



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**EDUARDO CESAR DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE REGENERAÇÃO DO CERRADO A PARTIR DE**  
**DADOS ESPECTRAIS: ESTUDO DE CASO NA SUB BACIA HIDROGRÁFICA**  
**DO BAIXO RIO DAS MORTES, MATO GROSSO**

Maceió - Alagoas  
Setembro/2024

EDUARDO CESAR DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE REGENERAÇÃO DO CERRADO A PARTIR DE  
DADOS ESPECTRAIS: ESTUDO DE CASO NA SUB BACIA HIDROGRÁFICA  
DO BAIXO RIO DAS MORTES, MATO GROSSO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, na Universidade Federal de Alagoas, como requisito para outorga do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Dinâmica Socioambiental e Geoprocessamento.

Orientador: Prof. Dr. Melchior Carlos do Nascimento.

Maceió - Alagoas  
Setembro/2024

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Lívia Silva dos Santos - CRB 1670

S586a Silva, Eduardo Cesar da.

Avaliação de áreas de regeneração do cerrado a partir de dados espectrais : estudo de caso na sub bacia hidrográfica do baixo rio das mortes, Mato Grosso / Eduardo Cesar da Silva – 2024.

90 f.:il.

Orientador: Melchior Carlos do Nascimento.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 79-90

1. Cerrado brasileiro – Mato Grosso. 2. Política ambiental. 3. Uso da terra. 4. Vegetação secundária. 5. Bacia hidrográfica – Baixo rio das mortes. I. Título.

CDU: 911:504.03(81)

## **BANCA EXAMINADORA**

Maceió – AL, XX de setembro de 2023

---

Orientador: Prof. Dr. Melchior Carlos do Nascimento  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL

---

1º Examinador (Interno): Prof. Dr. Jose Vicente Ferreira Neto  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL

---

2º Examinador (Externo): Profa. Dra. Carline Biasoli Trentin  
Universidade Federal do Mato Grosso – Campus Araguaia



***À minha mãe, minha maior inspiração.***

## **AGRADECIMENTOS**

A construção deste trabalho só foi possível graças ao apoio e incentivo de algumas pessoas e instituições, às quais serei eternamente grato.

Primeiramente, deixo meus agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. Melchior Carlos do Nascimento, pelo suporte em todas as etapas do mestrado e todos os ensinamentos ao longo deste ciclo. Também agradeço aos membros da banca que contribuíram para melhoria deste trabalho.

Agradeço à minha mãe Núbia, ao meu irmão Ricardo, ao meu padrasto Carlos, aos meus tios Noé e Zenaide, à minha namorada Isadora, todos estes que estiveram me apoiando em toda minha trajetória.

Agradeço a todos os meus amigos do grupo de pesquisa CENSIPAM, ao meu amigo Izaias, que estão sempre contribuindo com a minha evolução como estudante/pesquisador.

Por fim, sou grato às duas instituições das quais fiz parte ao longo do mestrado UFAL-IGDEMA e Embrapa Territorial.

## RESUMO

A presente dissertação aborda a dinâmica da cobertura e uso da terra no Cerrado brasileiro, um bioma que representa aproximadamente 24% do território nacional e abriga uma rica biodiversidade. A pesquisa lança um olhar sobre a região leste do estado de Mato Grosso, que tem passado por intensas transformações desde a década de 1970, impulsionadas pela demanda por *commodities* agrícolas e incentivos governamentais. Mesmo que o Cerrado venha perdendo parte de sua cobertura vegetal natural de maneira significativa, tem apresentado altos níveis de regeneração natural, o que indica sua capacidade de regeneração, isto é, resiliência frente aos impactos humanos. Compreender as mudanças de cobertura e uso da terra em um país com dimensões continentais como o Brasil, exige iniciativas de mapeamento via Sensoriamento Remoto. O estudo utiliza dados de sensoriamento remoto na avaliação do uso e cobertura da terra e Índices Espectrais de Vegetação (IEVs) para analisar a regeneração da cobertura vegetal natural entre 2000 e 2023 na Bacia Hidrográfica do Baixo Rio das Mortes, em Mato Grosso. Os resultados indicam um aumento significativo nas áreas dedicadas à cultura da soja, que cresceu 1.105,13%, e uma conversão substancial de pastagens em áreas de cultivo. Além disso, constatou-se que menos de 1% da vegetação secundária da BHBRM permaneceu inalterada, evidenciando a fragmentação e a perda da conectividade ecológica, fatores que comprometem a resiliência dos ecossistemas. A avaliação da série temporal dos índices espectrais, EVI e NDVI, de 2001 até 2023, indicaram crescimento dos valores médios, tanto em períodos secos quanto em úmidos, com exceção para tipologia vegetacional Formação Florestal Semidecidual Submontana. Também, por meio da resposta espectral dos índices, foi possível avaliar possíveis distúrbios relativos a queimadas, cortes seletivos, estresse hídrico, dentre outros. A análise revela que a produtividade sazonal da vegetação secundária está fortemente ligada ao ciclo hidrológico, com variações notáveis entre as Formações Florestais e Savânicas. A partir da presente pesquisa conclui-se que o monitoramento contínuo e as estratégias de manejo sustentável são essenciais para mitigar os impactos da expansão agrícola e preservar a biodiversidade do Cerrado.

**Palavras-chave:** Cerrado Brasileiro, Vegetação Secundária, Regeneração, Monitoramento.

## ABSTRACT

The present dissertation addresses the dynamics of land cover and use in the Brazilian Cerrado, a biome that represents approximately 24% of the national territory and hosts a rich biodiversity. The research focuses on the eastern region of the state of Mato Grosso, which has undergone intense transformations since the 1970s, driven by the demand for agricultural commodities and government incentives. Although the Cerrado has significantly lost part of its natural vegetation cover, it has shown high levels of natural regeneration, indicating its resilience to human impacts. Understanding land cover and use changes in a country with continental dimensions like Brazil requires remote sensing mapping initiatives. The study uses remote sensing data and vegetation index (EVI and NDVI) to analyze the regeneration of natural vegetation cover between 2000 and 2023 in the Baixo Rio das Mortes Basin. The results indicate a significant increase in areas dedicated to soybean cultivation, which grew by 1,105.13%, and a substantial conversion of pastures into cultivation areas. Additionally, it was found that less than 1% of the secondary vegetation of the BHBRM remained unchanged, highlighting fragmentation and loss of ecological connectivity, factors that compromise ecosystem resilience. The evaluation of the spectral index time series, EVI and NDVI, from 2001 to 2023, indicated growth in average values during both dry and wet periods, except for the Submontane Semideciduous Forest formation. Moreover, through the spectral response of the indices, it was possible to evaluate possible disturbances related to fires, selective logging, water stress, among others. The analysis reveals that the seasonal productivity of secondary vegetation is strongly linked to the hydrological cycle, with notable variations between Forest and Savanna formations. This research concludes that continuous monitoring and sustainable management strategies are essential to mitigate the impacts of agricultural expansion and preserve the biodiversity of the Cerrado.

**Keywords:** Brazilian Cerrado, Secondary Vegetation, Regeneration, Monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** – Fluxograma de um Sistema de Sensoriamento Remoto de um Sensor Passivo.

**Figura 2** – Espectro de Reflectância da vegetação e do solo.

**Figura 3** – Localização da área em estudo (BHBRM).

**Figura 4** – Normais climatológicas da precipitação na área em estudo (1991-2020).

**Figura 5** – Fluxograma metodológico.

**Figura 6** – Vegetação de permanência da vegetação secundária (2001/2023).

**Figura 7** – Quantitativo de vegetação secundária nas tipologias vegetais amostradas.

**Figura 8** – Amostragem da vegetação secundária segundo as tipologias vegetais.

**Figura 9** – Cobertura e uso da terra na área em estudo (2000).

**Figura 10** – Área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra no ano 2000.

**Figura 11** – Cobertura e uso da terra na área em estudo (2023).

**Figura 12** – Área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra no ano 2023.

**Figura 13** – Área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra (2000/2023).

**Figura 14** – Transições na cobertura e uso da terra na área em estudo (2000/2023).

**Figura 15** – Mudanças na cobertura e uso da terra na área em estudo.

**Figura 16** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Savana Arborizada na área de estudo (2001-2023).

**Figura 17** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Savana Florestada na área de estudo (2001-2023).

**Figura 18** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Savana Parque na área de estudo (2001-2023).

**Figura 19** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana na área de estudo (2001-2023).

**Figura 20** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial na área de estudo (2001-2023).

**Figura 21** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde das Terras Baixas na área de estudo (2001-2023).

**Figura 22** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Arborizada na área de estudo (2001-2023).

**Figura 23** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Florestada na área de estudo (2001-2023).

**Figura 24** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Parque na área de estudo (2001-2023).

**Figura 25** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana na área de estudo (2001-2023)

**Figura 26** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial na área de estudo (2001-2023).

**Figura 27** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde das Terras Baixas na área de estudo (2001-2023).

## **LISTA DE QUADRO**

**Quadro 1** – Descrição da reclassificação das classes temáticas do Mapbiomas.

## SUMÁRIO

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                          | 12 |
| 2. OBJETIVOS.....                                                                           | 15 |
| 2.1 Geral .....                                                                             | 15 |
| 2.2 Específicos.....                                                                        | 15 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....                                                              | 16 |
| 3.1 O Cerrado e a política ambiental brasileira .....                                       | 16 |
| 3.2 A expansão das atividades agropecuárias, impactos e a regeneração do Cerrado .....      | 19 |
| 3.3 Sensoriamento Remoto e mapeamento da cobertura e uso da terra .....                     | 21 |
| 3.4 Índices Espectrais de Vegetação (IEVs) e suas aplicações .....                          | 25 |
| 4. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....                                                  | 28 |
| 4.1 Localização da área em estudo .....                                                     | 28 |
| 4.2 Aspectos fisiográficos .....                                                            | 30 |
| 4.3 Aspectos socioeconômicos e de ocupação .....                                            | 31 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODO.....                                                                  | 34 |
| 5.1 Dados utilizados .....                                                                  | 34 |
| 5.2 Mapeamento das tipologias vegetais da área em estudo .....                              | 35 |
| 5.3 Mapeamentos da cobertura e uso da terra da área em estudo.....                          | 36 |
| 5.4 Identificação de áreas com indícios do processo de regeneração da vegetação.....        | 37 |
| 5.5 Extração das séries temporais dos Índices Espectrais de Vegetação (IEVs).....           | 43 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                                             | 45 |
| 6.1 Mapeamento da cobertura e uso da terra do ano 2000 .....                                | 45 |
| 6.2 Mapeamento da cobertura e uso da terra no ano de 2023 .....                             | 48 |
| 6.3 Mudanças na cobertura e no uso da terra entre o ano 2000 e 2023.....                    | 51 |
| 6.4 Séries temporais de IEVs EVI e NDVI em áreas de vegetação secundária .....              | 55 |
| 6.5 Monitoramento da fenologia em áreas de vegetação secundária (Formações Savânicas) ..... | 63 |
| 6.6 Monitoramento da fenologia em áreas de vegetação secundária (Formações Florestais)..... | 69 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                               | 75 |
| 7.1 Conclusões.....                                                                         | 75 |
| 7.2 Recomendações .....                                                                     | 77 |
| 8. REFERÊNCIAS .....                                                                        | 79 |

## 1. INTRODUÇÃO

Os domínios do Cerrado brasileiro representam, aproximadamente, 24% do território brasileiro, o que significa uma área de mais de 2 milhões de km<sup>2</sup>, sendo o segundo maior bioma da América do Sul (Myers *et al.*, 2000). Suas coberturas incidem sobre os estados, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e o Distrito Federal, seis de forma miscigenada com outros biomas e, se estendendo até a Bolívia e o Paraguai. Dada a sua grande riqueza em biodiversidade e alto índice de espécies endêmicas, o Cerrado brasileiro é considerado um *hot spot* (Mittermeyer *et al.*, 1999; Klink, Machado, 2005).

Na região do Brasil Central, e em toda a região Centro-Oeste, o Cerrado abriga a maior parte das nascentes que drenam suas águas para as principais bacias hidrográficas do país, principalmente por meio de aquíferos subterrâneos (Bastos e Ferreira, 2010). Devido à sua localização geográfica, nas áreas de ecótonos o Cerrado apresenta uma mix de espécies vegetais características de outros domínios, como o da Amazônia, Mata Atlântica e Caatinga, o que indica uma dispersão de sementes e pólen por meio da relação da fauna e flora pela movimentação nas matas de galeria que margeiam os rios, o que contribui para a grande diversidade das espécies além de sua área core (Abramovay, 1999).

Nos domínios do Cerrado brasileiro, as características edafoclimáticas, sobretudo a variedade latitudinal de climas, associadas ao desenvolvimento do relevo, evidenciam como as condições dos solos e da densa rede hidrográfica faz do Cerrado um complexo mosaico de diferentes paisagens (Ab'Saber, 2003). Nesse contexto, destacam-se os chapadões, ambientes de solo profundos e bem desenvolvidos, os quais nas últimas décadas tornaram os ambientes mais propícios para produção agrícola (Goedert *et al.*, 2008; Miziara; Ferreira, 2008 Apud Silva, 2013). Sob esta perspectiva, o Cerrado brasileiro vem passando por mudanças significativas no uso e cobertura da terra (LULC), afetando diretamente sua fauna e flora (Silva, 2013).

A intensificação do processo de alteração no LULC no Cerrado, teve início a partir da década de 70, fundamentada por incentivos governamentais que buscavam atender a demanda internacional na produção de *commodities* agrícolas, o que impactou diretamente na biodiversidade do bioma (Klink, Machado, 2005), estimando que até o ano de 2010, o bioma Cerrado já havia sofrido alterações em mais de 60% de sua vegetação nativa (Tisott; Schmidt, 2021). Portanto, no sentido que aumentam as transformações no LULC, torna-se uma tarefa difícil equilibrar as demandas sociais e as perdas ambientais (Defries *et al.*, 2004).

Compreender as mudanças na cobertura e uso da terra em um país com dimensões continentais como o Brasil exige iniciativas de mapeamento via Sensoriamento Remoto (SR). Nesse sentido, o Brasil tem se destacado com diversos projetos que visam mapear e monitorar o LULC, como: o Projeto RadamBrasil, de 1970; o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), de 2004; o Programa de Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000; 2010; 2012; 2014; 2016 e 2018); o Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra do MapBiomas, de 2015 (Silva, 2022). Dentro da mesma perspectiva, o TerraClass realiza a qualificação dos desmatamentos para os biomas Cerrado e Amazônia (INPE, 2014).

De modo a entender melhor as constantes alterações que o Cerrado vem sofrendo ao longo dos anos, Jepson (2005) destaca que, mesmo que o bioma venha perdendo a sua cobertura vegetal natural de maneira significativa, tem apresentado altos níveis de regeneração natural, o que indica sua capacidade de regeneração, isto é, resiliência frente aos impactos humanos. Neste contexto, as áreas que passam pelo processo de regeneração cumprem papéis importantes para paisagens e desempenho dos ecossistemas, atuando diretamente no fluxo de carbono, retração dos processos relacionados a erosividade e conservação da biodiversidade (Almeida *et al.*, 2010; Carreiras *et al.*, 2017).

O processo de regeneração da vegetação em áreas do Cerrado ainda é pouco estudado se comparado com estudos de outros aspectos associados à sua degradação (Jepson, 2005; Jepson *et al.*, 2009), como o processo de retirada e alteração da cobertura vegetal natural. Por se tratar de uma área muito extensa e de um complexo de biomas cuja vegetação apresenta uma alta variabilidade na produtividade fotossintética ao longo do ano (Ferreira *et al.*, 2003), acompanhar as mudanças ocorridas no Cerrado torna-se um grande desafio. Nesse sentido, a busca por técnicas que auxiliam na detecção das alterações ocorridas ao longo do tempo em extensas áreas faz dos dados obtidos pelo SR uma das ferramentas mais promissoras para se trabalhar nesse tipo de questão (Skole *et al.*, 1994).

O SR é uma ciência que envolve a aquisição de dados da superfície terrestre sem haver contato diretamente com a mesma, utilizando sensores que captam a interação da radiação eletromagnética com os objetos terrestres (Menezes; Almeida, 2012). Esta tecnologia é crucial para o monitoramento do LULC, pois permite a coleta de dados em diferentes escalas e períodos. Dessa forma, é possível realizar análises sobre as mudanças ocorridas na superfície terrestre, planejar o uso sustentável dos recursos naturais e implementar meios de conservação que contribuam de maneira significativa (Novo, 2010).

Dentre as diversas ferramentas disponibilizadas pelo SR, estão os Índices de Vegetação (IEVs) *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1974) e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), elaborado por Huete *et al.* (1997). Os IEVs são obtidos através de cálculos matemáticos que por meio de duas ou mais bandas espectrais, conseguem fornecer informações importantes a respeito da atividade fotossintética das plantas e a dinâmica em sua estrutura, bem como, auxiliar em comparações espaciais e temporais que estas podem vir a sofrer (Huete *et al.*, 2002).

Entender a dinâmica que ocorre nas áreas de vegetação secundária, isto é, nas áreas com indicativos do processo de regeneração da vegetação, é uma tarefa complexa, mas que se faz necessária na savana mais biodiversa do mundo. Analisar o comportamento destas áreas que passam por regeneração da vegetação, que se mantém ao longo dos anos e/ou que passam novamente pelo processo de supressão vegetal, ajuda a identificar quais as áreas prioritárias de fiscalização e elaboração de estratégias que sejam capazes de reduzir o número de novas áreas desmatadas, abrindo um leque de possibilidades para a política de uso da terra.

Neste sentido, assume-se como pressuposto que a adoção de dados de sensoriamento remoto orbital permite identificar e mapear áreas de Cerrado em processo de regeneração, e que a utilização de séries temporais de índices espectrais como EVI, NDVI, GNDVI e NDWI permitem analisar o comportamento dessas áreas. A hipótese é a de que a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio das Mortes está passando por rápidas mudanças na cobertura e no uso da terra, e que no seio desse processo há áreas onde a cobertura vegetal natural do Cerrado encontra-se em regeneração. Nessas áreas, busca-se analisar o vigor vegetacional, a partir de séries temporais dos índices espectrais; e compreender se a produtividade sazonal da vegetação difere significativamente entre as diferentes tipologias vegetacionais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O presente estudo tem como finalidade analisar os processos de regeneração da cobertura vegetal natural do Cerrado na Bacia Hidrográfica do Baixo Rio das Mortes (BHBRM) por meio de dados da cobertura e uso da terra e de índices de vegetação, entre o ano 2000 a 2023.

### **2.2 Específicos**

- Analisar a dinâmica de cobertura e uso da terra na BHBRM, a fim de entender e apresentar as principais alterações ocorridas entre os anos de 2000 e 2023;
- Identificar áreas que sofreram distúrbios na cobertura vegetal natural e que se encontram com vegetação secundária, entre os anos de 2001 e 2023;
- Analisar e compreender o comportamento sazonal da vegetação em áreas onde há indicativos do processo de regeneração natural da vegetação.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 O Cerrado e a política ambiental brasileira

O Cerrado brasileiro é um dos biomas mais importantes e diversos do Brasil, localizado principalmente na região central do país. Por se tratar de um bioma com nível de complexidade bem acentuado, a definição do Cerrado remete a diversas discussões na literatura nacional e internacional (EMBRAPA, 2008). De acordo com Batalha (2011) a forma mais coerente de definir, o que conhecemos como “Bioma Cerrado”, é a junção de um complexo de biomas que formam a região fitogeográfica como um todo, ou seja, o Cerrado é formado por vários biomas. Nesse sentido, o Cerrado apresenta uma diversidade de fitofisionomias, cada uma adaptada às diferentes condições de solo e clima, com uma sazonalidade bem evidente (Eiten, 1994).

Ribeiro e Walter (2008) destacam três estruturas: florestais, savânicas e campestres. No contexto das formações florestais, as Matas Ciliares e as Matas de Galeria têm associação direta com cursos d'água, enquanto as Matas Secas e o Cerradão são encontrados nas áreas de interflúvio; as paisagens savânicas são caracterizadas pela dispersão de árvores entre vegetação herbácea, variando em densidade e incluindo o Cerrado Denso, o Cerrado Típico, o Cerrado Ralo e o Cerrado Rupestre, geralmente encontrado em solos secos e bem drenados; por último, às paisagens campestres são caracterizadas pela predominância do estrato herbáceo, com a quase ausência de árvores, incluindo o Campo Sujo, o Campo Limpo e o Campo Rupestre, que podem ocorrer tanto em ambientes úmidos quanto secos (Ribeiro *et al.*, 2022).

