual de 27,4 °C sendo o mês de novembro o mais quente com 29,3 °C.

Na Figura 03 observa-se a diferença dos índices de vegetação (NDVI) entre os anos de 2013 e 2024 para a microrregião de Caxias, MA. Nos últimos anos vem se observado a expansão das atividades agrícolas na região, sendo possível identificar claramente um aumento das área com baixos índices de vegetação no ano de 2024. Porém observa-se áreas com índices mais elevados sugerindo um maior adensamento ou recuperação da vegetação. Assim como no ano de 2013 observa-se amplitude com menores valores sugerindo maior presença de áreas sem vegetação como corpos hídricos. As diferenças entre os índices de vegetação podem ser relacionadas a vários fatores como a precipitação, efeitos atmosféricos, iluminação, sombreamento interno do dossel e o dia selecionado para composição da imagem (Rosa et al., 2013).

Figura 03. Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) da microrregião de Caxias – MA, para os anos de 2013 e 2024.

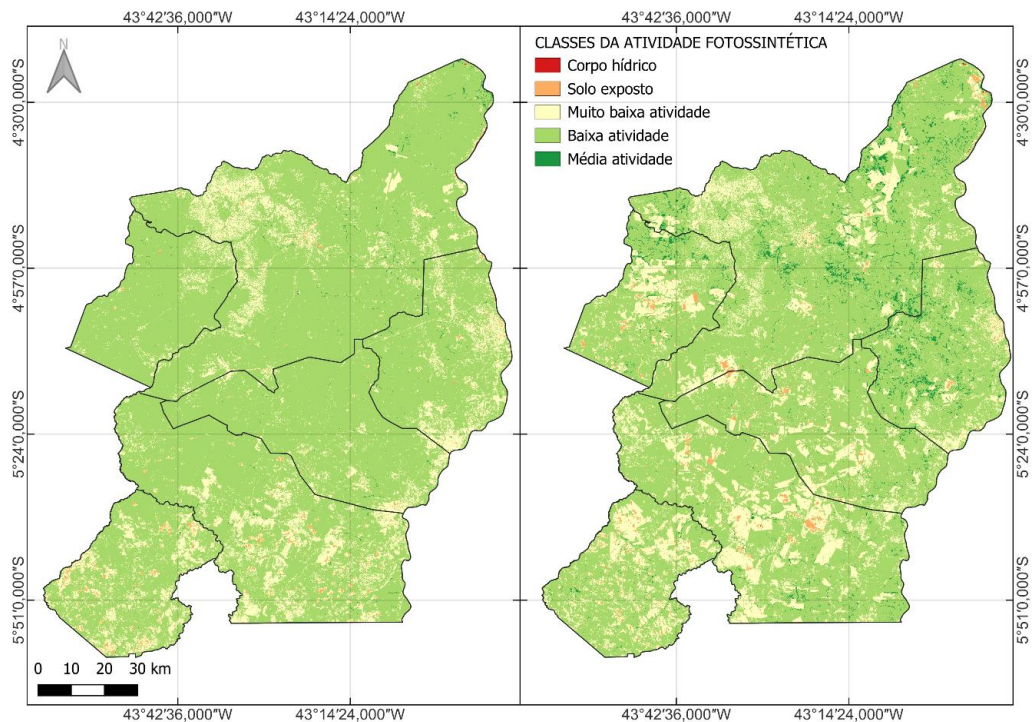


Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A partir da reclassificação do índice de vegetação é possível realizar uma análise mais acurada dos valores encontrados e determinar a área de cobertura de cada classe. A figura 04 e Tabela 03 mostra a comparação da classificação do índice

de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para a microrregião de Caxias-MA entre os anos 2013 e 2024. Observa-se uma redução na área referente aos corpos hídricos de 467,80 ha ou seja 20% entre os anos. A redução de corpos hídricos pode estar relacionada ao assoreamento provocado pelas atividades antrópicas, como observado por Silva, Oliveira Filho e Martins (2013) realizando uma análise multitemporal em dez anos (2001 a 2011) do uso e cobertura do manancial Alagados, que abastece a cidade de Ponta Grossa, Paraná.