As características climáticas do bioma Cerrado são bem distintas e possui uma variação em sua distribuição. Ele possui um clima tropical sazonal, com duas estações bem definidas: uma estação chuvosa durante o verão, que geralmente ocorre de outubro a março, e uma estação seca no inverno, de abril a setembro, classificado como Aw de Köppen (tropical chuvoso). A estacionalidade na precipitação é uma característica marcante do Cerrado, com chuvas concentradas na estação úmida e longos períodos de seca durante a estação seca (Walter; Carvalho; Ribeiro, 2008). Essa variabilidade climática influencia diretamente a vegetação adaptada a essas condições, com uma flora adaptada a incêndios periódicos e a falta de água durante a estação seca.

O Cerrado desempenha um papel significativo nos recursos hídricos superficiais do Brasil, com 14% do total, e, se desconsiderar a bacia Amazônica da análise, o Cerrado se destaca ainda mais, com cerca de 43% da produção total de água superficial do restante do país (Felfili; Sousa-Silva; Scariot, 2005). No entanto, as áreas de recarga dos aquíferos no Cerrado

enfrentam sérios problemas, pois estão sendo desmatadas, transformadas em pastagens e áreas de cultivo agrícola, além de serem impermeabilizadas por expansões urbanas (LIMA; SILVA, 2005), o que afetará diretamente a fauna e flora do bioma, juntamente com seus mais de 28 milhões de residentes (Strassburg *et al.*, 2017 ; Vieira *et al.*, 2017 ).

A partir da década de 70, a região do Cerrado foi impactada pela expansão rápida da agricultura intensiva, restando aproximadamente 20% da sua área com vegetação primária (Myers *et al.*, 2000; Felfili, Sousa-Silva, Scariot, 2005). Nesse sentido, devido à supressão de mais de 70% de sua área natural e sua grande riqueza em biodiversidade de espécies endêmicas, o Cerrado é considerado um “hot spot” (Mittermeyer *et al.*, 1999; Klink, Machado, 2005).

Traçando a trajetória das políticas ambientais no Brasil, Moura (2016) ressalta que as leis ambientais aprovadas na década de 1930, como o Código de Águas e o Código Florestal, estabeleceram os fundamentos da política ambiental brasileira, com foco na gestão dos recursos naturais. Enquanto a Amazônia e a Mata Atlântica possuem significativa atenção de políticas públicas que visam sua sustentabilidade, o Cerrado, devido à intensa conversão de sua paisagem nativa em paisagens antropizadas, é o bioma mais ameaçado do Brasil (Aquino *et al.*, 2008; Strassburg *et al.*, 2017).

Ao analisar o histórico da política ambiental brasileira, percebe-se fases distintas no passar do tempo, cada uma caracterizada por desenvolvimentos significativos e desafios específicos. A partir da década de 70 até meados da década de 80, o Brasil fortaleceu as bases para suas políticas ambientais, criando instituições-chave como: a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA) (Brasil, 1973), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), além de promulgar a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (Brasil, 1981). Isso sinalizou o início de um compromisso mais formal com a proteção do meio ambiente e a conscientização ambiental crescente na sociedade.

O fim da década de 80 até o início deste século, foi marcado pela consolidação das políticas ambientais brasileiras. Com a consolidação do PNMA, órgãos ambientais foram estruturados de maneira mais incisiva, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Ministério do Meio Ambiente (Moura, 2016). A aprovação da Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998) (Brasil, 1998) foi um passo importante, estabelecendo punições para infrações ambientais. Além disso, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) (Brasil, 1997) ajudou a melhorar a gestão dos recursos hídricos do país, essenciais para o Brasil devido à sua abundância de rios e bacias hidrográficas.

Tendo em vista esse contexto, na atualidade o Brasil enfrenta questões críticas relacionadas às mudanças climáticas e a perda da biodiversidade, que exigem uma ação eficaz

e sustentável. Além disso, conflitos entre proteção ambiental e desenvolvimento econômico têm colocado à prova a capacidade do país de encontrar um equilíbrio entre ambos (Veiga, 2006). A redução do orçamento do Ministério do Meio Ambiente e a flexibilização das leis de proteção ambiental também levantaram preocupações sobre a eficácia das políticas ambientais no país (Araújo, 2022).

Com destaque para o Cerrado, o governo brasileiro tem implementado políticas públicas voltadas para sua conservação. Uma dessas políticas é o Programa de Conservação e Utilização Sustentável da Biodiversidade (PROBIO), que tem como objetivo promover a conservação da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais no bioma (Brasil, 2002). O PROBIO financia projetos de pesquisa, capacitação e gestão ambiental, além de apoiar a criação de unidades de conservação e a implementação de planos de manejo.

No mesmo sentido, foi criado o Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), que também inclui o Cerrado (MMA, 2007). O ARPA tem como objetivo proteger a biodiversidade da região amazônica, com a inclusão do Cerrado, por meio da criação e gestão de unidades de conservação, programa financiado pelo governo brasileiro, por doações internacionais e por parcerias com organizações da sociedade civil (Contini *et al.*, 2020).

O Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012, estabelece as regras para o uso e a conservação da vegetação nativa em todo o território brasileiro. Se tratando do Cerrado, o Código Florestal estabelece os seguintes requisitos para reserva legal para as propriedades rurais: “em áreas de Cerrado *sensu stricto*, 35% da área do imóvel; em áreas de Cerrado savana, 20% da área do imóvel; e em áreas de Cerrado antropizado, 10% da área do imóvel”.

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) no Cerrado devem ser protegidas independentemente da localização ou do tamanho do imóvel rural. Elas desempenham um papel crucial na preservação dos recursos hídricos e da biodiversidade (Chiavari; Lopes, 2016). Para proteção e conservação das APPs, o código florestal destaca que: “em margens dos rios, lagos e reservatórios, 30 metros; em nascentes e olhos d'água, 50 metros; em encostas com declividade superior a 45%, 20% da largura da faixa marginal; em áreas de recarga de aquíferos, 100 metros; em áreas de mananciais, 50 metros”.

Por ser um dos biomas mais ameaçados do Brasil, com o desmatamento e a degradação florestal dentre os principais fatores, o Cerrado enfrenta grandes desafios para sua conservação. Nesse sentido, a trajetória da política ambiental brasileira mostra um progresso notável ao longo das décadas, com avanços institucionais e legislativos importantes (Moura, 2016). O Cerrado é fundamental para a preservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos que o bioma

oferece, como a regulação do clima, a produção de água e a polinização de culturas agrícolas (Felfili; Sousa-Silva; Scariot, 2005).

No entanto, os desafios atuais, como as mudanças climáticas e a proteção da biodiversidade, destacam a necessidade contínua de ações vigorosas e comprometidas para preservar o meio ambiente e encontrar soluções sustentáveis para os dilemas entre desenvolvimento e conservação.

### **3.2 A expansão das atividades agropecuárias, impactos e a regeneração do Cerrado**

O processo histórico de ocupação do Cerrado teve seu início, de maneira acentuada, durante o ciclo da mineração, especialmente do ouro e de pedras preciosas (Moreira, 1990). Com a decadência do período da mineração, a região Centro-Oeste, na qual se encontra a maior área do Cerrado, ficou marcada com a estagnação econômica e pobreza dos povos que nessas regiões permaneceram, se distanciando dos grandes centros econômicos que movimentavam a economia do país (Anacleto e Mizarra, 2006).

Nesse sentido, a ocupação do Cerrado teve sua intensificação no decorrer da política de migração do Estado Novo, com a elaboração de um plano de povoamento do Centro-Oeste, conhecido como “marcha para o oeste” que, até então, em sua maioria, era habitado por nativos, intensificando o deslocamento de pessoas para a região central do Brasil (Garcia e Miceli, 2014) a fim de ocupar o que era entendido como “vazio demográfico” (Oliveira, 2005).

Para incentivar a ocupação do Cerrado, o governo Vargas implementou uma série de políticas, como a construção de infraestrutura, a concessão de incentivos fiscais e a promoção de campanhas publicitárias. Essas políticas foram bem-sucedidas em atrair investidores e colonos para a região, que passou a ser conhecida como o novo Eldorado (Oliveira, 2013).

Outro período em que houve forte avanço da fronteira agrícola no Cerrado foi durante a ditadura militar (1964-1985), sendo um processo acelerado e intensificado, impulsionado por uma série de fatores, incluindo o desenvolvimento de novas tecnologias, o incentivo do governo e a expansão do mercado consumidor.

O desenvolvimento de novas tecnologias, como o plantio direto e a irrigação, permitiu a expansão do cultivo de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar para áreas do cerrado que antes eram consideradas inférteis ou improdutivas. O governo militar implementou uma série de políticas para incentivar a expansão do agronegócio no Cerrado, como a construção de infraestrutura, a concessão de incentivos fiscais e a promoção de campanhas publicitárias. A

expansão do mercado consumidor, tanto interno quanto externo, também contribuiu para o crescimento do agronegócio no Cerrado (Oliveira, 1990).

No pós-ditadura militar, a expansão do agronegócio no Cerrado foi um processo impulsionado por uma série de fatores, incluindo a abertura econômica, a globalização e o aumento da demanda por alimentos. O governo brasileiro também implementou uma série de políticas de incentivo para o agronegócio, como incentivos fiscais, financiamentos e investimentos em infraestrutura. Essas políticas contribuíram para o crescimento da produção agrícola no Cerrado, que se tornou um importante polo de produção de *commodities* agrícolas (Ferreira, 2019).

No entanto, a expansão do agronegócio no Cerrado também teve impactos ambientais, como o desmatamento, a desertificação e a perda da biodiversidade. Para garantir a sustentabilidade da expansão do agronegócio no cerrado, é necessário implementar políticas públicas e medidas privadas para reduzir os impactos ambientais da produção agrícola (Ferreira, 2019).

O desmatamento é uma das principais ameaças no que se refere à conservação do bioma Cerrado. Grandes extensões de vegetação nativa são derrubadas para dar lugar à expansão da agricultura, pecuária e urbanização, no que resulta na perda irreparável de habitats naturais, com uma fragmentação que prejudica a fauna e a flora dessa região (Castilho *et al.*, 2010). Além disso, o desmatamento contribui significativamente para as mudanças climáticas, pois a remoção da vegetação libera grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera.

A remoção da cobertura vegetal natural torna o solo do Cerrado mais suscetível à erosão, resultando na perda de solo fértil e na degradação da qualidade do solo, o que pode levar a um ciclo de degradação contínua, dificultando a regeneração natural da vegetação e comprometendo ainda mais a capacidade do ecossistema de sustentar a vida (Castagna, 2022).

Dessa forma, os desmatamentos que ocorrem devido a diversos fatores tomam dois caminhos diferentes: transformam-se em áreas destinadas a vários tipos de uso ou são abandonadas, e, a partir de então, passam pelo processo de regeneração natural (Perz; Skole, 2013; Silva Junior *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020), tornando-as numa vegetação secundária (Almeida *et al.*, 2010). Essas florestas desempenham um papel importante na fixação de carbono e na renovação de habitats, e podem gerar uma nova demanda por produtos florestais e serviços ambientais (Wang *et al.*, 2020).

Florestas secundárias ou em regeneração são áreas onde a vegetação se recupera após eventualidades naturais ou causados pelo homem, independentemente da intensidade ou do tempo decorrido desde o evento. As florestas secundárias surgem naturalmente em áreas abandonadas, como pastagens, campos agrícolas ou plantações de árvores que não foram bem-sucedidas (Itto, 2002).

Diante desses aspectos supracitados, entende-se que a vegetação se regenera de forma gradual em áreas abandonadas que não são mais impactadas pelo homem, por meio de processos ecológicos como a dispersão de sementes, a colonização de espécies nativas, a melhoria do clima local e o aumento da diversidade de plantas (Scervino; Torezan 2015). As florestas secundárias, oriundas do processo de regeneração, podem ajudar a compensar as emissões de carbono e outros serviços ambientais, mas são vulneráveis ao desmatamento e incêndios recorrentes (Nunes *et al.* 2020).

Com intuito de monitorar as alterações ocorridas na vegetação brasileira, o MapBiomas Brasil disponibiliza à população em geral o mapeamento sistemático do uso e cobertura da terra. Desenvolvido por uma gama de colaboradores formado por Organizações Não Governamentais (ONGs), universidades e empresas de tecnologia organizados por biomas e temas transversais, esse mapeamento auxilia na tomada de decisões e na elaboração de políticas no âmbito público e privado que visem a sustentabilidade dos recursos naturais da região (Souza Jr. *et al.* 2020).

O projeto MapBiomas produz mapas do uso da terra no bioma Cerrado brasileiro após a identificação dos desmatamentos ocorridos ao longo da série histórica, por meio de imagens do satélite Landsat. Dessa forma, uma das classes mapeadas pelo projeto é a de vegetação secundária, descrita como aquelas que, em um determinado momento da série histórica do monitoramento da supressão da vegetação natural do Cerrado, ocorreu o corte raso ou supressão total da vegetação e, atualmente, está em desuso e passa por um processo de regeneração natural (Brasil, 2015).

Assim, por ser visto como uma área com vasto potencial disponível para agricultura, com sua condição edafoclimática, recebendo influência internacional, com aporte tecnológico, o Cerrado vai passando por diversas transformações ao longo do século passado até os dias atuais, sendo intitulado, sob influência do mercado financeiro, como “celeiro do mundo” (Pires, 2000; Medeiros, 2007).

### **3.3 Sensoriamento Remoto e mapeamento da cobertura e uso da terra**

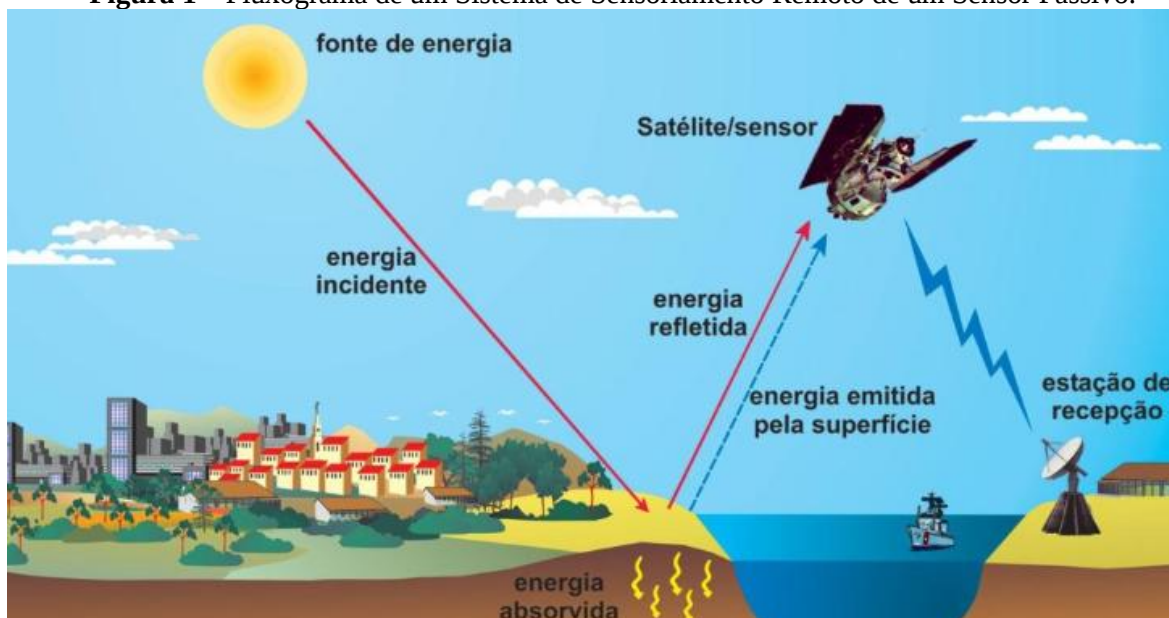
Em meados do século XIX, na França, utilizando de voos com balões, tem-se registro das primeiras fotografias aéreas, para a realização de estudos na área da topografia, tornando-se o primeiro relato que podemos encontrar na literatura sobre o estudo voltado ao SR de alvos terrestres (Novo, 2010). Assim, existem diferentes visões quanto à definição de SR, cada uma com sua interpretação sobre a temática. Sendo assim, Jensen (2009, p. 4) ressalta que “sensoriamento remoto é a aquisição de dados sobre um objeto sem tocá-lo diretamente”. Complementando, Novo (2010, p. 28) define:

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

Menezes e Almeida (2012, p. 3) seguem no pensamento similar ao definir o SR como “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

A aquisição de dados de SR (Figura 1) é realizada por sensores acoplados em aeronaves ou satélites que, após parte da energia oriunda de uma fonte de energia (Sol ou do próprio sensor, quando se trata de sensor ativo) ser absorvida e parte transmitida, captam a reflectância transportada por meio de ondas eletromagnéticas do alvo na superfície e em seguida, encaminham para estações de recepção (Novo, 2010). Estes dados são processados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - GIS, para análises espaciais, modelagem ambiental, criação de mapas de diversos tipos, entre outros produtos que auxiliarão em diferentes estudos e tomadas de decisões.

**Figura 1** – Fluxograma de um Sistema de Sensoriamento Remoto de um Sensor Passivo.



Fonte: Florenzano (2007).

De acordo com Novo (2010), existem dois tipos de sensores que são categorizados com referência no tipo de dados que geram, sendo os sensores imageadores e os sensores não

imageadores. Assim, os sensores imageadores são aqueles que possuem a capacidade de criar imagens simultâneas em diferentes faixas do espectro eletromagnético, o que resulta em representações digitais dos valores de radiação; enquanto os sensores não imageadores fornecem medições da intensidade da energia refletida pelos objetos da superfície terrestre, apresentando seus dados em formato numérico ou em gráficos (Menezes; Almeida 2012). Esses sensores são os mais adequados para obter informações sobre o comportamento espectral dos alvos terrestres.

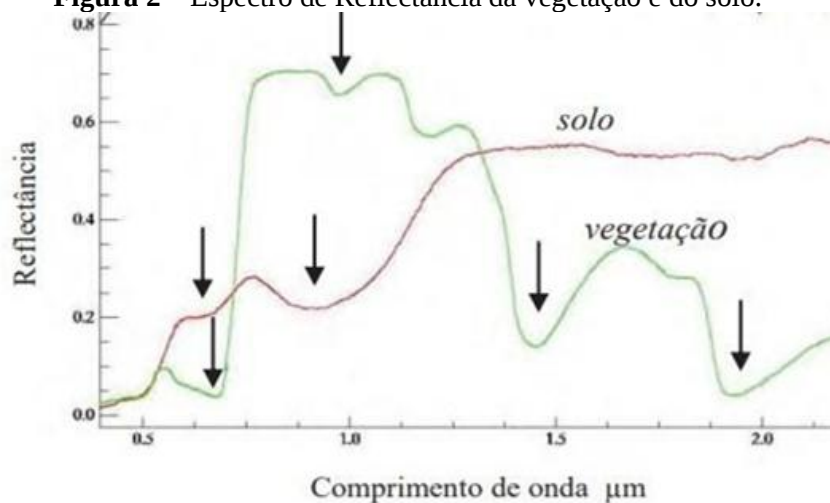
As imagens adquiridas por sensores remotos são caracterizadas por quatro componentes: resolução espacial, que está relacionado à capacidade do sensor em obter informação detalhada do alvo na superfície; resolução espectral, corresponde a capacidade em medir a largura das bandas que os sensores conseguem diferir; resolução radiométrica, associada a sensibilidade do sensor em distinguir níveis de intensidade do sinal proveniente da irradiância do alvo; e resolução temporal é o tempo que leva para o sensor passar novamente pela área de análise (Novo, 2010).

Para melhor compreender a dinâmica que envolve a aquisição de dados de SR, é necessário entender que cada objeto na superfície terá sua assinatura espectral diferenciada por interferências entre a energia proveniente do Sol que é absorvida, transmitida e outra parte refletida, a qual é captada pelos sensores (Novo, 2010). A composição de cada material na superfície gera diferentes assinaturas espectrais dentro do campo eletromagnético, pois isso varia de acordo com as propriedades físicas e químicas de cada alvo, permitindo a discriminação de diferentes coberturas terrestre.

Para a vegetação, a análise da assinatura espectral é realizada mediante a composição externa e interna das plantas, que fornece informações valiosas sobre seu estágio fenológico. Assim, para região do visível, o verde terá uma maior reflectância em relação à banda do azul e a banda do vermelho; na região do infravermelho próximo, visto que o comprimento da onda é maior e penetra a estrutura interna da folha, terá uma reflectância mais elevada dentro do espectro de reflectância da vegetação (Ponzoni; Shimabukuro, 2010). Essas informações podem indicar níveis de estresse hídrico e produtividade da vegetação.

A Figura 2 destaca a tendência de reflectância da vegetação e do solo em relação ao comprimento de onda. Conforme Menezes e Almeida (2012) a vegetação tende a ter uma reflectância mais elevada no comprimento de onda do infravermelho próximo (0,76 a 1,2  $\mu\text{m}$ ), enquanto na região do espectro visível, a vegetação tende a ter uma reflectância pouco mais elevada entre 0,45 e 0,54  $\mu\text{m}$  (banda do verde) e mais baixa nas bandas do azul e vermelho, devido a absorção de clorofila.