Figura 04. Classificação do NDVI segundo a atividade fotossintética para a microrregião de Caxias – MA, para os anos de 2013 e 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

TABELA 03. Área e percentual das classes segundo o índice de vegetação para a microrregião de Caxias-MA notas ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Categoria	Classes	2013		2024	
		Área	(%)	Área	(%)
1	Corpos hídricos	2749,944	0,18	2282,147	0,15
2	Solo exposto	12842,772	0,84	24206,422	1,58
3	Muita baixa atividade	236094,711	15,39	320497,166	20,89
4	Baixa atividade	1277755,656	83,30	1144142,796	74,59
5	Média atividade	4513,13	0,29	42828,287	2,79
6	Alta atividade	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A influência das atividades antrópicas é evidenciada pelo aumento das áreas de solo exposto e das áreas com muito baixa atividade fotossintética referentes as áreas agrícolas que tiveram um aumento expressivo entre os anos. Para a classe correspondente a solo exposto observou-se aumento de 88,48% (11.363,65 ha) e para a classe muito baixa atividade fotossintética observa-se aumento de 35,75% (84.402,45 ha). Segundo Quesada et al., (2017), mudanças intensas no uso e cobertura da terra podem gerar impactos como a supressão excessiva da vegetação; erosão hídrica e eólica devido à retirada da camada de vegetação; diminuição da vazão dos rios e perda de habitats, entre outras. Estes fatos são comprovados pela redução das áreas correspondentes a corpos hídricos citado anteriormente

Como reflexo do aumento das classes solo exposto e muito baixa atividade fotossintética as áreas correspondes à classe baixa atividade fotossintética teve uma redução de 11,68% o que corresponde a uma área de 133.612,86 hectares. As áreas referentes à baixa atividade fotossintética representam a mata nativa da região que corresponde ao bioma Cerrado. De acordo com Carvalho e Marques-Alves (2008) o cerrado apresenta características estruturais como vegetação esparsa, mais aberta e com maior incidência de luz, estas características podem ter influenciado na classificação destas áreas como baixa atividade fotossintética. Possivelmente, em decorrência deste fato, não foi identificada a classe alta atividade fotossintética.

Foi possível observar um aumento significativo das áreas correspondentes a classe média atividade fotossintética de 848,97% (38.315,16 ha) sugerindo um maior adensamento da vegetação. Como citado anteriormente as diferenças entre os índices de vegetação podem ser relacionadas a vários fatores como por exemplo a precipitação (Rosa et al., 2013). No ano de 2023 houve um maior volume precipitado de 1275,6 mm, 93,3 mm a mais em relação ao ano de 2013 (1182,3 mm).

Analisando os municípios separadamente (Tabelas 04 e 05), Caxias apresentou a maior redução de área de Cerrado (40284,21 hectares), cerca de 7,74% do município. No entanto o município de São João do Soter apresentou maior área correspondente as classes solo exposto e baixa atividade fotossintética somadas (26136,64 hectares), cerca de 18% da área do município.

O município de Timon foi o único município que apresentou redução das áreas correspondentes à classe muito baixa atividade fotossintética e maior percentual de

aumento das áreas correspondentes à classe média atividade fotossintética.

TABELA 04. Área das classes segundo o índice de vegetação para os municípios de Buriti Bravo, Caxias e Matões, pertencentes à microrregião de Caxias-MA segundo o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para os anos de 2013 e 2024.