**Figura 2** – Espectro de Reflectância da vegetação e do solo.



Fonte: Adaptado de Menezes e Almeida (2012).

A partir da utilização de dados oriundos de SR e da necessidade de compreender a complexidade de todo o território brasileiro, diversos projetos com objetivos de mapear a cobertura e uso do solo e monitorar as alterações que decorrem do processo de ocupação antrópica, se iniciaram a partir da década de 70. O RadamBrasil teve destaque como um dos principais e mais importantes projetos de levantamento de dados sobre os recursos naturais, tendo como objetivo primeiro mapear o bioma Amazônico e, posteriormente, ampliado para todo território brasileiro (Oliveira *et al.*, 2020).

Com objetivo de identificar modelos de prioridades em relação à conservação e utilização de forma sustentável da biodiversidade do Brasil, foi implementado o PROBIO, de iniciativa do Ministério do Meio Ambiente em 2004 (Brasil, 2008). Outro projeto que busca espacializar e quantificar o uso e cobertura terrestre no Brasil, foi realizado pelo IBGE e lançado em 2015, que fornece dados para todo o território e das 27 Unidades da Federação nos respectivos períodos/anos: 2000/2010, 2010/2012, 2012/2014, 2014/2016, 2016/2018 (IBGE, 2022).

Nessa mesma perspectiva, o MapBiomas é mais um projeto que tem buscado fornecer informações sobre o uso e ocupação da terra para todo o território brasileiro, a partir do ano de 1985. Este projeto é fruto de uma colaboração entre ONGs, universidades, laboratórios e *startups* de tecnologia que surgiu no ano de 2015, realizando anualmente o mapeamento de cobertura e uso da terra, com auxílio e parceria da plataforma de processamento de dados em nuvem Google Earth Engine (MAPBIOMAS, 2023). Diferente do MapBiomas, um projeto com vários colaboradores, o TerraClass foi desenvolvido pela parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA),

onde realizaram incursões em campo para validar a classificação do mapeamento de uso e cobertura da terra (INPE, 2014).

Desse modo, no que se refere ao mapeamento e monitoramento de áreas que contém enorme extensão territorial, especificamente se tratando biomas, Skole *et al.* (1994) ressaltam que a melhor maneira de se obter dados da vegetação, a fim de monitorar sua dinâmica, em escalas temporais e espaciais, é com a utilização da ciência do SR. Os dados dos diversos tipos de Índices de Vegetação, auxiliam nas informações sobre a fenologia da vegetação. Assim, as diferenças de reflectância entre as bandas espectrais que compõem espectro do visível ao serem utilizadas em conjunto com a banda do infravermelho próximo, permitem a realização do cálculo para se obter os valores dos índices de vegetação (Formaggio; Sanches, 2017).

### **3.4 Índices Espectrais de Vegetação (IEVs) e suas aplicações**

A fim de realçar a resposta com relação à assinatura espectral da vegetação, os IEVs foram formulados com intuito de fornecer dados que destacam o vigor vegetativo e, ao mesmo tempo, reduzir efeitos causados por alvos distintos à vegetação (Menezes; Almeida 2012). As técnicas tradicionais utilizavam apenas as bandas multiespectrais, mas graças ao grande volume de dados, os avanços nas tecnologias de análise, atualmente os IEVs são integrados aos mapeamentos de LULC. Os IEVs são alterações contínuas de bandas espectrais, captadas por sensores ativos ou passivos, que captam os diferentes níveis de reflectância da vegetação, sempre levando em consideração os componentes das especificações de cada tipo de vegetação. Assim, Formaggio e Sanches (2017, p. 78) definem os IEVs como:

Formulações matemáticas desenvolvidas a partir de dados espectrais obtidos por sensores remotos, principalmente nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, visando permitir avaliações e estimativas da cobertura vegetal de uma área, em termos de parâmetros como área foliar, fitomassa, porcentagem de cobertura do solo e atividade fotossintética.

Por se tratar de formulações matemáticas com diferentes bandas, a escolha de um IEVs mais apropriado para determinada pesquisa a ser realizada, deve levar em consideração as alterações ocorridas ao longo do ciclo fenológico da vegetação e, também, as influências que podem ser causadas por questões relacionadas ao solo, ângulo de captação do sensor e das condições atmosféricas (Jakson; Huete, 1991). Dessa maneira, a utilização de IEVs no estudo da vegetação, podem indicar parâmetros como a evapotranspiração, o índice de área foliar,

biomassa, nível de estresse hídrico, dentre outros que variam de acordo com a formulação de cada índice (Dorigo *et al.*, 2007).

Existem inúmeros IEVs que foram desenvolvidos para compreender a vegetação segundo a especificidade almejada de cada estudo, sendo o NDVI o mais utilizado desde sua formulação (Moreira; Shimabukuro, 2004). Vale ressaltar que o NDVI é bastante utilizado para a classificação e espacialização da cobertura vegetal de toda a Terra, atuando na variabilidade ecológica e ambiental, fitomassa, produção fotossintética e em culturas no geral (Liu, 2007).

O NDVI está associado com padrões de desenvolvimento e evolução das plantas e, também, funciona como indicador da consistência de biomassa verde (Rouse *et al.*, 1974), é calculado pela diferença de reflectância entre a faixa do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED), dividida pela soma destas mesmas faixas (NIR) e (RED), resultando em um valor no intervalo de  $-1$  a  $+1$ . A premissa é a de que, quanto mais próximo de  $+1$ , maior será a presença de vegetação; e quanto mais próximo de  $-1$ , mais escassa é a vegetação, ou mesmo, a sua ausência (Huete *et al.*, 2002; Jensen, 2009).

Huete *et al.* (2002) expõe algumas vantagens e desvantagens que podem ser encontradas ao se trabalhar com o índice de vegetação NDVI. Este índice é bem-sucedido na medida em que permite fazer comparações de sazonalidades e mudanças interanuais na evolução e mudanças na vegetação. Como desvantagens, o índice apresenta a não linearidade na correção de efeitos oriundos da influência de ruídos, como a radiação atmosférica e, também, alguns problemas com escala, referente a saturação que ocorre quando o nível de reflectância é elevado (Asrar *et al.*, 1984).

Por outro lado, o índice de vegetação EVI foi produzido para diminuir as influências da atmosfera e do solo de fundo do dossel, no acompanhamento da vegetação. Se utiliza da banda do azul para correção da banda do vermelho quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis, melhorando a sensibilidade para altas biomassas (Huete *et al.*, 2002; Jensen, 2009). Dessa forma, o EVI é um índice de vegetação que foi desenvolvido para melhorar a sensibilidade e a robustez do NDVI (Justice *et al.*, 1996), sendo mais sensível nas alterações das estruturas do dossel (Gao *et al.*, 2000), e inclui um coeficiente que corrige a influência do solo.

Huete *et al.* (2002) reforçam que o EVI foi desenvolvido para melhorar o sinal emitido pela vegetação, atuando no aprimoramento da sensibilidade em regiões de alta biomassa, reduzindo problemas com ruídos atmosféricos e com o fundo do dossel. No entanto, condicionado a áreas com pouca vegetação presente ou, até mesmo, início de ciclo agrícola, o EVI pode ser influenciado pelo solo exposto, o que pode afetar diretamente em seus valores (Gao *et al.*, 2000).

A principal diferença entre os dois IEVs diz respeito a quantidade de bandas que eles usam para realizar o cálculo de reflectância dentro do espectro eletromagnético. O NDVI utiliza duas

bandas: a banda do vermelho, dentro do espectro visível; e do infravermelho próximo. O EVI, por sua vez, além de utilizar estas duas bandas, utiliza também a banda do azul, na região do visível.

Comparativamente, o NDVI é mais sensível à clorofila, enquanto o EVI responde (espectralmente) melhor na análise de fundo do dossel, juntamente com o Índice de Área Foliar (IAF), variações e alterações das copas e fisionomia das plantas (Latorre, Shimabukuro, Anderson, 2007). Nesse sentido, ambos os IEVs se complementam em estudos da vegetação e auxiliam na detecção de mudanças na dinâmica da vegetação. De acordo com Huete *et al.*, (2002), o objetivo essencial dos IEVs é isolar o indicativo verde dentro dos pixels mistos, produzido pela fotossíntese, para aferir comparações espaciais e temporais consideráveis, em relação à dinâmica da vegetação.

A extração dos IEVs, geralmente, é efetuada por meio de *softwares* de SIG e proporcionam a realização de estudos relacionados às condições da vegetação, em diferentes escalas, em relação à temporalidade e espacialidade, tendo como características: a geração de imagens para diminuir ou extinguir anomalias, como o aparecimento de nuvens; e especificar e restabelecer informações das alterações fenológicas (Latorre, Shimabukuro e Anderson; 2007).

Dessa forma, com a obtenção dos dados de IEVs, periodicamente, é possível que sejam feitas análises e/ou comparações sazonais e temporais nas transformações ocorridas no uso e cobertura da terra, sendo causadas de modo natural ou pela influência da ocupação do homem (Huete *et al.*, 2002). Também vale ressaltar que, para estudos que visem análises sazonais, a complementação de índices que avaliam a umidade presente na vegetação, como por exemplo: o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), que permite aferir maiores qualidades aos padrões de produtividade dos diferentes tipos de vegetação e que se destaca pela sua capacidade de identificar e mapear a presença de água em ambientes naturais (Gao, 1996).

Outro índice bastante utilizado em pesquisas que realizam análises ambientais é o *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), um índice criado para avaliar a saúde e a biomassa das plantas, sendo particularmente especial ao conteúdo de clorofila, tendo como principal características uma maior sensibilidade em relação ao NDVI quando se trata de medir a concentração de clorofila nas folhas (Gitelson *et al.*, 1996). Isso deve ao fato de que o GNDVI utiliza a banda verde, que é menos afetado pela saturação em comparação com a banda vermelha utilizada no NDVI.

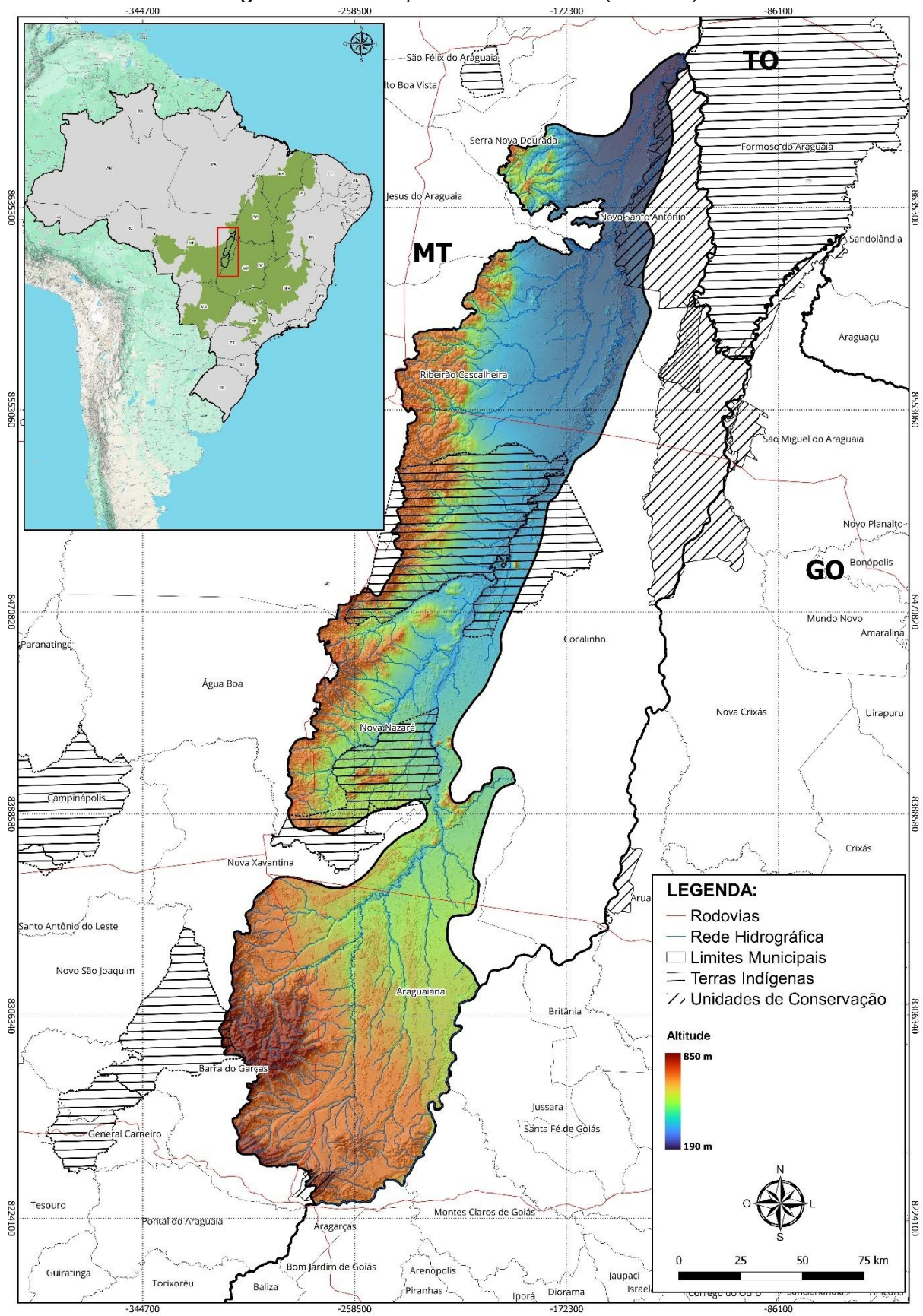
## **4. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO**

### **4.1 Localização da área em estudo**

A área de estudo consiste na sub-bacia do Baixo Rio das Mortes (BHBRM), localizada na mesorregião geográfica nordeste, também conhecida como vale do Araguaia, entre as coordenadas 11°38' e 15°39' latitudes sul e 47°20' e 51°07' longitude oeste de Greenwich, no estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 3). Trata-se de uma região de ecótono, pois está inserida na fronteira com o bioma Amazônico, com um alto índice de biodiversidade, localizada em uma das maiores planícies de inundação do território brasileiro.

Apresentando uma extensão territorial de aproximadamente 30.150 km<sup>2</sup>, a referida área em estudo se estende pelos municípios de Água Boa, Araguaiana, Barra do Garças, Bom Jesus do Araguaia, Canarana, Cocalinho, Nova Nazaré, Nova Xavantina, Novo Santo Antônio, Ribeirão Cascalheira, Serra Nova Dourada e São Félix do Araguaia. No contexto do estado de Mato Grosso, convém destacar que a BHBRM está inserida na Sub-Bacia de Nível 2 Rio das Mortes, sendo esta parte da Bacia Hidrográfica Araguaia-Tocantins (Brasil, 2014; Mato Grosso, 2019).

Figura 3 – Localização da área em estudo (BHBRM).



Fonte dos dados: IBGE, 2023; TOPODATA, 2024. Org.: SILVA, E. C. 2024.

## 4.2 Aspectos fisiográficos

A região da BHBRM é caracterizada por um mosaico de diferentes paisagens, que inclui áreas do Cerrado, florestas, savanas e pastagens naturais. O relevo da referida bacia hidrográfica varia de planícies a áreas mais elevadas, influenciando os cursos d'água que formam o complexo sistema hidrológico na região. Nos últimos anos, o avanço da agricultura e pecuária tem levado à fragmentação e à perda de cobertura vegetal natural, colocando desafios para a conservação ambiental e a gestão sustentável de seus recursos hídricos (Rocha *et al.*, 2023).

Sano *et al.* (2007) por meio da iniciativa de vários órgãos governamentais, realizaram o mapeamento da cobertura vegetal para toda área que abrange o Cerrado, classificando-as em duas classes: natural e antrópica. Desta forma, o mapeamento de referência das formações vegetais naturais que ocorrem na área de estudo mostrou predominância da cobertura vegetal natural associadas às Formações Savânicas e Florestais, respectivamente (IBGE, 2019).

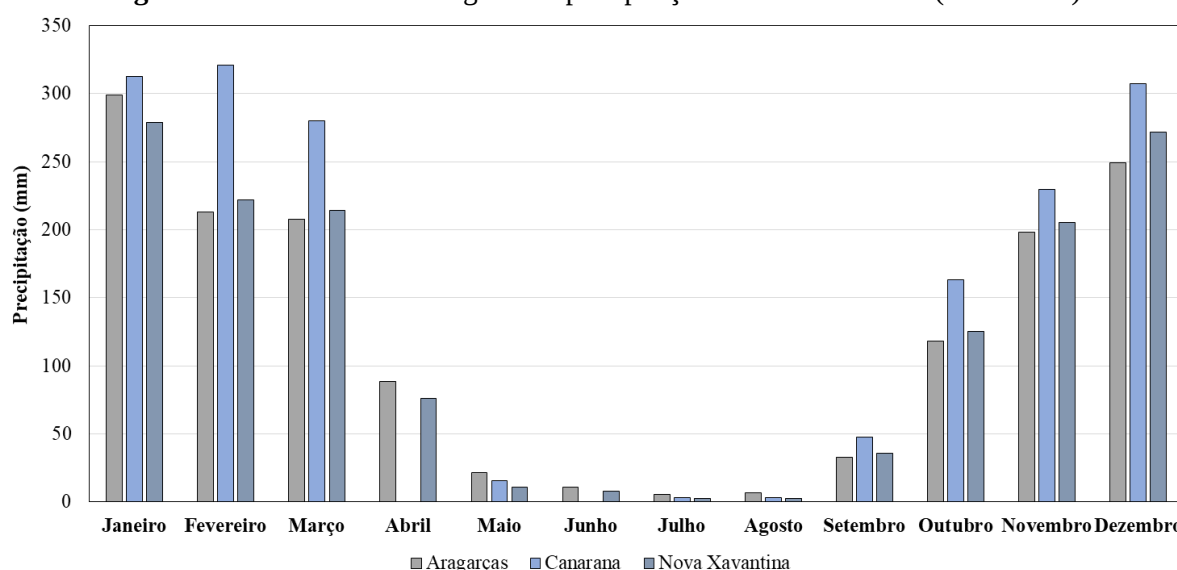
As altitudes do relevo da área de estudo variam entre 190 metros na parte norte-nordeste e podendo alcançar mais de 850 metros em picos localizados na parte sul. As classes de solos que fazem parte da BHBRM são: plintossolos háplicos, cambissolos háplicos, neossolos litólicos, argissolos vermelho-amarelos, gleissolos háplicos e neossolos quartzarênicos (Codevasf, 2023). Além desses, a diversidade de solos está relacionada a fatores como a geologia regional e o regime hidrológico, com maior concentração de solos arenosos nas áreas de planalto e solos argilosos em áreas de depressão.

A predominância de Formações Savânicas e Florestais no contexto regional, a saber, uma região de ecótono, possui relação direta com as interações do clima atuante, do relevo e dos solos (Ab'saber, 2003). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a BHBRM possui clima tropical (Aw), inverno seco (maio a outubro) e verão chuvoso (novembro a abril), com temperatura média de 23°C e precipitação variando em torno de 1500 mm no ano.

Na Figura 4 são apresentadas as normais climatológicas da variável precipitação acumulada, tendo em vista três municípios: Aragarças-GO, à montante da área em estudo, no extremo sul; Canarana-MT, na porção centro-oeste da área em estudo; e Nova Xavantina-MT, na porção centro-sul da área em estudo (1991-2020). No contexto regional, a área é caracterizada por um clima tropical continental, com uma estação chuvosa, entre outubro e abril, e outra seca, de maio a setembro. Tal sazonalidade é influenciada, principalmente, pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), um dos principais sistemas meteorológicos que impactam na dinâmica e distribuição das chuvas na região.

Como pode-se observar na Figura 4, as normais climatológicas de 1991-2020 para Aragarças-GO, Canarana-MT e Nova Xavantina-MT, revelam um padrão sazonal bem definido, com os meses de janeiro e fevereiro apresentando as maiores precipitações, ultrapassando 300 mm em Canarana. Em contraste, os meses secos ocorrem entre maio e agosto, com chuvas inferiores a 10 mm em todas as localidades. A partir de setembro, as precipitações voltam a aumentar, atingindo um pico entre novembro e dezembro, refletindo a influência do clima tropical, com uma estação chuvosa no verão e seca no inverno.

**Figura 4** – Normais climatológicas da precipitação na área em estudo (1991-2020).



Fonte dos dados: INMET, 2024. Org.: SILVA, E. C. 2024.

#### 4.3 Aspectos socioeconômicos e de ocupação

A região do Vale do Araguaia passou a ser povoada de maneira mais sistematizada e intensa em meados das décadas de 1940 e 1950, por meio do projeto do Governo Federal, mediante os Projetos de Integração Nacional, que visava adentrar áreas consideradas como “vazio geográfico” do interior do Brasil Central, estimulando a migração de pessoas, principalmente das regiões sul e sudeste (Oliveira, 2005; Garcia e Miceli, 2014).