Categoria	Classes	Buriti Bravo		Caxias		Matões	
		2013	2024	2013	2024	2013	2024
1	Corpos hídricos	1,78	4,41	1113,08	943,16	239,35	161,09
2	Solo exposto	3845,71	3791,26	2143,18	5832,59	707,68	3833,97
3	Muita baixa atividade	37997,23	46029,17	69094,88	86922,31	19405,68	41683,42
4	Baixa atividade	116160,86	106856,37	445187,80	404903,59	190198,47	162834,52
5	Média atividade	159,64	1484,00	2531,94	21469,23	302,50	2340,68
6	Alta atividade	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

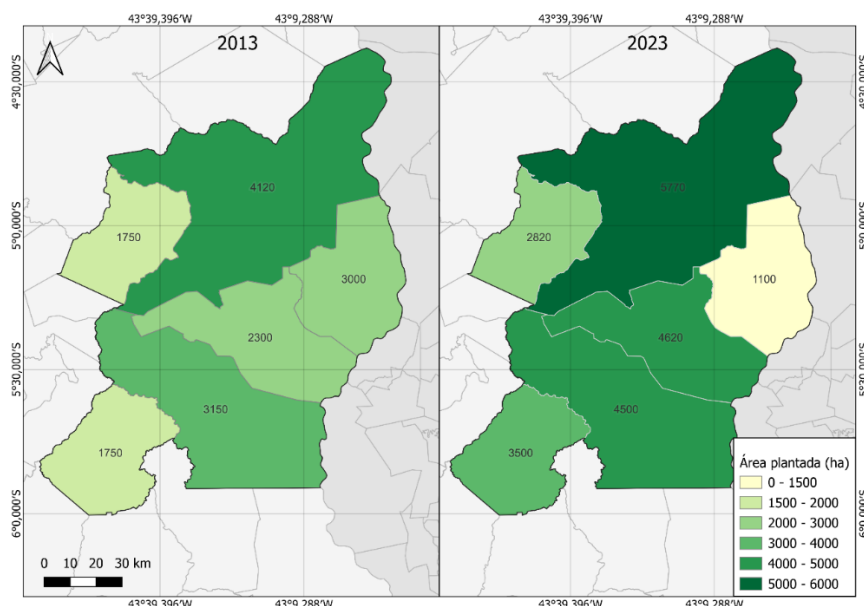
TABELA 05. Área das classes segundo o índice de vegetação para os municípios de Parnarama, São João do Soter e Timon, pertencentes à microrregião de Caxias-MA segundo o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para os anos de 2013 e 2024.

Categoria	Classes	Parnarama		São João do Soter		Timon	
		2013	2024	2013	2024	2013	2024
1	Corpos hídricos	376,23	241,02	4,36	12,40	932,68	848,00
2	Solo exposto	4409,52	5931,96	320,42	3209,23	1405,58	1588,56
3	Muita baixa atividade	66705,86	86540,15	9478,42	32726,25	33369,20	26554,70
4	Baixa atividade	252320,72	228131,93	133646,87	103369,74	140034,27	137851,25
5	Média atividade	664,30	3631,58	315,06	4447,52	529,82	9429,05
6	Alta atividade	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Realizando um paralelo entre os dados de NDVI observados, a produção total e a área plantada com milho e soja é possível observar que o município de Caxias apresentou a maior evolução dentre os municípios da microrregião, o que colabora com a redução de área de cerrado pela redução expressiva da classe baixa atividade fotossintética. Com relação a área plantada com milho nos últimos 10 anos houve uma evolução de 1650 hectares de área plantada com milho, cerca de 40%. Timon foi o único município que apresentou redução na área plantada com milho nos últimos anos, concordando com os dados de NDVI observados, onde houve recuperação da vegetação (Figura 05).

FIGURA 05. Área plantada com milho nos municípios da microrregião de Caxias – MA, para os anos de 2013 e 2023.