Esse movimento de colonização foi auxiliado por meio de políticas de desenvolvimento regional implementadas para expansão do território brasileiro para além das regiões densamente povoadas do restante do país, convertendo o bioma Cerrado em áreas com vasto potencial para agropecuária (Inocêncio e Calaça, 2010).

O processo de colonização da região onde está inserida a BRBHM foi complexo e dinâmico, se desenvolvendo ao longo do tempo em um ambiente em uma série com diversas

mudanças econômicas, sociais e ambientais. Marcado por vastas extensões de cerrado, o leste de Mato Grosso também é caracterizado por uma rica biodiversidade, o que atraiu a atenção para a expansão agrícola e de pastagem (Bernardes e Arruzzo, 2009). Assim, tanto as políticas governamentais, quanto as migrações internas, têm sua influência profunda e impacto no desenvolvimento da região.

A partir da década de 70, a região do Vale do Araguaia experimentou uma profunda transformação, impulsionada por avanços científicos e tecnológicos, infraestrutura modernizada e os incentivos para o empreendedorismo no setor agrícola (Demambro, 2021). Outro fator determinante para a transformação da região foi a rodovia BR-158, além do aprimoramento das técnicas agrícolas que impulsionaram a produtividade, reconfigurando o cenário regional e estabelecendo a região como um polo agropecuário de destaque (Bolfe *et al.*, 2020).

A inserção da agricultura no Vale do Araguaia estabeleceu o alicerce para uma transformação intensa da região, especialmente no que se refere ao LULC e à progressão agrícola, que foi incentivada por projetos de ocupação territorial e levou a alteração de extensas áreas de Cerrado natural para desenvolvimento da agropecuária (Contini *et al.*, 2020). Dessa forma, com o avanço da fronteira agrícola, a atividade agrícola passou por um processo de modernização e intensificação que reconfigurou economicamente e espacialmente a região (Contini *et al.*, 2020).

Posteriormente, o modelo agrícola em que a região se consolidou, passou a ser a principal atividade econômica, tendo a cultura de grãos como a soja e o milho, fatores determinantes nesse processo (Soares, 2020). O Cerrado, com suas características edafoclimáticas, foi rapidamente adaptado para a produção de grãos em grande escala, com a expansão das áreas cultivadas possibilitada por meio das técnicas de mecanização, fertilização e controle de pragas, convertendo a região em uma produtora de *commodities* agrícolas com relevância nacional e internacional (Ferraz *et al.*, 2021).

Apesar de essencial para a produção de alimentos e movimentação econômica, o progresso da agricultura na região trouxe consigo um custo bastante danoso ao meio ambiente. A supressão da vegetação natural foi um dos impactos mais visíveis do avanço da agricultura, com grande parte do bioma na região perdendo espaço para as monoculturas, o que vem acarretando perdas de biodiversidade e alterações dos ecossistemas locais (Ferraz *et al.*, 2021).

Embora o processo de ocupação da região trouxe consigo avanços econômicos, também vale ressaltar que houve uma ampla série de consequências que prejudicam o meio ambiente e as comunidades tradicionais (Da Silva, 2019). Os povos nativos da região, como os Xavantes, foram gradativamente deslocados de suas terras; o desmatamento e degradação ambiental

provenientes das atividades agrícolas e pecuárias resultaram em perdas significativas de biodiversidade dos ecossistemas naturais (Mattos, 2019).

As consequências decorrentes do processo de apropriação do território em que vivem as comunidades tradicionais, reduziu vastamente a capacidade de manter as práticas culturais, levando à dependência de recursos externos e à vulnerabilidade de seus modos de vida (Costa e Barbosa, 2013). Dessa forma, a inserção forçada na sociedade resultou na introdução de doenças, alterações dos hábitos alimentares e consequência sociais que prejudicaram de forma significativa a saúde e o bem-estar dos povos tradicionais (Plens *et al.*, 2021).

A região do Vale do Araguaia, onde está localizada a BHBRM, é formada por vários municípios que possuem características sociais e econômicas heterogêneas, mas que apresentam em comum uma trajetória de crescimento relacionada à agropecuária e à ampliação das fronteiras agrícolas. Desse modo, no contexto em que o desenvolvimento foi se moldando em função dessas atividades, houve um aumento nas desigualdades sociais e econômicas desses municípios e entre eles (Silva *et al.*, 2016).

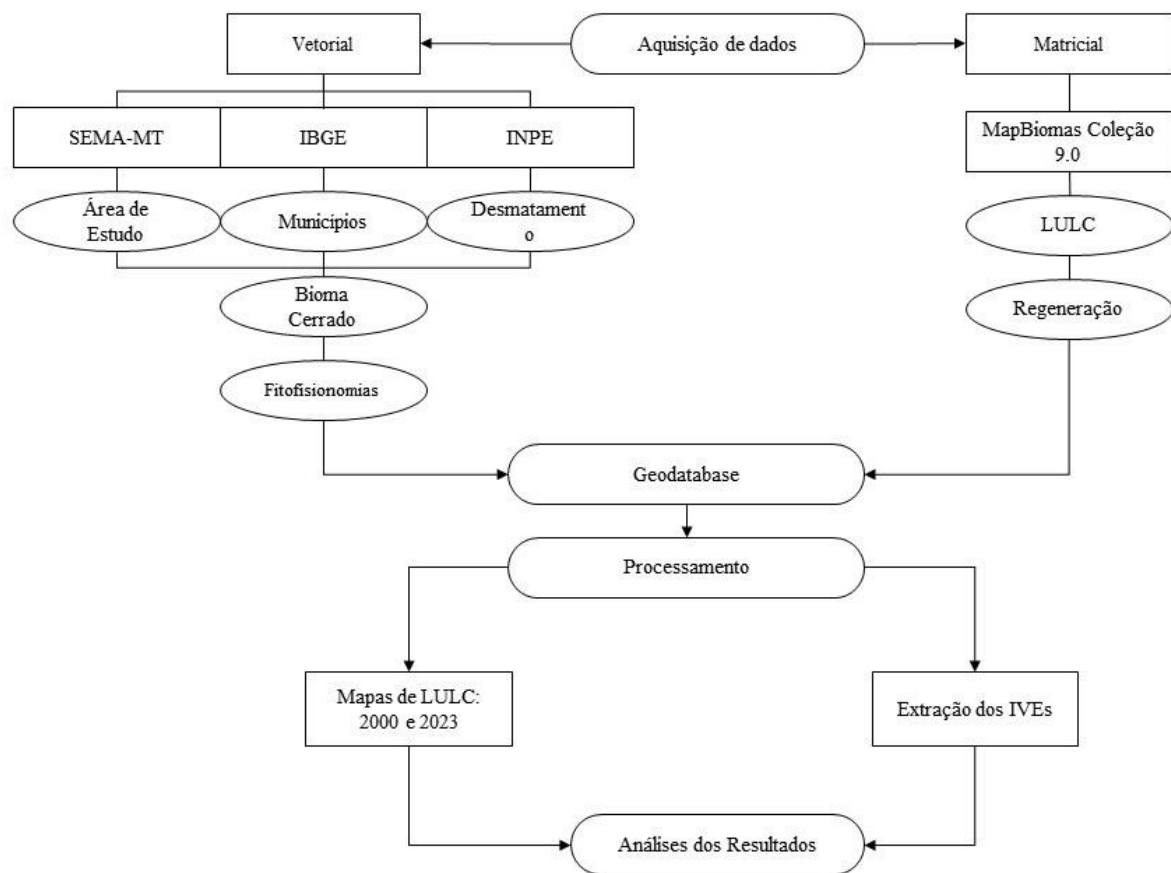
O censo demográfico de 2022 contabilizou 197.435 habitantes residentes nos 12 municípios que compõem a BHBRM, com o município de Barra do Garças sendo o mais habitado (69.210 habitantes) e o município de Serra Nova Dourada com a menor população (1.800 habitantes) (IBGE, 2022), o que mostra uma variação bem considerável entre as populações dos municípios da região.

A somatória do Produto Interno Bruto (PIB), levantamento realizado no ano de 2021, para os municípios que integram a BHBRM, ultrapassou a marca de 9,2 bilhões de reais (IBGE, 2022). Com destaque para os municípios de Barra do Garças e Nova Xavantina, onde a indústria possui uma contribuição significativa na composição do PIB, os setores que mais constituem participação no PIB estão relacionados à agropecuária e aos serviços.

## 5. MATERIAIS E MÉTODO

Nesta pesquisa, além de uma constante revisão bibliográfica, adotou-se uma abordagem qualitativa e quantitativa, com a criação de um banco de dados geográficos, a partir do qual foram coletados, armazenados, processados e analisados dados tabulares e geoespaciais (vetoriais e matriciais) fornecidos por diferentes instituições e organizações brasileiras. Especificamente, os dados foram adquiridos considerando o limite territorial da BHBRM. Objetivando sintetizar o percurso metodológico adotado neste trabalho, na Figura 4 apresenta-se um fluxograma do percurso metodológico.

**Figura 5 – Fluxograma Metodológico.**



Org.: SILVA, E. C. 2024.

### 5.1 Dados utilizados

Na presente pesquisa, foram utilizados dados espaciais e tabulares provenientes de diferentes fontes, conforme supracitado. Nesse sentido, foram utilizadas as malhas territoriais das Bacias Hidrográficas de Mato Grosso, disponibilizadas pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato

Grosso (SEMA-MT) (Mato Grosso, 2019). Os limites dos municípios Mato-grossenses, do bioma Cerrado e das formações vegetais naturais (Fitofisionomias), das unidades de conservação e terras indígenas, foram obtidos no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados de desmatamento foram retirados da plataforma TerraBrasilis, desenvolvida e operacionalizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que fornece os dados oficiais do desmatamento em todos os biomas brasileiros (Assis *et al*, 2019). Esses dados foram utilizados para consubstanciar a análise da permanência da vegetação secundária (2001-2023).

Os dados de LULC e de regeneração foram extraídos da coleção 9.0 do projeto MapBiomas (Souza Jr. *et al*. 2020), em formato matricial, para os anos 2000 e 2023. Vale ressaltar que o MapBiomas utiliza das imagens oriundas do satélite LandSat, no qual a resolução espacial das imagens é de 30 metros. As ferramentas utilizadas no âmbito deste trabalho foram, a plataforma de processamento em nuvem *Google Earth Engine*, o ambiente SIG QGIS, versão 3.28; e o Software R a partir do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) RStudio, um ambiente compatível para linguagem R e Python.

## 5.2 Mapeamento das tipologias vegetais da área em estudo

Inicialmente, este trabalho utilizou dados oficiais atinentes ao mapeamento de referência (1:250.000) da vegetação que ocorre nas diferentes fitofisionomias presentes na área de estudo. Especificamente, a partir do mapeamento e de referência das formações vegetais naturais disponibilizados pelo IBGE (2019), foi possível identificar a predominância de duas fitofisionomias: Formações Florestais e Formações Savânicas, caracterizadas por uma alta diversidade vegetal, característica marcante das zonas de contato (Ecótonos).

Tendo em vista serem os dados oficiais das formações vegetais naturais, os dados supracitados, disponibilizados pelo IBGE, também foram considerados para consubstanciar e melhor orientar a análise e compreensão das áreas de vegetação secundária, e que permaneceram como tal entre 2001 e 2023, obtidos no âmbito de um outro projeto de mapeamento anual da cobertura vegetal natural, o projeto MapBiomas (1:250.000).

Ambos os dados supracitados, foram acessados, baixados e incorporados ao banco de dados em ambiente SIG, mediante uso do *software* QGIS 3.22, sendo organizados para o sistema de coordenadas métricas. Especificamente, o sistema de coordenadas utilizado no banco de dados deste trabalho foi o sistema de coordenadas métricas, a partir da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22 Sul, e Datum de referência, Sirgas 2000.

A partir dos mapeamentos anuais da cobertura e do uso da terra, foi realizado o cálculo de área em km<sup>2</sup> para classe com intuito de verificar a espacialização desta dentro da área da BHBRM. Do total de área da bacia, as fitofisionomias de savana cobrem 70,4% (aproximadamente 21 mil km<sup>2</sup>), enquanto as fitofisionomias de floresta cobrem 28,5% (cerca de 8,5 mil km<sup>2</sup>). Os corpos hídricos representam 1,1 % (3 mil km<sup>2</sup>), com destaque para o rio Araguaia.

### 5.3 Mapeamentos da cobertura e uso da terra da área em estudo

As condições de cobertura e uso da terra, e suas transições no contexto da BHBRM, foram analisadas a partir dos dados referentes ao mapeamento do LULC realizado e disponibilizado pelo projeto MapBiomias, conforme supracitado. Especificamente, tendo como base os dados matriciais da coleção 9.0 do Mapbiomas, disponíveis para *download* direto pela plataforma do Mapbiomas ou por meio do *Google Earth Engine*, que foi o meio utilizado para este trabalho. Com objetivo de adquirir somente os dados para o recorte da BHBRM, foi feito o *upload* do *shapefile* da área de estudo para o *Google Earth Engine*; sendo incorporado ao *script* criado e disponibilizado pela equipe do Mapbiomas. Dessa forma, foram baixados os dados em formato matricial de LULC para os anos de 2000 e 2023, e posteriormente carregados e reclassificados no QGIS.

A primeira etapa, utilizando o ambiente GIS-QGIS, foi projetar as coordenadas dos dados de geográficas para coordenadas métricas do projeto (UTM-22-Sul), no intuito de se extrair informações quantitativas de áreas. Para análise dos mapeamentos de LULC da área, foi realizado uma reclassificação dos dados adquiridos, a fim de melhorar a diferenciação de áreas antrópicas e naturais, passando de 15 para 10 classes temáticas, como pode-se observar no Quadro 1. O critério adotado para tal reclassificação foi a máxima semelhança entre as respectivas classes, tendo em vista a sua descrição. Por exemplo, as semelhanças observadas entre as classes Campo Alagado e Área Pantanosa, Floresta Alagável e Formação Campestre.

**Quadro 1** – Descrição da reclassificação das classes temáticas do Mapbiomas.

| <b>Classes Mapbiomas</b>       | <b>ID</b> | <b>Classes reclassificadas</b> | <b>ID</b> |
|--------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| Formação Florestal             | 3         | Formação Florestal             | 3         |
| Formação Savânica              | 4         | Formação Savânica              | 4         |
| Silvicultura                   | 9         | Silvicultura                   | 9         |
| Campo Alagado e Área Pantanosa | 11        | Formação Campestre             | 11        |
| Floresta Alagável              | 6         |                                |           |
| Formação Campestre             | 12        |                                |           |
| Pastagem                       | 15        | Pastagem                       | 15        |
| Mosaico de Usos                | 21        | Outras Culturas                | 41        |
| Outras Lavouras Temporárias    | 41        |                                |           |
| Algodão                        | 62        |                                |           |
| Área Urbanizada                | 24        | Área Urbanizada                | 24        |
| Outras Áreas não Vegetadas     | 25        | Outras Áreas não Vegetadas     | 25        |
| Afloramento Rochoso            | 29        |                                |           |
| Rio, Lago e Oceano             | 33        | Rios e Lagos                   | 33        |
| Soja                           | 39        | Soja                           | 39        |

Fonte dos dados: MapBiomas (2023). Org.: SILVA, E. C. 2024.

A partir da reclassificação, com a utilização do QGIS, foram criados mapas temáticos de LULC, para os anos 2000 e 2023, e realizado o cálculo de área para cada classe em quilômetros quadrados (Km<sup>2</sup>). Após a criação dos *layouts* dos mapas, foi produzida a tabela descrevendo o quantitativo de área para cada classe, o percentual dentro da área total da BHBRM e a matriz de transição de áreas para cada classe, por meio da planilha eletrônica.

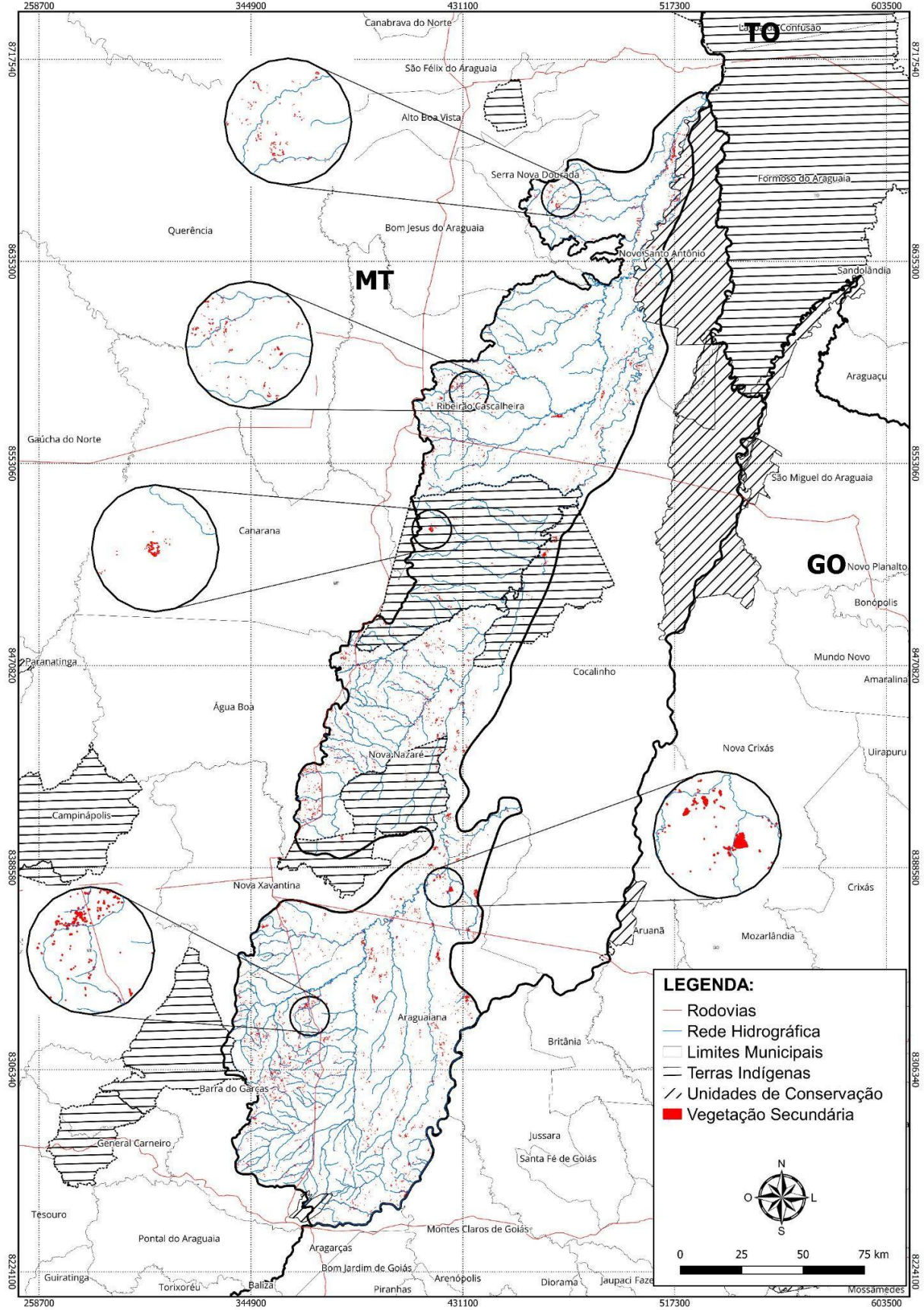
#### 5.4 Identificação de áreas com indícios do processo de regeneração da vegetação

As áreas mapeadas como Vegetação Secundária no ano 2001 e que permaneceram assim até o ano 2023, são representativas e trazem evidências do processo de regeneração da vegetação. Assim como os dados de LULC, os dados de regeneração foram baixados por meio do *Google Earth Engine*, do script desenvolvido pelo Mapbiomas, tendo em vista o recorte espacial da área em estudo. O processamento desses dados, com o objetivo de identificar e analisar as áreas em processo de regeneração, foi realizado mediante o uso de ambiente SIG, especificamente, a partir do QGIS.

A metodologia utilizada no projeto Mapbiomas para identificação de áreas em regeneração, consiste em analisar o LULC o antes e o depois, ou seja, o algoritmo identifica qual classe havia no ano anterior ao mapeamento e, também, avalia nos anos seguintes para aferir se houve alteração ou não (Souza Jr. *et al.* 2020). Dessa forma, as áreas em que houve a supressão da vegetação em um determinado ano e nos anos seguintes não houve utilização

antrópica, são classificadas como área de regeneração e se tornam áreas de vegetação secundária, evidenciando assim o processo de regeneração da vegetação (Figura 6).

Figura 6 – Vegetação de permanência da vegetação secundária (2001/2023).



Fonte dos dados: MapBiomas (2023). Org.: SILVA, E. C. 2024.