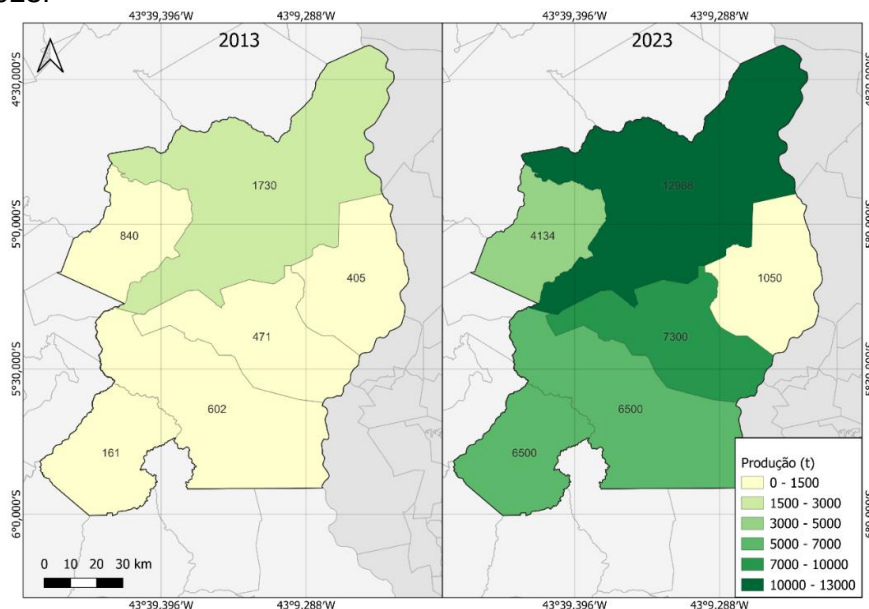
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tratando-se de produção total de milho observa-se uma evolução expressiva em todos os municípios, com destaque para o município de Caxias, que apresentou aumento de 11.258 toneladas, cerca de 650%, seguido de Matões, Parnarama, Buriti Bravo e São João do Soter (Figura 06). Timon foi o município que teve uma menor evolução mantendo a produção abaixo de 1500 toneladas.

De acordo com Silva e Cavichioli (2020), o Brasil está investindo fortemente em recursos para pesquisa e avanço tecnológico, com o objetivo de aumentar a produção de alimentos, especialmente das commodities. Nesse contexto, o país tem alcançado grandes benefícios graças ao uso das tecnologias no setor agrícola. Além

disso, a evolução da agricultura está intimamente relacionada à transferência de tecnologia. Na era moderna, o desempenho produtivo é constantemente analisado em busca de maior produtividade, aliada à viabilidade econômica, geração de riqueza e sustentabilidade (Dias; Ventura; BUENO, 2023).

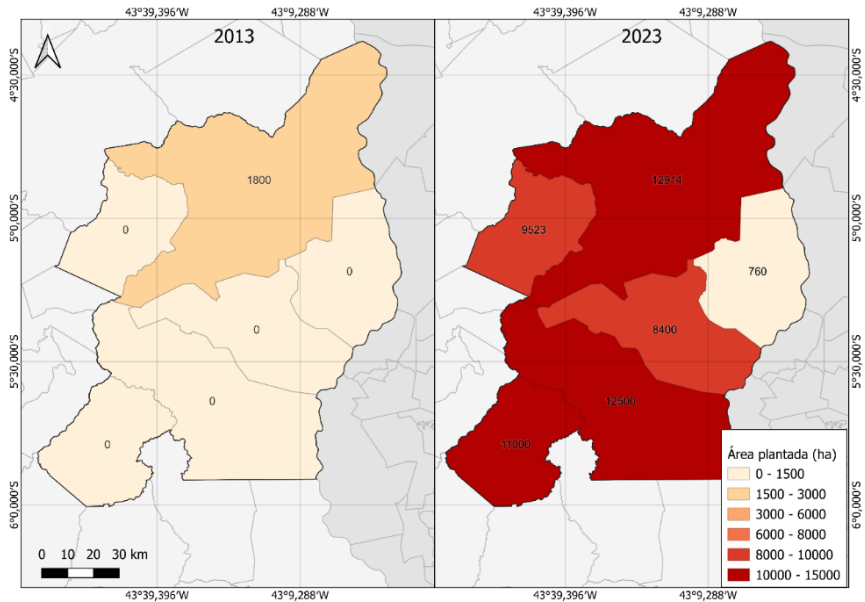
FIGURA 06. Produção de milho dos municípios da microrregião de Caxias – MA, para os anos de 2013 e 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Até o ano de 2013 os municípios de Timon, Matões, Parnarama, Buriti Bravo e São João do Soter não apresentavam registro de área plantada com soja (Figura 07). Caxias apresentava uma área plantada de 1800 hectares. Os últimos anos foram marcados pela intensa evolução das áreas plantadas com soja e consequentemente da produção. Assim como na cultura do milho, o município de Caxias foi o que apresentou maior área plantada com soja de 12.914 hectares, um aumento de cerca de 617%. Caxias é seguido de Parnarama e Buriti Bravo com área plantada acima de 10.000 hectares e Matões e São João do Soter áreas plantadas pouco abaixo dos 10.000 hectares. Timon foi o único município que pouco evoluiu ficando abaixo dos 800 hectares plantados com soja.

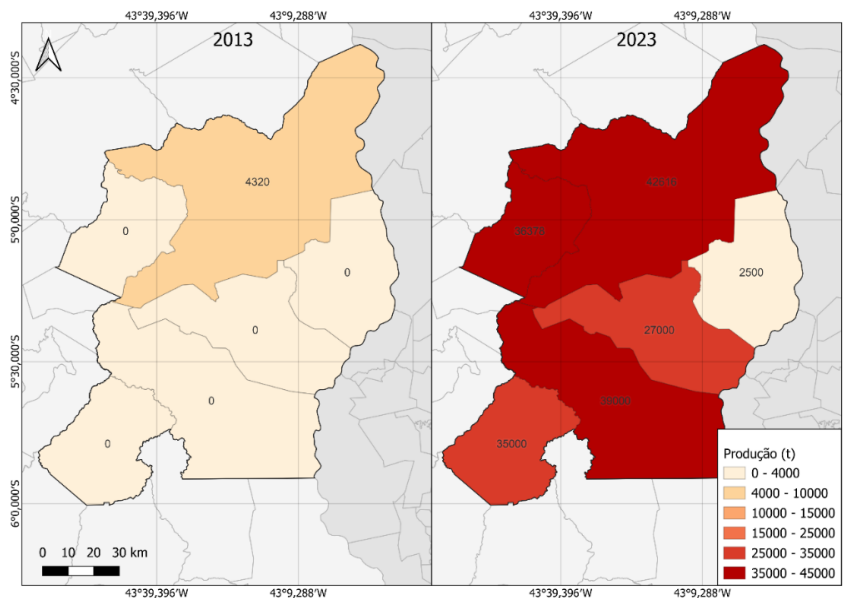
FIGURA 07. Área plantada com soja nos municípios da microrregião de Caxias – MA, para os anos de 2013 e 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Quanto a produção total de soja os municípios apresentam a mesma tendencia da área plantada sendo que Caxias foi o maior produtor da região, apresentando um aumento expressivo de 38.293 toneladas, seguido de Parnarama e São João do Soter, que apresentaram produção total acima de 35.000 toneladas. Matões e Buriti apresentaram produção de 27.000 e 35.000 toneladas respectivamente (Figura 08).

FIGURA 08. Produção de soja dos municípios da microrregião de Caxias – MA, para os anos de 2013 e 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Assim como na produção do milho Timon foi o que apresentou menor evolução com produção abaixo de 3000 toneladas de soja.

Ferreira (2023), avaliando as mudanças de usos da terra na Microrregião de Caxias –MA, observou crescimento da atividade agropecuária e consequente redução das áreas de cerrado como florestas nativas para todos os municípios, ao longo de 35 anos. A monocultura intensiva de grãos e a pecuária extensiva de baixa tecnologia, associada ao uso de técnicas de aproveitamento intensivo dos solos, podem provocar esgotamento dos recursos locais. Estudos de Mascarenhas e Farias (2018) explicam que a intensificação do processo de ocupação do Cerrado é um dos principais fatores responsáveis pelo fortalecimento de diversos impactos, como exemplo da fragmentação de suas paisagens, responsável por comprometer a disponibilidade e a qualidade de seus recursos naturais.