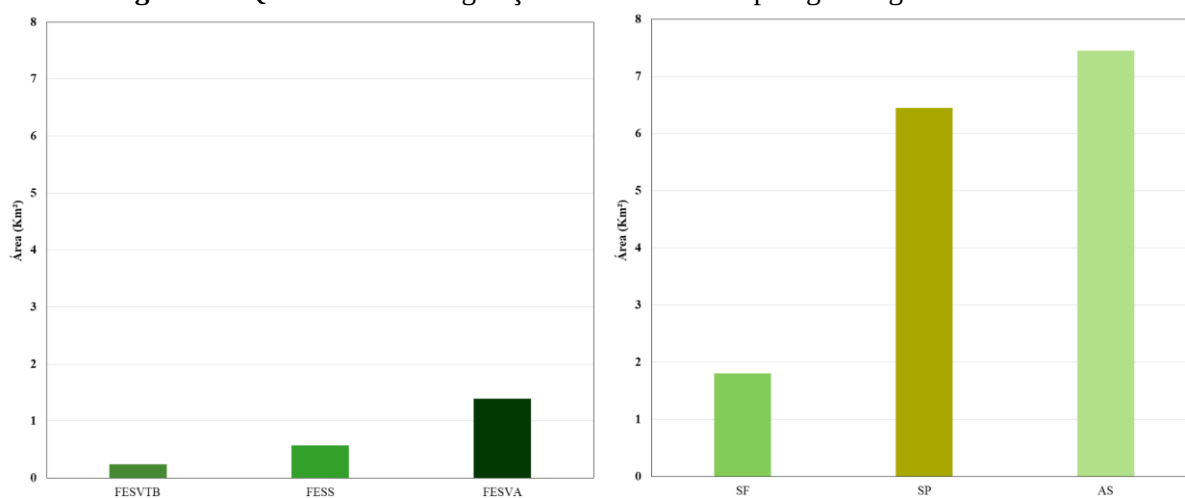
Com base na metodologia aplicada pelo Mapbiomas, os dados de regeneração para este estudo iniciaram-se pelo ano de 2001, levando em consideração que, o mapeamento para este ano seguiu como base a retirada da cobertura vegetal no ano anterior. Para a realização deste trabalho, foi necessário baixar, via *Google Earth Engine*, e avaliar no QGIS os dados de regeneração anualmente, de 2001 a 2023, visto que, para se fazer a análise temporal, foi preciso verificar se durante todo o período de estudo não houve alterações nas áreas mapeadas em regeneração no ano base, 2001. Portanto, as áreas selecionadas foram somente aquelas que não tiveram nenhuma alteração no decorrer do tempo de estudo (2001-2023).

A partir dos polígonos de vegetação secundária selecionados, os quais são representativos e evidenciam as áreas onde passou-se a ter o processo de regeneração (2001-2023), foi realizado a intersecção com os dados de desmatamento acumulado registrados entre os anos de 2000 até 2023, sendo estes os dados oficiais do desmatamento, gerados e disponibilizados pelo INPE, a fim de retirar sobreposições entre estes dados.

Após a filtragem realizada, foram divididas as áreas mapeadas que iniciaram o processo de regeneração em 2001 e permaneceram assim até 2023. Em seguida, realizou-se o processo de amostragem das áreas de vegetação secundária (2001-2023), considerando os maiores fragmentos para cada as duas principais fitofisionomia que ocorrem na área em estudo, a saber, as Formações Savânicas e as Formações Florestais; considerando as respectivas tipologias vegetacionais que ocorrem no interior das mesmas (IBGE, 2019).

Assim, nesta etapa, coletou-se 15 pontos para cada tipologia vegetacional. Especificamente, as amostras compreendem o ponto central (centróide) dos maiores fragmentos de vegetação secundária analisados, na intenção de eliminar os possíveis efeitos de bordas na aplicação dos IEVs. Sob esta perspectiva e a fim de evidenciar quão fragmentada é a vegetação secundária, na Figura 7 é apresentado o quantitativo de vegetação secundária nas tipologias vegetais amostradas em Formações Florestais, sendo subdivididas em: Floresta Estacional Semidecidual Submontana (FESS), Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial (FESVA), e Floresta Estacional Sempre Verde das Terras Baixas (FESVTB); e Formações Savânicas em: Savana Arborizada (SA), Savana Florestada (SF) e Savana Parque (SP).

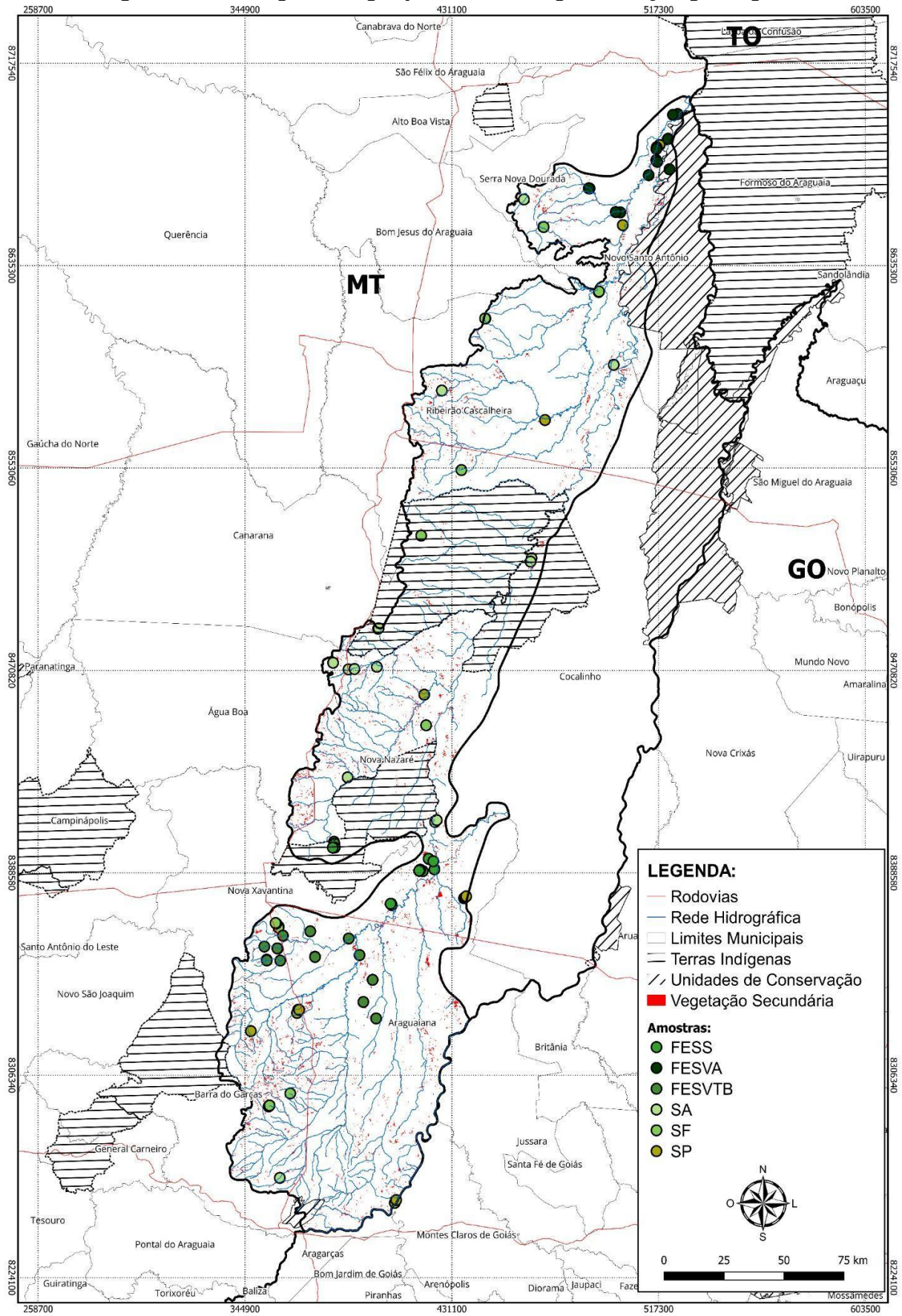
**Figura 7** – Quantitativo de vegetação secundária nas tipologias vegetais amostradas.



Fonte dos dados: IBGE (2019). Org.: SILVA, E. C. 2024.

Na Figura 8, a localização das respectivas amostras coletadas em cada ambiente é apresentada sobrepostas aos polígonos de vegetação secundária, considerando todo o processamento descrito acima. Assim, foram coletados 15 pontos amostrais em Formações Savânicas, considerando tipologias vegetacionais: AS, SF e SP. Nesse mesmo sentido, foram coletados 15 pontos amostrais nas tipologias vegetacionais de Formações Florestais: FESS, FESVA e FESVTB.

Figura 8 – Amostragem da vegetação secundária segundo as tipologias vegetais.



### 5.5 Extração das séries temporais dos Índices Espectrais de Vegetação (IEVs)

Esta etapa do trabalho foi realizada através da plataforma *google earth engine* – editor de códigos (<https://code.earthengine.google.com/>), que oferece uma infraestrutura robusta para a seleção e aquisição de grandes volumes de dados de sensoriamento remoto; e, posteriormente, para realização das análises desses dados, utilizou-se do *software* R. Deste modo, foi realizada a importação dos centróides das áreas com indicativos de regeneração, processados anteriormente, para dentro do projeto criado no *Google Earth Engine*. Assim, a partir deste procedimento, criou-se um *script* para extração dos índices (Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/3dc39df98875580e9022226bff186983>).

Para a extração dos índices, utilizou-se das imagens dos satélites *Landsat* 5, 7 e 8, que possui uma resolução espacial de 30 metros e uma frequência de revisita de 16 dias, aplicando os filtros de remoção de nuvens e das datas referente ao estudo. Para a visualização, criaram-se gráficos da assinatura espectral para os índices NDVI e EVI a partir das médias para os meses mais úmidos e mais secos.

Em relação ao monitoramento da fenologia da vegetação, criaram-se gráficos de caixas com as médias mensais para o período em estudo. nesta etapa foram inseridos outros dois índices para avaliar o padrão do comportamento vegetativo, sendo o GNDVI e o NDWI.

As fórmulas para aquisição dos índices estão descritas na sequência: NDVI (1); EVI (2); GNDVI (3); e NDWI (4).

(1)

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

Sendo:

$\rho_{NIR}$  = Reflectância de superfície na banda do Infravermelho próximo.

$\rho_{Red}$  = Reflectância de superfície na banda do vermelho.

(2)

$$EVI = G * \frac{(p_{NIR} - p_{RED})}{(p_{NIR} + C1 + p_{RED} - C2 * p_{Blue} + L)} * (1 + L)$$

Onde:

$p_{NIR}$  = reflectância da banda infravermelha próxima;

$p_{RED}$  = reflectância da banda vermelha;

$p_{BLUE}$  = reflectância da banda azul;

C1 e C2 = coeficientes para ajuste das resistências dos efeitos dos aerossóis da atmosfera;  
 L = coeficiente que corrige a influência do solo;

$$(3)$$

$$GNDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Green})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Green})}$$

Onde:

$\rho_{Green}$  = da banda verde;

$\rho_{NIR}$  = reflectância da banda infravermelha próxima;

$$(4)$$

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

$\rho_{NIR}$  = reflectância da banda infravermelha próxima;

$\rho_{SWIR}$  = banda do infravermelho de ondas curtas

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Mapeamento da cobertura e uso da terra do ano 2000

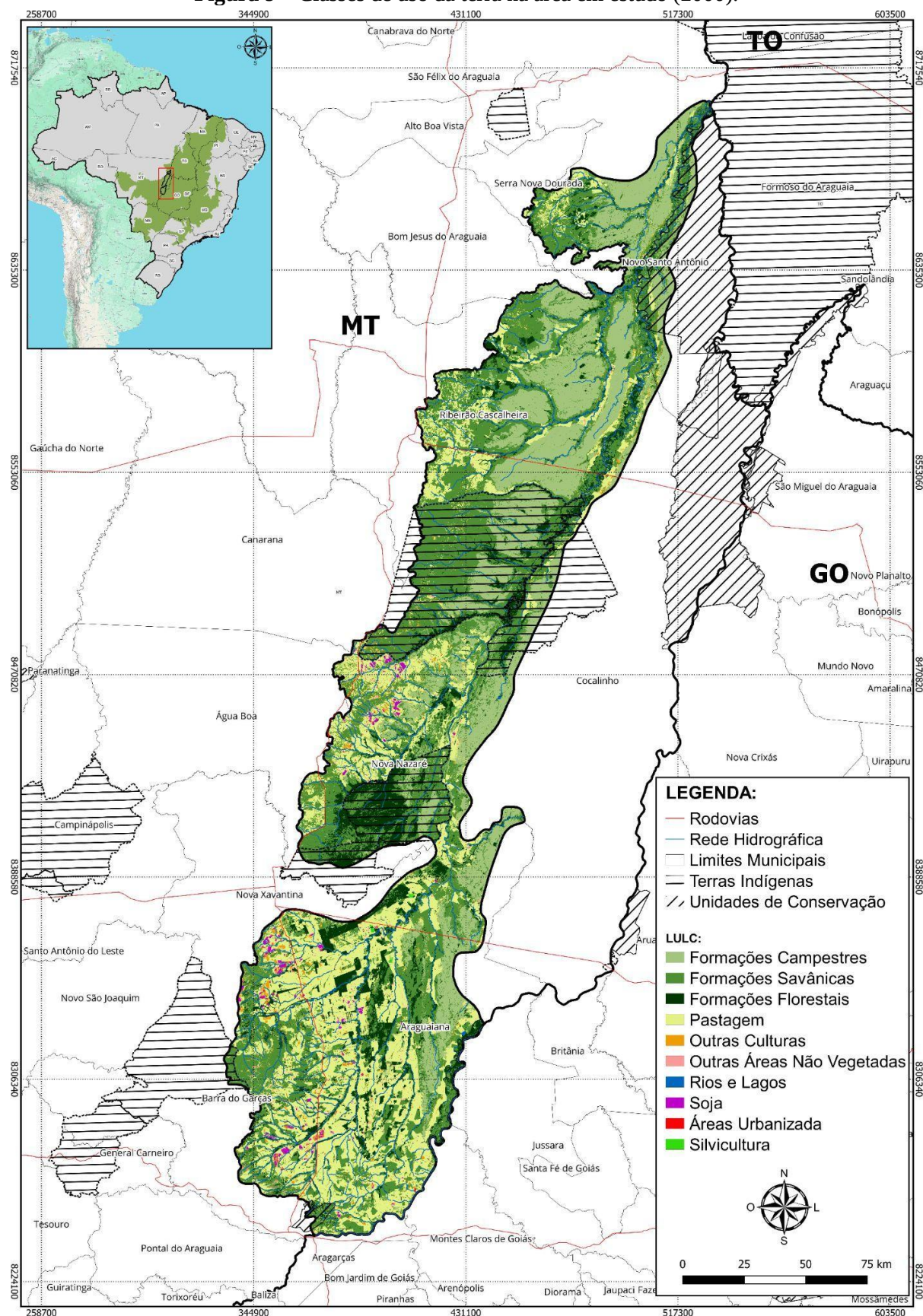
A partir dos recursos disponíveis no MapBiomas, foi possível identificar quinze classes de usos da terra e cobertura vegetal, posteriormente ajustadas para dez classes (Figura 9), sendo seis delas relacionadas a atividades humanas e apenas quatro correspondentes aos sistemas naturais. Nesse sentido, serão utilizados os acrônimos "FF", "FS", "SL", "FC", "PS", "AU", "AN", "RL", "SJ" e "OC" para representar as classes: Formações Florestais, Formações Savânicas, Silvicultura, Formações Campestres, Pastagem, Área Urbanizada, Outras Áreas Não Vegetadas, Rios e Lagos, Soja e Outras Culturas, respectivamente.

A análise visual do mapeamento de LULC para o ano de 2000, indica que o processo de desmatamento e a mudanças de áreas naturais para uso antrópico, foram mais ocorrentes ao sul da BHBRM, nos municípios de Araguaiana, Barra do Garças e Nova Xavantina, com destaque evidente para a classe PS. Por outro lado, regiões da bacia localizadas na parte central e norte, mostram áreas com forte presença de vegetação natural, com as classes FF, FS e FC. Cabe ressaltar que na área da bacia há demarcações de territórios indígenas e unidades de conservação, o que tende a promover uma barreira natural contra o avanço do desmatamento (Asner *et al.*, 2005), um forte indicativo da maior preservação nessas áreas.

As classes FF, FS e FC na BHBRM, representam as principais espécies de vegetação natural do bioma Cerrado, cada uma com suas características ecológicas bem diversificadas. A FF é composta por formação do dossel contínuo ou não, com predomínio de espécies arbóreas; a classe FS é composta pela presença de áreas com vegetação arbustiva espalhadas a partir do estrato graminoso e sem conter dossel de formação contínua; e a FC conta com a presença de espécies herbáceas e arbustivas, mas sem contar com a presença de árvores de grande porte em sua paisagem (Ribeiro; Walter, 1998). Nesse sentido, também é composta por muitas espécies de porte arbóreo com baixa a moderada disponibilidade de material lenhoso.

Sano *et al.*, (2007), em seu trabalho que tinha como objetivo realizar o mapeamento da cobertura vegetal para o bioma Cerrado, avaliou que as porções mais ao norte do bioma ainda continham altos índices de preservação devido às dificuldades de acesso e pelo distanciamento dos grandes centros consumidores, diferentemente de áreas localizadas mais ao sul. No entanto, cabe salientar que a região onde predominam estas formações naturais, também está passando por pressões a partir de atividades humanas, como a pecuária extensiva, o turismo de forma desenfreada e o avanço do processo de desmatamento (Marimon; Lima, 2001).

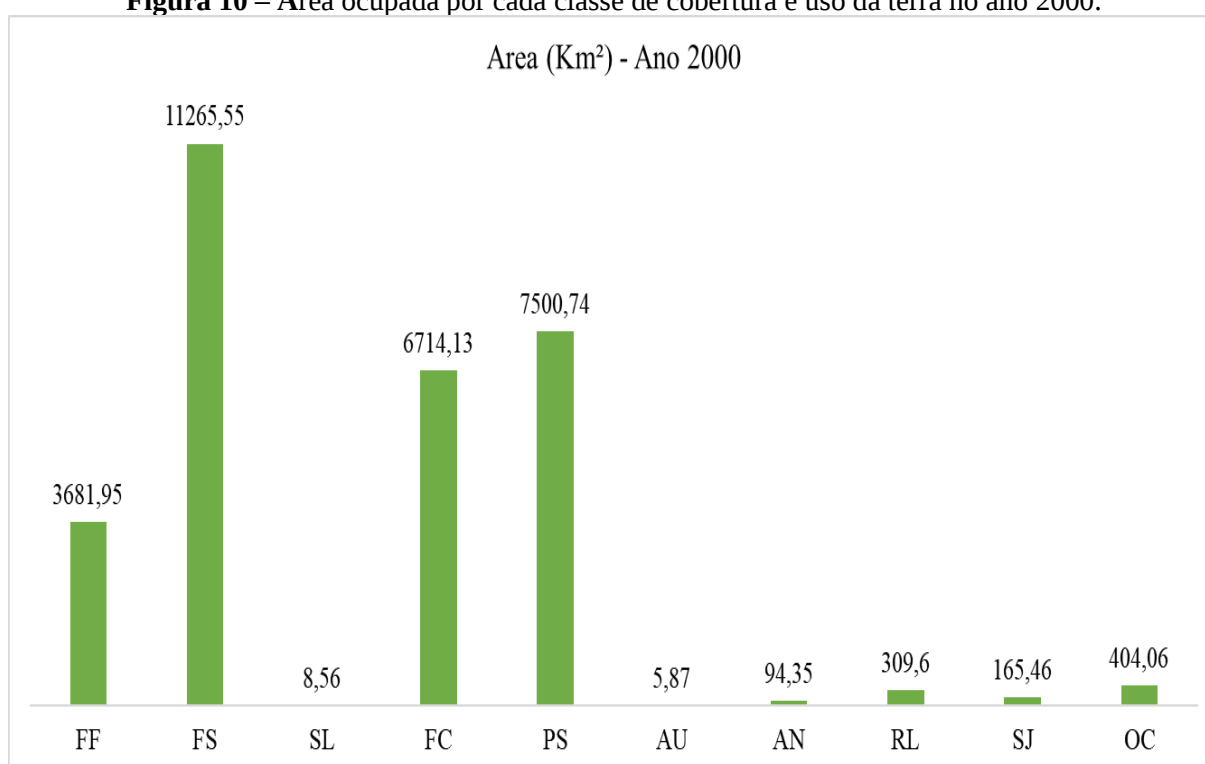
**Figura 9** – Classes de uso da terra na área em estudo (2000).



Fonte dos dados: MapBiomass (2023); DNIT (2023); MAA (2023); IBGE (2023).  
Org.: SILVA, E. C. 2024.