6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo analisar os efeitos da expansão agrícola na microrregião de Caxias, MA, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) como principal ferramenta de monitoramento ambiental. O estudo partiu da premissa de que a intensificação das atividades agrícolas na região impacta diretamente a cobertura vegetal, podendo resultar na degradação ambiental e na redução da biodiversidade local. Os resultados obtidos ao longo da análise confirmaram essa hipótese, demonstrando que, entre os anos de 2013 e 2024, houve uma transformação significativa no uso e ocupação do solo, com ampliação das áreas agrícolas e, conseqüentemente, a diminuição da vegetação nativa.

A partir da análise das imagens de satélite processadas, verificou-se um aumento expressivo das áreas classificadas como solo exposto e com muito baixa atividade fotossintética. Esse fenômeno está diretamente associado à conversão de áreas naturais para a agricultura, especialmente para o cultivo de milho e soja, que se expandiram de forma acentuada na última década. Por outro lado, identificou-se uma redução nas áreas classificadas como de baixa atividade fotossintética, indicando que a vegetação nativa do Cerrado tem sido gradualmente substituída por campos agrícolas. O município de Caxias se destacou como o mais impactado por essa mudança, apresentando a maior redução da cobertura vegetal natural. Já o município de Timon foi o único que apresentou um pequeno aumento na vegetação com média atividade fotossintética, sugerindo uma possível recuperação da vegetação em determinadas áreas.

A expansão agrícola na microrregião analisada também teve reflexos diretos sobre os corpos hídricos. Os dados demonstram uma redução de aproximadamente 20% na extensão das áreas classificadas como corpos d'água entre 2013 e 2024, o que pode ser resultado do assoreamento e da degradação dos mananciais, processos frequentemente associados à intensificação do uso agrícola. A remoção da vegetação nativa expõe o solo à erosão, permitindo o carreamento de sedimentos para os rios e lagos da região, comprometendo a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos. Essa constatação reforça a necessidade de adoção de práticas de manejo

conservacionista que minimizem os impactos negativos da agricultura sobre os ecossistemas hídricos locais.

Os resultados obtidos indicam que, embora a expansão agrícola tenha contribuído para o crescimento da produtividade agrícola regional, esse avanço tem ocorrido em detrimento da vegetação nativa e da estabilidade ambiental. O aumento expressivo da área plantada e da produção de soja e milho demonstra o papel central da agricultura na economia local, mas evidencia a necessidade de uma abordagem mais sustentável para garantir a viabilidade dessas atividades a longo prazo. Modelos de produção agrícola baseados na integração lavoura-floresta, no uso racional do solo e na manutenção de áreas de preservação permanente podem representar alternativas viáveis para conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

Com relação aos objetivos do estudo, pode-se afirmar que todos foram devidamente alcançados. Foi possível não apenas quantificar e mapear as mudanças ocorridas na vegetação ao longo dos anos analisados, mas também correlacioná-las com o avanço da produção agrícola e suas implicações ambientais. A análise detalhada dos índices de vegetação permitiu identificar padrões espaciais de degradação e áreas com maior susceptibilidade à conversão agrícola, fornecendo informações essenciais para o planejamento e a gestão do uso da terra na microrregião de Caxias.

Entretanto, algumas limitações foram identificadas ao longo da pesquisa. A dependência de dados de sensoriamento remoto impõe restrições quanto à precisão das análises, uma vez que fatores atmosféricos podem interferir na qualidade das imagens obtidas. Além disso, a pesquisa não incluiu informações detalhadas sobre as práticas de manejo adotadas pelos produtores locais, o que poderia fornecer uma visão mais abrangente sobre os impactos da expansão agrícola. A ausência de dados sobre fertilização do solo, uso de defensivos agrícolas e técnicas de conservação também limita a compreensão dos processos que influenciam a dinâmica da vegetação na região.