Com base na Figura 10, as classes de uso antrópico ocupam 27,13% (8.179 km<sup>2</sup>), e, as classes de vegetação natural, 72,87% (21.971 km<sup>2</sup>), do total da área da bacia. Dentre as classes resultantes das atividades humanas, a classe de PS representava o maior percentual, com 24,88% (7.501 km<sup>2</sup>); enquanto o somatório das outras classes: SL, AU, AN, SJ e OU, marcava 2,25 % (cerca de 678,3 km<sup>2</sup>). Em relação às áreas de cobertura vegetal natural, a classe de FS ocupava 37,36% (11.265 km<sup>2</sup>), mais que  $\frac{1}{3}$  do total de área da bacia, ao mesmo tempo que, as classes de FC, FF e RL, representavam o restante de áreas naturais presentes na BHBRM, apresentando 22,27% (6.714 km<sup>2</sup>), 12,21% (3.682 km<sup>2</sup>) e 1% (309 km<sup>2</sup>), respectivamente.

**Figura 10** – Área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra no ano 2000.



Fonte dos dados: MapBiomias, 2023. Org.: SILVA, E. C., 2024.

Ao observar os dados do censo agropecuário para os anos anteriores ao mapeamento, em todos os municípios que possuem seu território na BHBRM, mesmo que em partes, fica evidente a intrínseca relação com as extensas áreas de PS, tendo a atividade de pecuária como principal componente do produto interno (IBGE, 1995; IBGE, 2022), visto que o modelo mais comum para época era, e permanece ainda, voltado para pecuária extensiva, utilizando de uma vasta área para criação de bovinos. Até o ano de 2002, Brannstrom *et al.* (2008), observaram que em partes da região leste do estado de Mato Grosso, em regiões que abrangem além dos limites da BHBRM, o bioma Cerrado já havia sido convertido em mais de 40% da sua cobertura

vegetal para produção agro-pastoral, ou seja, pastagem para gado, o que demonstra convergência em relação a bacia deste estudo.

Vale reforçar que estes fatores podem estar relacionados com a intensa mudança na cobertura vegetal natural sofrida na bacia hidrográfica do Alto Rio das Mortes, que complementa a área de estudo, onde até o ano de 2005, já havia registrado mais de 62% de áreas voltadas para produção agropecuária (Grecchi *et al.*, 2011; Grecchi *et al.*, 2013). Assim, ao analisar a distribuição das classes antrópicas na BHBRM, é possível identificar que estas áreas estão localizadas geograficamente na porção centro-sul, principalmente, nos três municípios: Água Boa, Barra do Garças e Nova Xavantina, regiões limítrofes com a bacia do alto rio das mortes.

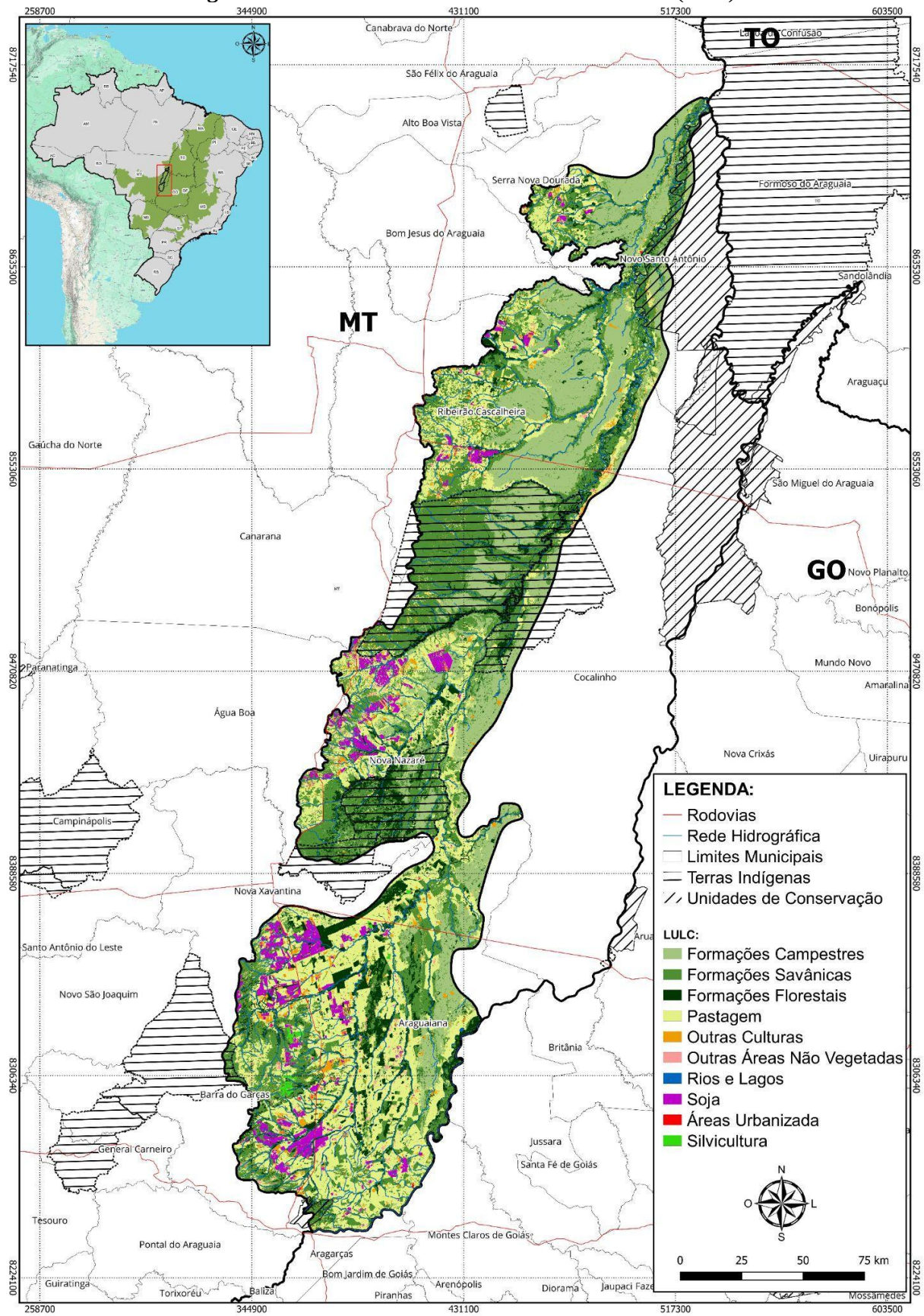
No que se refere às classes relacionadas à produção agrícola, SJ e OC, o mapeamento evidenciou a pouca participação em relação ao total de área da BHBRM, distribuídas nas zonas central e sul. Apesar da soja ser cultivada desde a década de 70 no estado de Mato Grosso, a baixa presença desse produto agrícola para o ano de 2000, na BHBRM, tem forte ligação com a colonização da região, que no início teve outras culturas como produto principal nas plantações, a exemplo o arroz (Brannstrom *et al.*, 2008; Jepson *et al.*, 2006; Jepson *et al.*, 2009;). Outra condição importante relacionada diretamente às áreas de produção agrícola é a proximidade com as rodovias, bem destacado na Figura 9, corroborando com Trevor *et al.*, (2022) ao avaliarem o distanciamento dos desmatamentos em relação às rodovias.

## 6.2 Mapeamento da cobertura e uso da terra no ano de 2023

Da mesma forma que foi avaliado o LULC em 2000, com base nos dados do MapBiomas, foi possível identificar quinze classes de LULC presentes na área de estudo, posteriormente reclassificadas para dez (Figura 11) em 2023, sendo seis delas relacionadas a atividades humanas e apenas seis correspondentes aos sistemas naturais. Dentre essas, as classes mapeadas como naturais são: FF, FS, FC e RL, enquanto as demais SL, PS, AU, AN, SJ e OC, apresentam áreas com indicativos de uso antrópico.

O mapa reflete as alterações significativas na paisagem decorrentes ao longo dos anos, notabilizando os impactos de forma contínua em relação às atividades antrópicas tanto sobre o bioma em geral, quanto para a área de estudo, em destaque a expansão da produção agrícola em detrimento das áreas de vegetação natural e pastagem. É possível identificar os municípios com maior participação de suas áreas convertidas para produção agrícola e pecuária.

**Figura 11 – Classes de uso da terra na área em estudo (2023).**



Fonte dos dados: MapBiomas (2023); DNIT (2023); MAA (2023); IBGE (2023).  
Org.: SILVA, E. C. 2024.

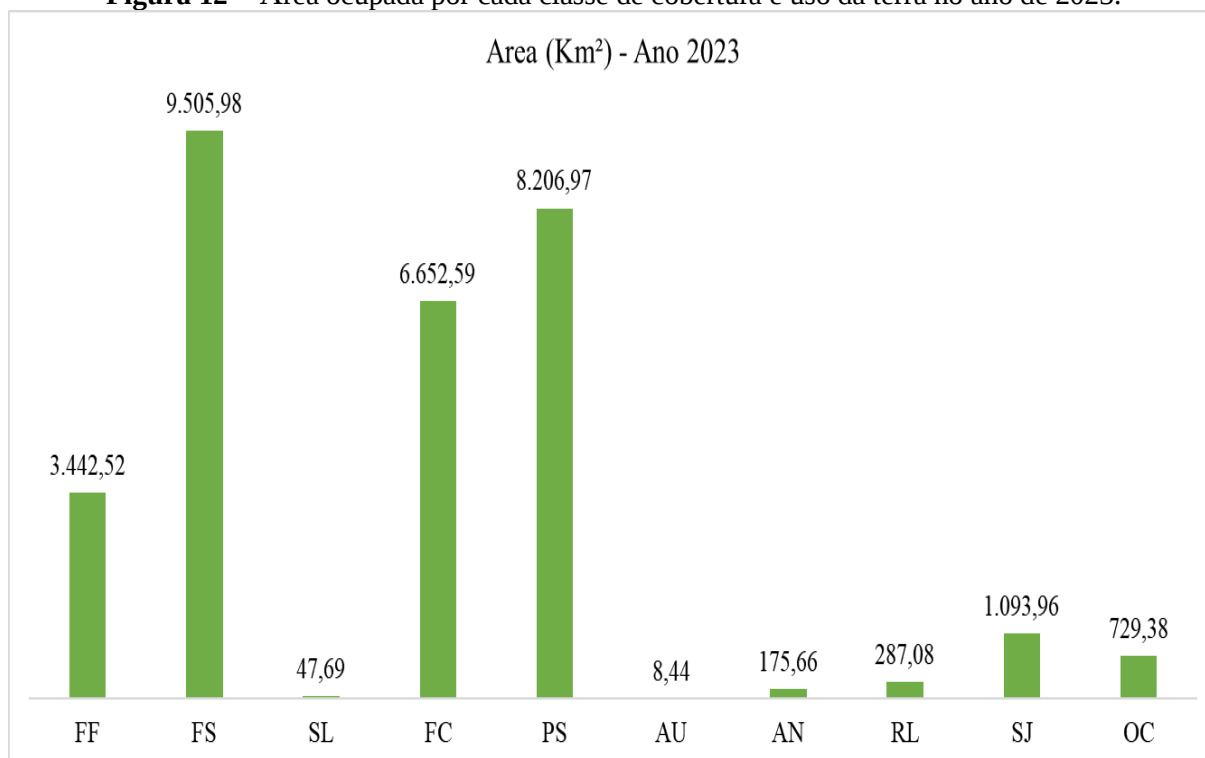
Apesar do aumento das classes SJ e OC, os municípios de Barra do Garças e Nova Xavantina ainda são ocupados, predominantemente, por áreas de PS, atividade determinante para a economia destes municípios (IBGE, 2022). O mapa do ano de 2023 apresenta uma maior quantidade de áreas de SJ, em todas as porções da BHBRM, visto desde os municípios da parte sul, central e norte.

Analisando o avanço do desmatamento no bioma Cerrado em proveito destas áreas para produção de soja, Rausch *et al.* (2019), relatam que é um fenômeno preocupante que atinge tanto o meio ambiente quanto os habitantes locais, a exemplo das comunidades tradicionais. Cabe salientar que, para todo o bioma Cerrado, grande parte da produção de SJ não está diretamente relacionada logo após a supressão da vegetação natural, sendo o caminho mais comum a conversão da classe de PS para SJ (Carneiro Filho; Costa, 2016).

Analisando o uso e ocupação da terra em áreas de fronteiras com os territórios indígenas na região sudeste do estado de Mato Grosso, com porções sobrepostas a BHBRM, Motta Junior *et al.* (2023) observaram que estas áreas estão cercadas pela atividade agropecuária, contando com pouca cobertura vegetal natural e remanescentes florestais, o que faz com que essas comunidades tradicionais passem a ficar isoladas. Ao avaliar a transição de classes de LULC nos municípios localizados na parte sul da BHBRM, entre 1998 e 2020, foi possível perceber que houve um avanço significativo das áreas de produção agrícola em detrimento de áreas de PS (Mota Junior *et al.*, 2020), corroborando com os dados obtidos nesta pesquisa.

O mapeamento indica que as FF ocupam uma área de 3.442,5 km<sup>2</sup>, que corresponde a 11,42% do total. A ocupação destinada às FS é a mais extensas para a BHBRM, com 9.506 km<sup>2</sup>, ou 31,53% da área total. As FC somam 6.652 km<sup>2</sup>, que representam 22,06%, enquanto a classe destinada aos corpos hídricos RL abrange 287 km<sup>2</sup>, ou cerca de 0,95% de toda a área. Assim, somando todas as classes de cobertura natural, o total é de 19.987 km<sup>2</sup>, o que equivale a aproximadamente 65,96% da BHBRM. Ao contrário, as classes antropizadas, que incluem SL, PS, AU, AN, SJ e OC, ocupam uma área de aproximadamente 10.262 km<sup>2</sup> para toda BHBRM.

A PS abrange 8.207 km<sup>2</sup>, representando 27,22% do total, enquanto as AU ocupam apenas 8 km<sup>2</sup> (0,03%). A classe AN soma 175 km<sup>2</sup> (0,58%), e as áreas destinadas ao cultivo de SJ e OC, 1.094 km<sup>2</sup> (3,63%) e 729 km<sup>2</sup> (2,42%), respectivamente. É importante considerar que a soja é uma das principais culturas produzidas no contexto regional, e que nos últimos anos ela vem sendo incorporada, paulatinamente, a áreas de pastagens degradadas e mesmo de outras culturas temporárias.

**Figura 12** – Área ocupada por cada classe de cobertura e uso da terra no ano de 2023.

Fonte dos dados: MapBiomias, 2023. Org.: SILVA, E. C., 2024.

Ao observar a classe SJ no ano de 2023, é perceptível a importância que esta tem sobre a área de estudo. Nesse sentido, é um fenômeno conhecido quando nos referimos sobre a transição de uma vegetação natural para pastagem e, posteriormente, esta ser convertida para a agricultura. A partir de meados dos anos 2000, em diversas regiões do bioma Cerrado, os municípios iniciaram a transição dos diferentes tipos de LULC, onde a pecuária havia sido introduzida anteriormente e passa a ser substituída pela atividade agrícola (Vale, 2017; Bayer *et al.*, 2020). Estas transformações decorrentes sinalizam um novo modelo de desenvolvimento regional, distanciando-se da hegemonia que envolve toda a produção nas áreas de PS, o que indica aprimoramento do uso da terra e remodelagem da paisagem (Soares, 2020).

### 6.3 Mudanças na cobertura e no uso da terra entre o ano 2000 e 2023

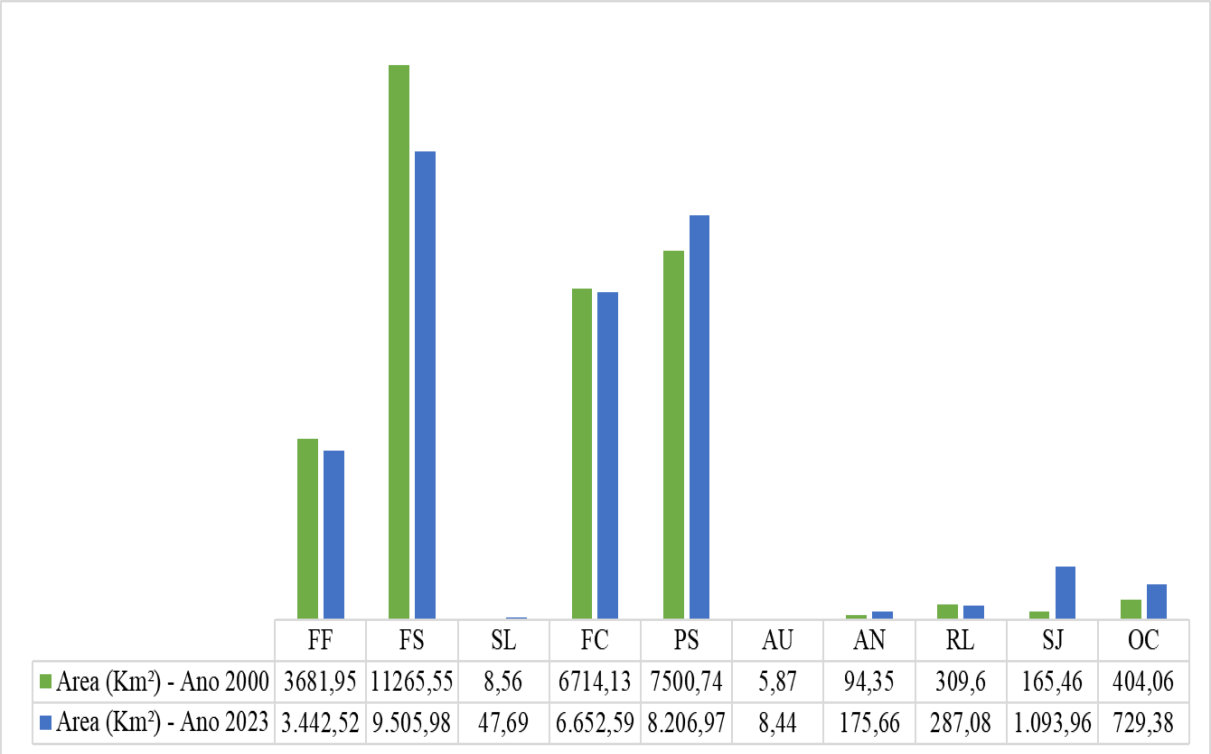
A análise dos mapas de 2000 a 2023 demonstram uma marcante transição de áreas em estado natural para uso antrópico voltados, principalmente, para pecuária e agricultura. As classes FS e FF, que ocupavam, respectivamente, 37,36% e 12,21% do total da BHBRM em 2000, sofreram uma redução significativa, chegando a 31,53% e 11,42% em 2023. Essa diminuição de áreas naturais tem relação direta com o avanço da fronteira agrícola que o bioma

Cerrado vem sofrendo ao longo dos anos, interferindo na biodiversidade e riqueza ambiental da região (Azevedo *et al.*, 2021).

Esse processo de conversão das áreas naturais está fortemente ligado à transição dessas classes para PS e agricultura intensiva, particularmente ligada ao cultivo da SJ. O aumento nas áreas de PS foi de 24,88% para 27,22%, ou seja, um ganho de 2,34% (706 km<sup>2</sup>), enquanto, para a produção de SJ, obteve ganho impressionante de 3,08%, ou cerca de 928km<sup>2</sup>, indo de 0,55% em 2000 para 3,63% em 2023. No entanto, a transição de áreas para o uso agrícola não se limita somente à SJ.

Pode-se perceber um crescimento expressivo nas classes relacionadas às OC, cuja área aumentou de 1,34% (404km<sup>2</sup>) em 2000 para 2,42% (729km<sup>2</sup>) em 2023, o que destaca a característica de diversificação das atividades agrícolas no Cerrado. A transição do LULC no período de 2000 a 2023, destacou um padrão de intensificação das atividades agrícolas e pecuária em detrimento das áreas com predominância de vegetação natural.

**Figura 13** –Área total (km<sup>2</sup>) das classes de uso da terra.



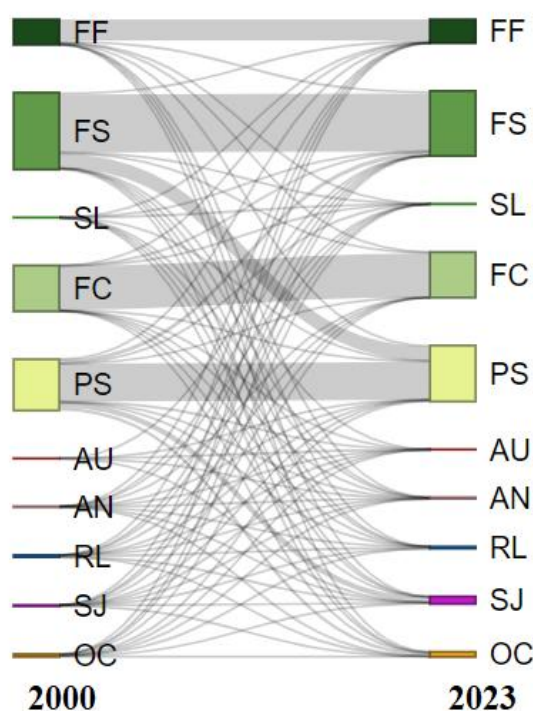
Fonte dos dados: MapBiomass, 2023. Org.: SILVA, E. C., 2024.

De acordo com Nepstad *et al.* (2014) fatores determinantes para redução das áreas de vegetação natural estão relacionados às demandas oriundas do mercado interno, o que fez aumentar a atividade agropecuária, como produção de grão e carne, ganhar imensas proporções ao se avaliar os últimos anos. Outro fator que foi decisivo para que o estado de Mato Grosso

tenha reduzido suas áreas de formações naturais, foi o aumento das exportações dos produtos oriundos das atividades agropecuárias, as *commodities*, para o mercado externo (Acioly *et al.*, 2011). Entretanto, esse avanço tanto das PS quanto das atividades agrícolas no bioma Cerrado, não estão desassociados das consequências relacionadas às questões socioambientais. Esse crescimento de forma descontrolada pode afetar diretamente a biodiversidade, problemas relacionados à degradação do solo e dos recursos hídricos (Levy *et al.*, 2024).

A Figura 14 ilustra o fluxo de transição entre as classes de LULC, para os anos de 2000 e 2023, que revela uma forte tendência de conversão de áreas naturais para os usos agropecuários. A classe de FS é a que mais se destaca ao observar o gráfico, variando bastante para classe de PS e para as outras classes de uso antrópico, enquanto a classe de PS mostra maior fluxo para as áreas de produção agrícola, como SJ e OC. Esse fenômeno é bastante comum, como discutido anteriormente, em que áreas de PS são as que mais sofrem conversão para o uso da agricultura. E, particularmente, na região que está inserida a BHBRM, onde áreas de PS foram sendo convertidas proporcionalmente ao aumento das áreas de agricultura (Mota Junior *et al.*, 2020).

**Figura 14** –Transições das classes de uso da terra entre os períodos de 2000 a 2023.



Fonte dos dados: MapBiomass, 2023. Org.: SILVA, E. C., 2024.

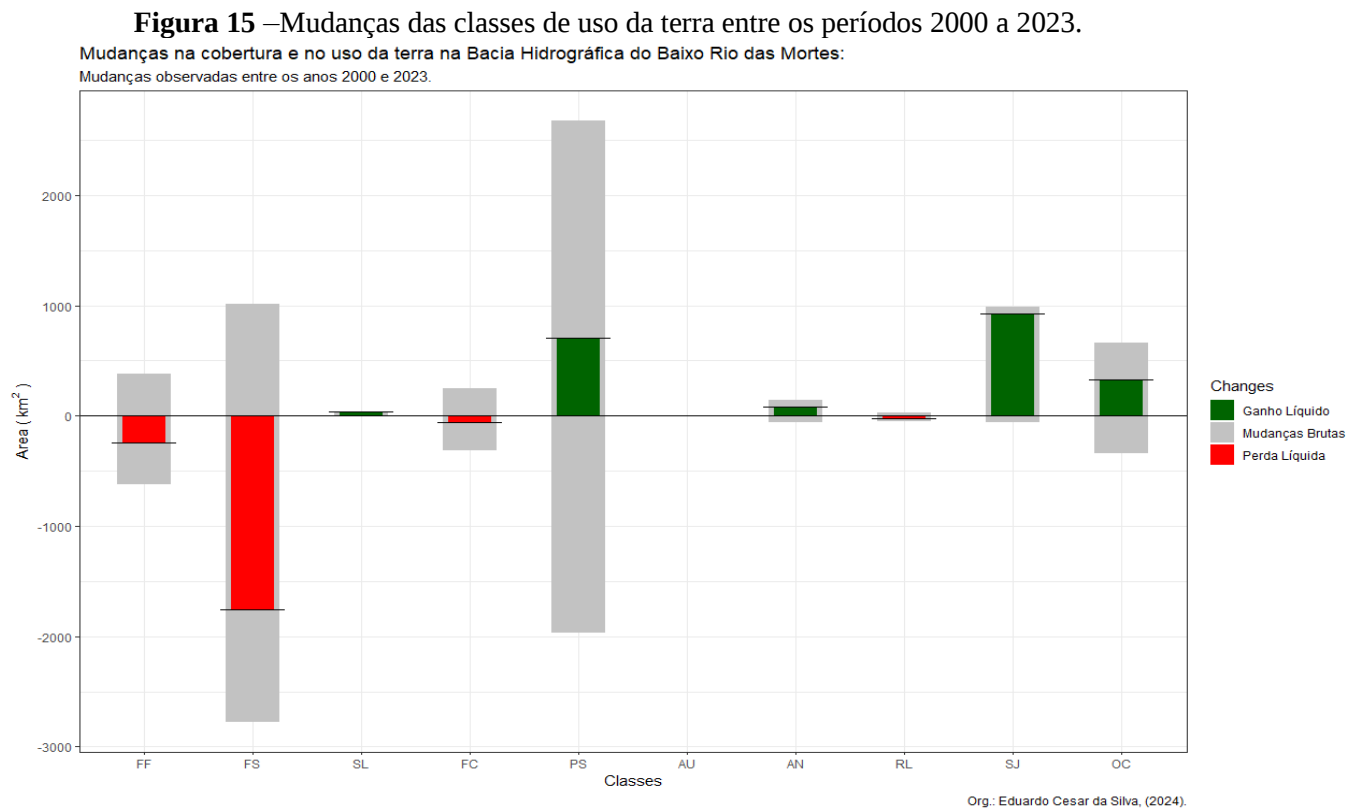
Ao passo que foi aumentando a lucratividade com a produção de SJ, vale ressaltar que, isso também ocasionou no aumento do valor da terra, fazendo com que mais áreas de PS fossem convertidas para agricultura (Cattaneo, 2008). Mediante o crescimento da produção agrícola, havia um indicativo, baseado na lucratividade, de que produtores de gado, contando com suas experiências em aberturas de novas terras, pudessem migrar para outras regiões e continuassem a desmatar (Nepstad *et al.*, 2006), dado que, mesmo não sendo de fácil mensuração, pode-se evidenciar a forte relação entre eles (Nepstad *et al.*, 2008). Desse modo, o aumento da lucratividade está relacionado não só ao aumento da rentabilidade, mas também à expansão de áreas destinadas à SJ, principalmente a áreas já desmatadas anteriormente (Macedo *et al.*, 2012).

Apesar de haver uma perda de vegetação natural nos 23 anos de pesquisa, conforme indica o fluxo de transição, também vale ressaltar que é possível constatar uma tendência, mesmo com menos destaque, do processo de regeneração da cobertura natural, como já alertava Jepson *et al.*, (2010), além de ser um fenômeno com pouco estudos, tendo o primeiro mapeamento somente no ano de 2018, pelo ministério do meio ambiente (Sampaio *et al.*, 2018). Esse processo de regeneração natural sugere que houve uma retenção, mesmo que parcial, dos impactos da expansão agropecuária que ocorreram nos anos analisados, e apresenta a possibilidade de recuperação de áreas desgastadas ambientalmente e aumentar a resiliência de regiões que sofreram com a perda de vegetação nativa em decorrência do desmatamento.

Ademais, esse indicativo do processo de regeneração dessas áreas contribui para a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais, como a mitigação de carbono, melhoria na qualidade do solo, dentre outros. Entretanto, mesmo com sinais de ganhos de vegetação natural, vale ressaltar que as pressões antrópicas sobre o bioma Cerrado, especialmente associadas à agricultura, continuam significativas. Esse avanço do desmatamento em larga escala sobre o Cerrado é retrato do descaso relacionado a políticas públicas que visem a conservação, citando o código florestal brasileiro, que concede o uso de áreas do bioma para agricultura entre 65% a 80% da propriedade, a depender da tipologia vegetacional de Cerrado. A efeito comparativo, o bioma Amazônico possibilita a produção agrícola em até 20% da propriedade e contém 46% do território e áreas protegidas, enquanto o Cerrado registra apenas 8% (Rausch *et al.*, 2019; Reis *et al.*, 2024).

Dentro dessa perspectiva, a Figura 15 realça a dinâmica atinentes às classes de LULC entre os anos 2000 e 2023, referente às alterações gerais e aos ganhos e perdas de área líquida para cada classe avaliada. Esse tipo de análise permite mensurar o quanto de cada classe foi convertida para outros tipos de cobertura e, também, o saldo restante após essas variações. Em relação às mudanças brutas, o gráfico aponta que em todas as classes houve alterações, especialmente a PS, onde obteve uma redução de quase 2 mil km<sup>2</sup> e ganho de mais de 2,6 mil

km<sup>2</sup>, resultando em um saldo líquido de aproximadamente 600 km<sup>2</sup>. Quanto ao saldo derivado desse distúrbio sofrido por cada classe, percebe-se que a FS foi a que mais perdeu área, ao passo que, a classe SJ apresentou maior saldo positivo próximo de 1 mil km<sup>2</sup>.



Fonte dos dados: MapBiomass, 2023. Org.: SILVA, E. C., 2024.

Avaliando a expansão da produção de grãos, entre 1990 e 2010, na região nordeste de Mato Grosso, Silva *et al.* (2016) mostrou que para a produção de soja, houve uma variação de 266% entre os anos de 2000 e 2010 em quantitativos de grãos, que envolve tanto o aumento na produtividade quanto o aumento de área. Os autores também destacam que em apenas quatro anos, de 2010 a 2014, às áreas destinadas à cultura de soja registraram aumento de 98%. E esse aumento de área destinado à agricultura está diretamente relacionado com os altos índices de desmatamento que a região do Vale do Araguaia vem passando ao longo dos últimos anos, com destaque para os anos de 2018 e 2019 (Demambro *et al.*, 2021).

#### 6.4 Séries temporais de IEVs EVI e NDVI em áreas de vegetação secundária

As áreas de vegetação secundária identificadas em 2001 e que assim permaneceram até 2023, emergem como importantes indicativos do processo de regeneração ecológica em ecossistemas previamente perturbados por atividades humanas. Essas perturbações, que

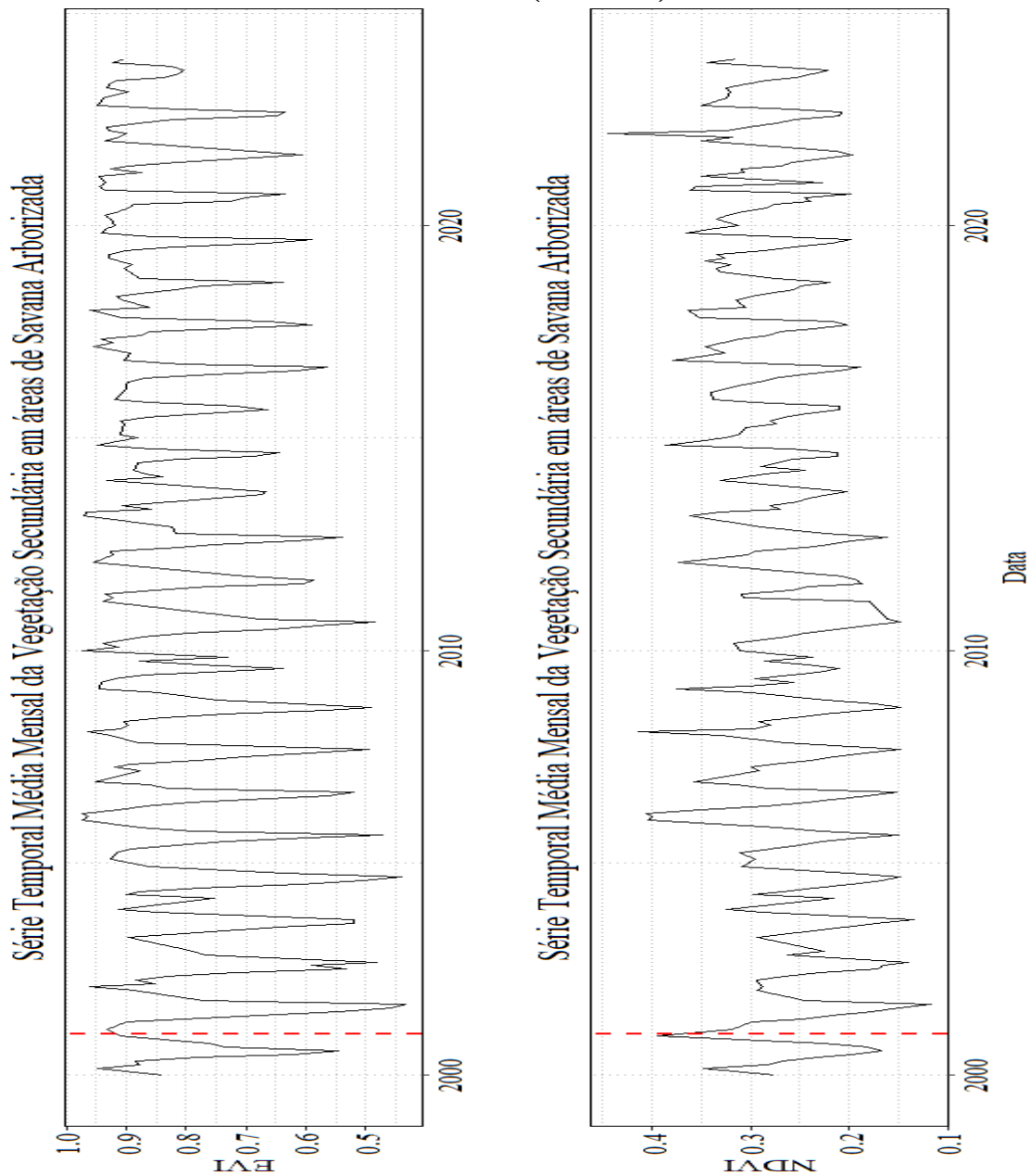
incluem o desmatamento, a exploração madeireira, as práticas agropecuárias, entre outras, resultaram na degradação da cobertura florestal, alterando significativamente a dinâmica dos *habitats* locais (Guariguata; Ostergat, 2001). No entanto, a regeneração dessas áreas reflete a resiliência dos ecossistemas e a capacidade das comunidades vegetais de se restabelecerem (Almeida *et al.*, 2010; Carreiras *et al.*, 2017).

As áreas de coberturas vegetais naturais em regeneração desempenham um papel crucial na estabilização do solo, no ciclo de nutrientes e na mitigação das mudanças climáticas (Lennox *et al.*, 2018). Em contraste, é relevante destacar que a partir dos dados oficiais, os dados do TerraClass Cerrado, para todo o bioma do Cerrado, no ano de 2020, a cobertura vegetal natural primária cobria apenas 48,6% do bioma, e as áreas de pastagens 29,3% (EMBRAPA, 2022). Por outro lado, entre 2018 e 2020, aproximadamente 1.781 km<sup>2</sup> não foram explorados após o desflorestamento e transformaram-se em vegetação natural secundária. Essas áreas apresentam diversas oportunidades em termos ecológicos, podendo ser utilizadas, por exemplo, como reservas de estoque de carbono, além de outras oportunidades econômicas a serem integradas ao sistema produtivo (EMBRAPA, 2022).

Assim, a fim de compreender o comportamento da vegetação, especialmente em áreas de vegetação secundária, isto é, onde há indicativos do processo de regeneração da vegetação, os especialistas recorrem, cada vez mais, a extração e análise de séries temporais de índices de vegetação. Nesse sentido, a partir da integração dos dados da missão Landsat (5,7,8 e 9), é apresentado a série temporal média mensal dos índices de vegetação EVI e NDVI em manchas de vegetação secundária mantidas entre 2001 e 2023, em áreas de formações Savânicas e Formações Florestais, conforme o mapeamento oficial das fitofisionomias da vegetação que ocorrem na área em estudo (IBGE, 2019).

Como pode-se observar na Figura 16, que diz respeito à série temporal dos índices de vegetação EVI e NDVI em áreas de Savana Arborizada, onde predominam vegetações herbáceas e arbustivas com gramíneas esparsas e correlação direta com recursos hídricos disponíveis, a assinatura espectral indica as variações sazonais decorrentes do período de estudo, com EVI próximo de 1 nos meses mais úmidos e abaixo de 0,5 nos meses secos, enquanto que o NDVI varia de 0,1 a 0,45. A linha vermelha tracejada na vertical mostra o indicativo do período que se iniciou o processo regenerativo, que deixa evidente, nos meses mais secos, uma tendência de crescimento nos valores médios para os dois índices.

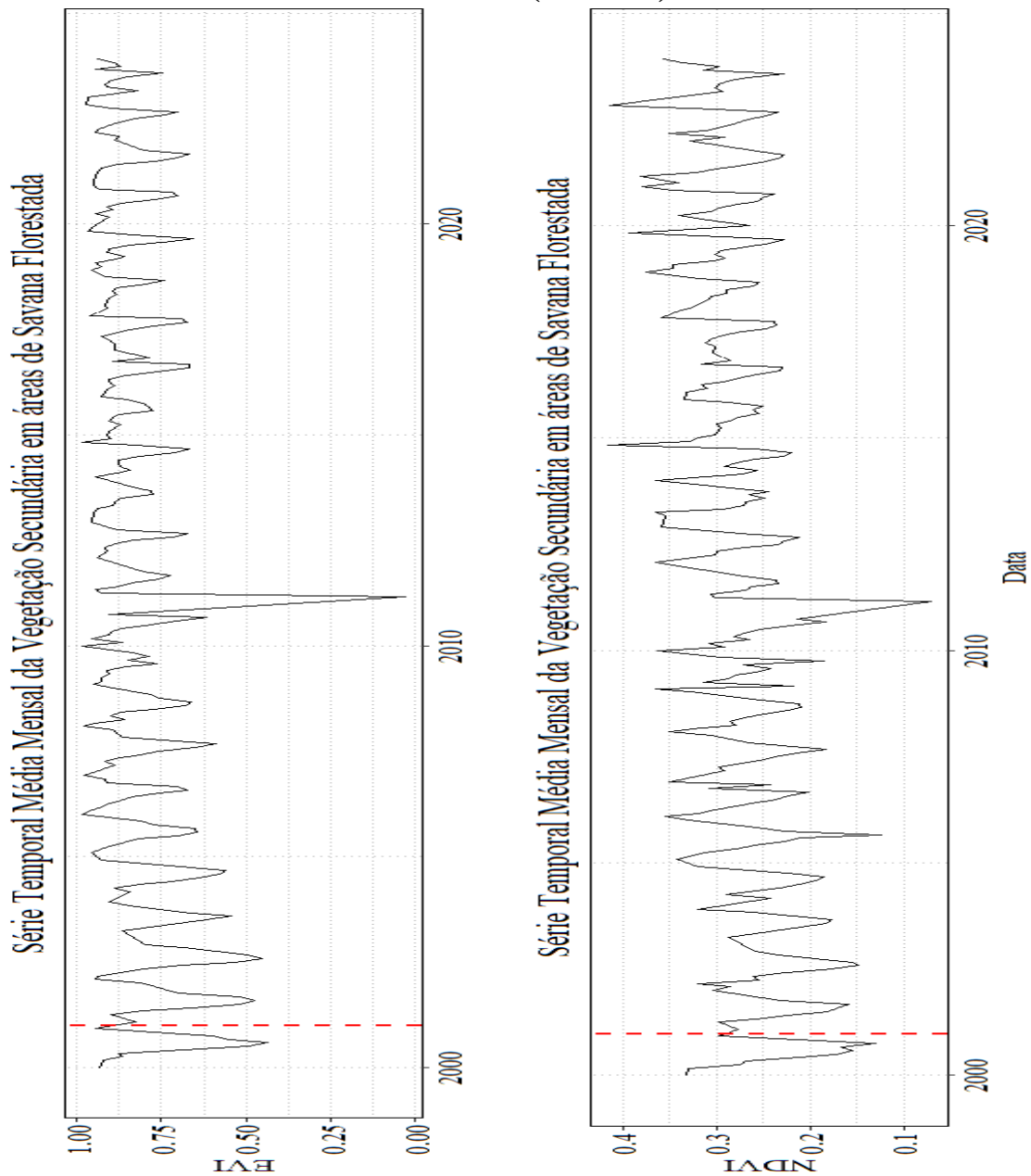
**Figura 16** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Savana Arborizada na área de estudo (2001-2023).



Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

A Figura 17 é referente ao comportamento espectral da vegetação secundária em áreas de Savana Florestada, onde é possível notar uma densidade maior de vegetação herbácea e arbustiva em relação a Savana Arborizada. Conforme a análise da resposta espectral, assim como na Figura 16, os valores de EVI são mais altos ao comparar com NDVI. No entanto, no ano de 2011, para os dois índices, há um distúrbio que faz com que os valores se aproximem de 0, havendo fortes indícios de solo exposto, o que pode estar associado a evento de fogo, isto é, evento de queimada (Souza *et al.*, 2015).