Diante desses desafios, recomenda-se a realização de estudos futuros que aprofundem a análise sobre as relações entre a expansão agrícola e a degradação ambiental, com ênfase na identificação de práticas sustentáveis que possam ser

implementadas para mitigar os impactos negativos observados. A inclusão de dados sobre a qualidade do solo, a disponibilidade hídrica e a biodiversidade local pode contribuir para um diagnóstico mais completo dos efeitos da atividade agrícola sobre o ecossistema. Além disso, investigações que avaliem a eficácia de políticas públicas voltadas para o uso sustentável do solo e a preservação do Cerrado podem fornecer subsídios valiosos para a formulação de estratégias de manejo ambiental mais eficazes.

Com base nos achados desta pesquisa, ressalta-se a importância do monitoramento contínuo do NDVI e de outros indicadores ambientais como ferramenta essencial para a gestão sustentável da paisagem agrícola. A implementação de políticas de incentivo à adoção de práticas agrícolas menos impactantes e a conscientização dos produtores sobre a necessidade de conservação dos recursos naturais são medidas fundamentais para garantir que a expansão agrícola ocorra de maneira equilibrada, sem comprometer a integridade dos ecossistemas da região. A preservação da vegetação nativa não apenas contribui para a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais, como também assegura a sustentabilidade da produção agrícola a longo prazo, evitando a exaustão dos recursos naturais e os impactos socioeconômicos decorrentes da degradação ambiental.

Por fim, a pesquisa demonstrou que o avanço da agricultura na microrregião de Caxias, MA, é um processo irreversível e em crescimento contínuo, mas que exige uma abordagem mais cautelosa e planejada para evitar impactos ambientais severos. A substituição acelerada da vegetação nativa por monoculturas pode trazer benefícios econômicos a curto prazo, mas, sem um planejamento adequado, pode comprometer a resiliência ambiental da região e a capacidade de suporte dos seus recursos naturais. Assim, é imprescindível que haja um equilíbrio entre o crescimento da produção agrícola e a conservação ambiental, garantindo que as futuras gerações possam usufruir dos mesmos recursos naturais que hoje sustentam a economia da região.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. R. X., & ALVES, J. M. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). *Production*, v. 25, p. 13-26, 2014.
- ANDRADE, C. L. T.; ALBURQUEQUE, P. E. P.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2006.
- CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C. Suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica lagos–São João, no Estado do Rio de Janeiro–Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 04, p. 1415-1430, 2019.
- CARVALHO, Adriana Rosa; MARQUES-ALVES, Stéphanie. Diversidade e índice sucessional de uma vegetação de cerrado sensu stricto na Universidade Estadual de Goiás-UEG, campus de Anápolis. *Revista Árvore*, v. 32, p. 81-90, 2008.
- Cercomp. “CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação”.
- COHEN, M.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. **Geoderma**, v.124, p.235-252, 2005.
- DIAS, Fernando Xavier; VENTURA, Rafael; BUENO, Miriam Pinheiro. Transferência de tecnologia na agricultura 4.0. 2023.
- DYONISIO, H. A. F. Erosão hídrica: suscetibilidade do solo. **Revista Eletrônica Thesis**, v. 6, n. 13, p. 15-25, 2010.
- FARIAS, J. R. b.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Circular técnica 48, EMBRAPA Soja, setembro/2007.
- FERREIRA, Vitoria Gleyce Sousa. MUDANÇAS DE USOS DA TERRA NOS ANOS DE 1985, 2010 E 2020 NA MICRORREGIÃO DE CAXIAS-MA. **Revista Contexto Geográfico**, v. 9, n. 18, p. 156–172-156–172, 2024.
- FILHO, G. S. Modelo de classificação de processos erosivos lineares ao longo de ferrovias através de algoritmo de árvore de decisão e geotecnologias. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 72-86, 2017.
- IORESE, C. H. U., CARVALHO, J. A., BATISTA, A. M. S., BATISTA, J. G.,
Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico - GEPLAN. **Atlas do Maranhão**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 39 p. 2002.
- Klink, CA, & Machado, RB (2005). A conservação do Cerrado brasileiro.

LACERDA, H. C., DE FARIA, A. L. L., FONSECA, H. P., DA SILVA, M. A. S., SOARES, W. O., TORRES, F. T. P., & DA COSTA, L. M. Estudo da

MARANHÃO- GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO.

MASCARENHAS, H.; FARIA, K. Dinâmica da paisagem e relações com o uso do solo e fragmentação da cobertura vegetal no município de Flores de Goiás (GO) entre 1985 e 2017. *Élisée -Revista de Geografia da UEG*, v.7, n.2, p.115-135, 2018.

NICOLETE, D. A. P.; ZIMBACK, C. R. L. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia–Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 3, 2013.

OLIVEIRA, F. V.; JESUS, A. S. **Suscetibilidade erosiva na bacia do Córrego Lava-Pés em Silvânia–GO**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 1010-1015, 2017.

OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, K. A. de P.; SANTOS, K. J. G. dos; MOREIRA, F. P.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Índice da Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na Sub-Bacia Hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí - Brasil: análise do efeito da expansão agrícola. **Revista Geoaraguaia**, v. 10, n. 2, p. 126-143, 2020.

OLIVEIRA, Livanía Norberta; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia. Índice da Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí-Brasil: análise do efeito da expansão agrícola. **Revista Geoaraguaia**, v. 10, n. 2, p. 126-143, 2020. PINESE JÚNIOR, J. F., CRUZ, L. M., & RODRIGUES, S. C. **Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra**, Uberlândia-MG. Sociedade & natureza, v. 20, p. 157-175, 2008.

Pires, MO "Programas agrícolas na ocupação do cerrado". **Revistas.ufg.br**.

QUESADA, Heloíse Beatriz et al. Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando índice de vegetação normalizada (NDVI) no município de Maringá-PR/Analysis of riparian vegetation in a watershed using ndvi index in Maringa-PR. **Geo Uerj**, n. 31, p. 439-455, 2017.

RAHMAN, M.R.; SHI, Z.H.; CHONGFA, C. Soil erosion hazard evaluation an integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. **Ecological Modelling**, v.220, p.1724-1734, 2009.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. 1995. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 65p

ROSA, Paulo A.; BREUNIG, Fábio M.; BALBINOT, Rafaelo; GALVÃO, Lênio S. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. *Revista Floresta e Ambiente*, v.20, n.4, p.487-499. 2013.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Models, methods, concepts & applications of the analytic

hierarchy process. **Springer Science & Business Media**, 2012.

SILVA, Juliane Maíra Pedro; CAVICHIOLO, Fabio Alexandre. O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 616-629, 2020.

Silva, LL "O PAPEL DO ESTADO NO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DAS ÁREAS DE CERRADO". Caminhos de Geografia, 2000.

SOUSA PEDROSA, A.; ROCHA, E. A. V., Proposta de modelagem da suscetibilidade a erosão laminar. Um estudo de caso na Bacia do Ribeirão Vai-Vem (GO), Brasil. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 1707–1720-1707–1720, 2012.

SOUZA, N. D. C.; PITOMBO, C.; CUNHA, A. L.; LAROCCA, A. P. C.; ALMEIDA

Susceptibilidade à Erosão Laminar em Bacia Hidrográfica da Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1707-1723, 2021.

TORRES, H. Levantamento da perda de solo atual por erosão hídrica do município de cachoeiro de Itapemirim (ES). Cadernos Camilliani e-ISSN: 2594- 9640, v. 16, n. 3, p. 1525-1546, 2021.

YESILNACAR, M.I.; SÜZEN, M.L.; KAYA, B.S.; DOYURAN, V. Municipal solidwaste landfill site selection for the city of Şanlıurfa-Turkey: an example using MCDA integrated with GIS. M. **International Journal of Digital Earth**, v.5,