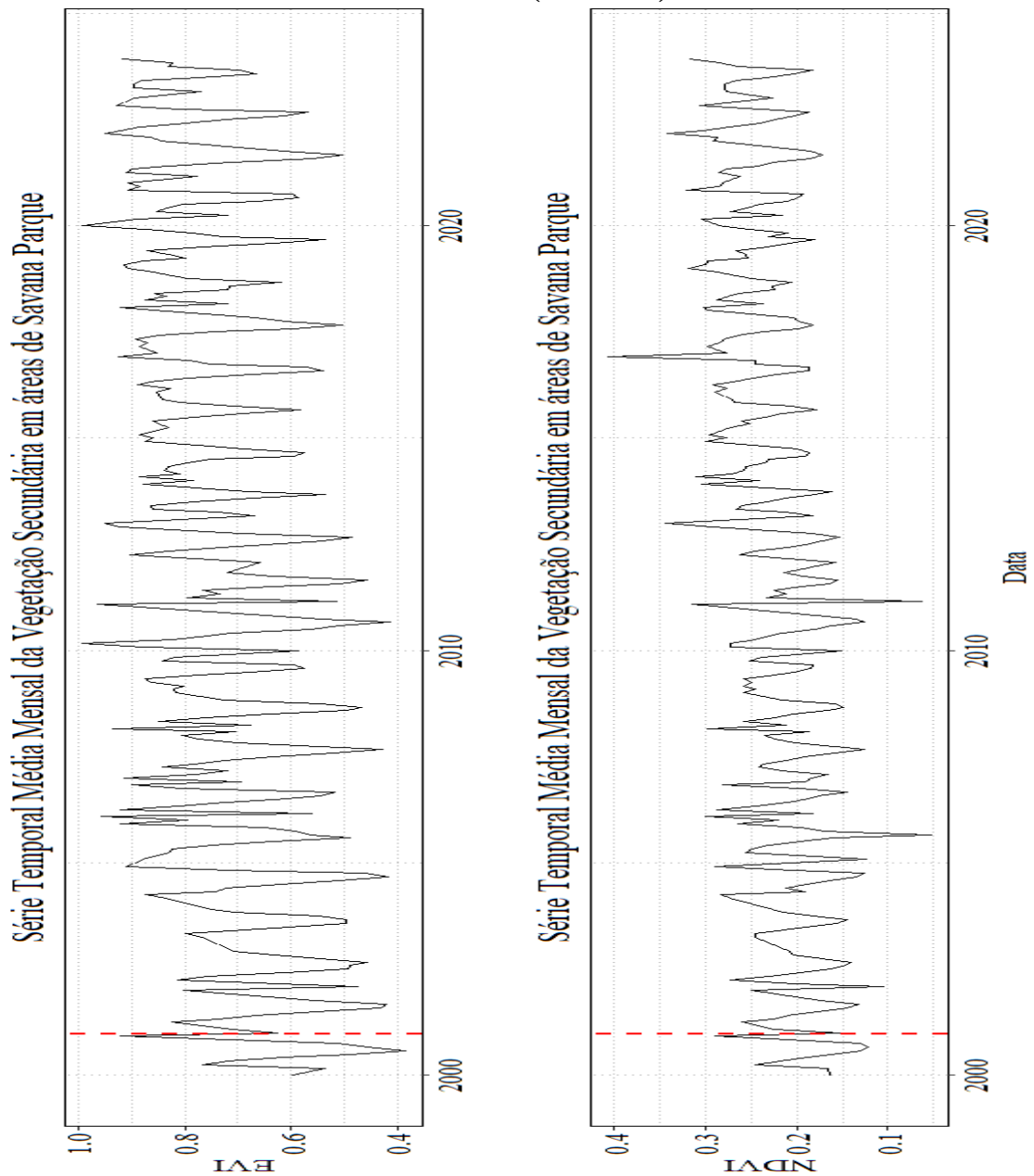
**Figura 17** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Savana Florestada na área de estudo (2001-2023).



Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

A Figura 18 é atinente ao comportamento da atividade fotossintética da vegetação secundária na tipologia vegetal de Savana Parque. Diferente dos tipos de Savanas citados anteriormente, este tem como característica o tronco retorcido, baixa estatura e com longas raízes, em contraste direto com gramíneas. Os valores dos índices, tanto o EVI quanto o NDVI, variam de acordo com a sazonalidade e com a disponibilidade hídrica, o que demonstra maior percentual de biomassa quando os valores estão mais elevados (Becerra *et al.*, 2007). Da mesma maneira que os descritos anteriormente, para Savana Parque os valores de EVI foram mais altos em relação aos de NDVI, o que dá indícios de saturação em períodos mais úmidos.

**Figura 18** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Savana Parque na área de estudo (2001-2023).

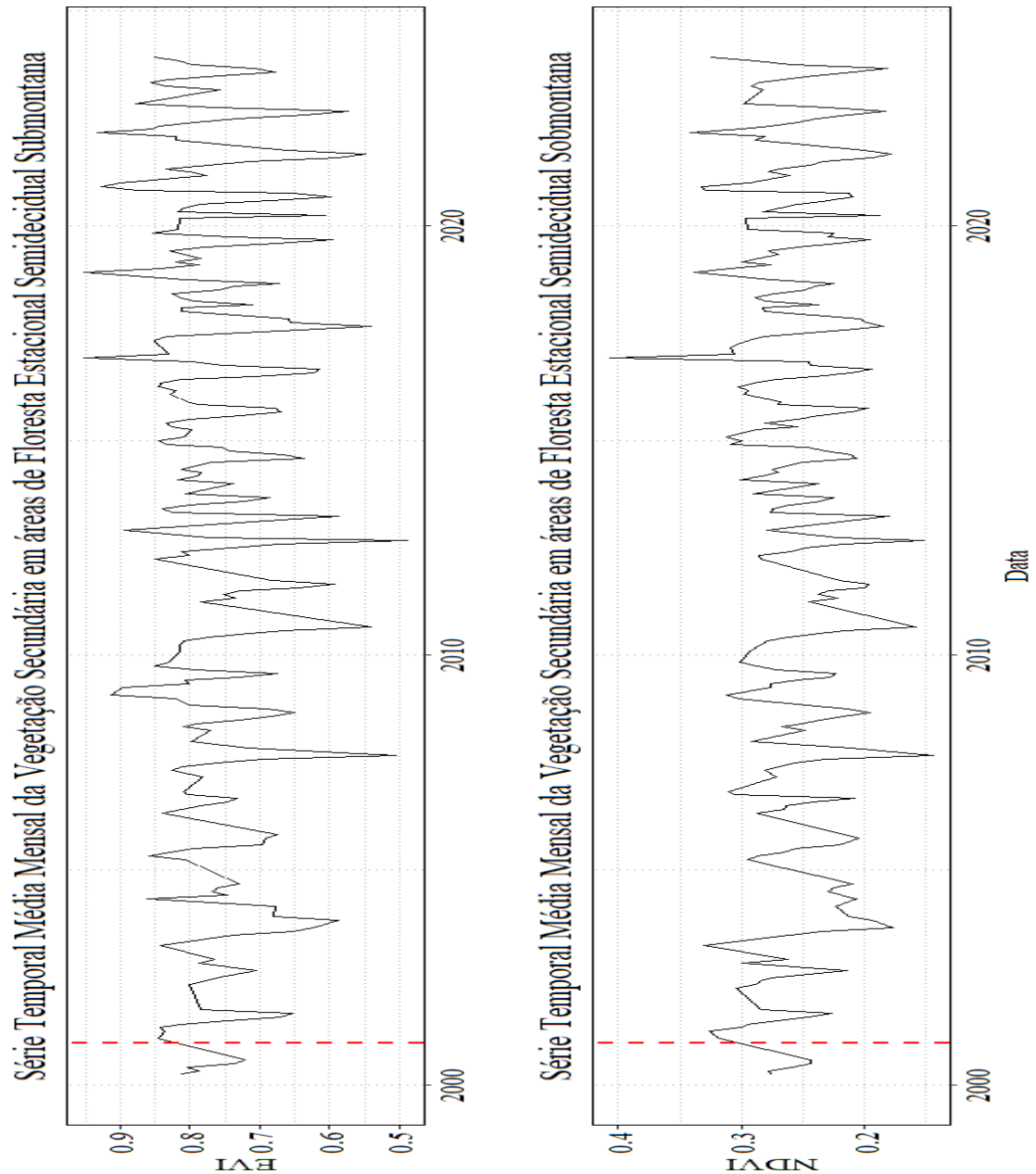


Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

Como pode-se observar, nas áreas de vegetação secundária em Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Figura 19), a vegetação apresenta diferentes estágios de desenvolvimento, sugerindo que houve perturbações anteriores. Entre os anos de 2000 e 2013, é possível que a vegetação tenha passado por distúrbios significativos, como cortes seletivos ou queimadas, o que teria afetado sua estrutura e dinâmica. Embora isso, os dados de EVI e NDVI evidenciam que a partir de 2014 a atividade da vegetação seguiu uma dinâmica sazonal cíclica,

quando valores mais altos são referentes a atividade fotossintética e maior biomassa (Huete *et al.*, 2002; Carvalho *et al.*, 2008).

**Figura 19** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana na área de estudo (2001-2023).

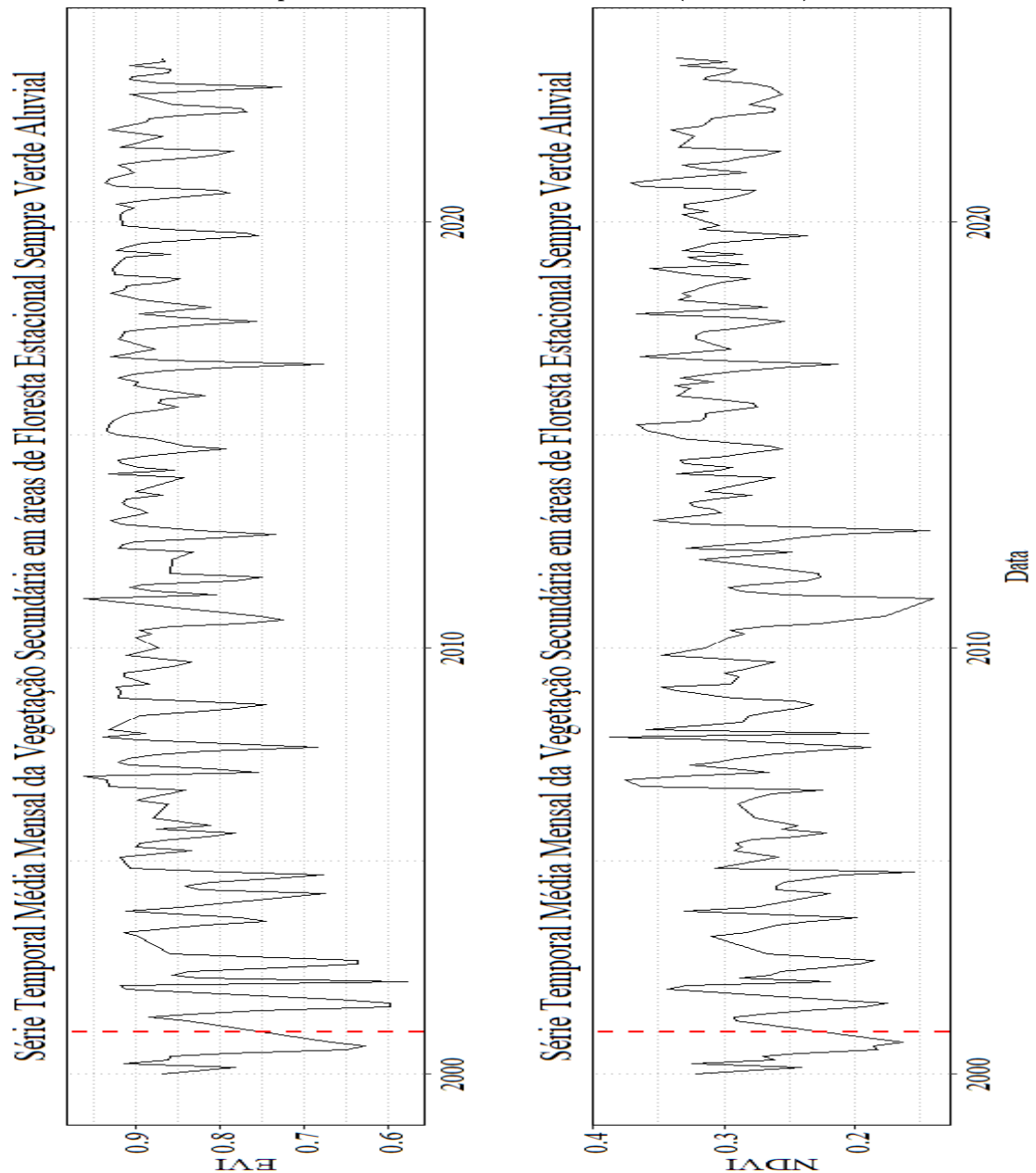


Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

Na Figura 20 é apresentada as séries temporais da atividade fotossintética da vegetação secundária a partir do ano 2000, a partir dos índices espectrais EVI e NDVI, em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial. Seguindo padrão das vegetações anteriores, os valores de EVI permaneceram acima de 0,5 mesmo em períodos mais secos, o que demonstra a capacidade deste tipo vegetacional frente aos distúrbios relacionados ao estresse hídrico. Em

contrapartida, os valores máximos para NDVI não passaram de 0,4, destacando baixo percentual de biomassa da vegetação.

**Figura 20** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial na área de estudo (2001-2023).

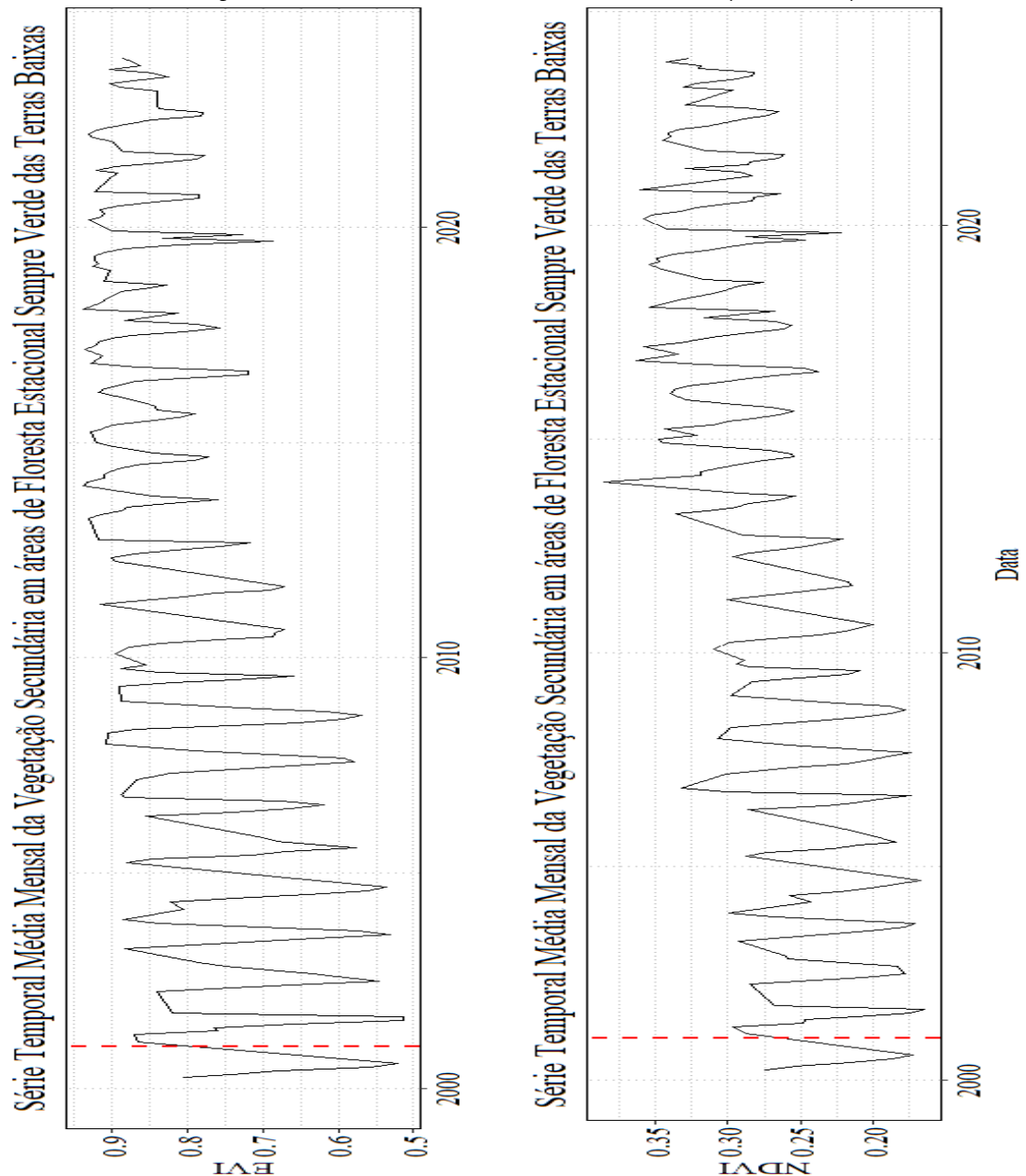


Fonte dos dados: Landsat 5,7,8,9, 2023. Org.: SILVA, E. C., 2024.

Com base na figura 21, sobre a série temporal de 2001 a 2023, dos índices EVI e NDVI em áreas de vegetação secundária em Floresta Estacional Sempre Verde das Terras Baixas, é perceptível a tendência de crescimento dos valores médios para os dois índices seguindo uma variância sazonal, quando se trata do período com as menores reflectância, ou seja, os meses

mais secos. A partir dos primeiros anos, para os períodos em que houve os maiores valores médios dos índices, notou-se que o EVI manteve os valores acima de 0,85. Esses altos valores indicam uma saturação que pode estar relacionado a da mudança súbita que ocorreu nos anos anteriores na cobertura da terra, o que pode gerar alto vigor vegetativo das plantas (Zhu *et al.*, 2016), embora seja uma tarefa complexa avaliar essas mudanças abruptas em séries temporais (Zhou *et al.*, 2023).

**Figura 21** – Série temporal (EVI e NDVI) da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde das Terras Baixas na área de estudo (2001-2023).



Fonte dos dados: Landsat 5,7,8,9, 2023. Org.: SILVA, E. C., 2024.

As respostas dos IVEs obtidas, para as diferentes tipologias vegetais trabalhadas, evidenciam uma dinâmica sazonal cíclica e progressiva esperada, em que o EVI manteve os valores mais altos em relação ao NDVI em todas as vegetações analisadas, com a exceção da Formação Florestal Semidecidual Submontana. Dessa forma, os valores referentes a assinatura espectral dos índices estão fortemente relacionados com os níveis de precipitação da região, isto é, nos meses mais secos (Outubro a Abril) e úmidos (Maio a Setembro) (Trentin; Trentin, 2017).

Apesar de ser uma ocorrência incomum, dado que o EVI foi desenvolvido para complementar o NDVI, especialmente em condições de alta biomassa onde o NDVI tende a saturar, Sharma e Ghosh (2022) revelaram que o EVI apresentou valores superiores ao NDVI, especialmente durante as monções, onde a vegetação estava mais densa e o NDVI começou a saturar. Essa saturação do NDVI em condições de alta biomassa permitiu que o EVI, que é menos suscetível, apresenta valores mais altos.

Vale ressaltar que um possível motivo para que os valores de EVI estarem mais altos que o NDVI pode estar relacionados as tipologias vegetacionais do Cerrado. Quando se trata de vegetação pós-incêndio, o EVI pode apresentar valores mais altos do que o NDVI em áreas afetadas, o que pode ser atribuído à capacidade do EVI de minimizar a variação de fundo da vegetação e manter a sensibilidade em condições de vegetação densa (Wei *et al.*, 2014).

### **6.5 Monitoramento da fenologia em áreas de vegetação secundária (Formações Savânicas)**

A Monitoramento da fenologia em áreas de vegetação secundária ocorre de forma dinâmica, variando de acordo com o estágio sucessional e a recuperação dos fatores ecológicos locais. Em ambientes de Formações Savânicas, o crescimento inicial é caracterizado, principalmente, por espécies pioneiras, sobretudo gramíneas adaptadas a solos ácidos, ricos em ferro, ambientes com regimes de alta luminosidade. À medida que o ecossistema se estabiliza, gradativamente aumenta a complexidade estrutural e a biomassa acima do solo. Assim, a sucessão vegetal passa a ter uma interação direta entre fatores abióticos, como umidade do solo, disponibilidade de nutrientes, e as variações do microclima.

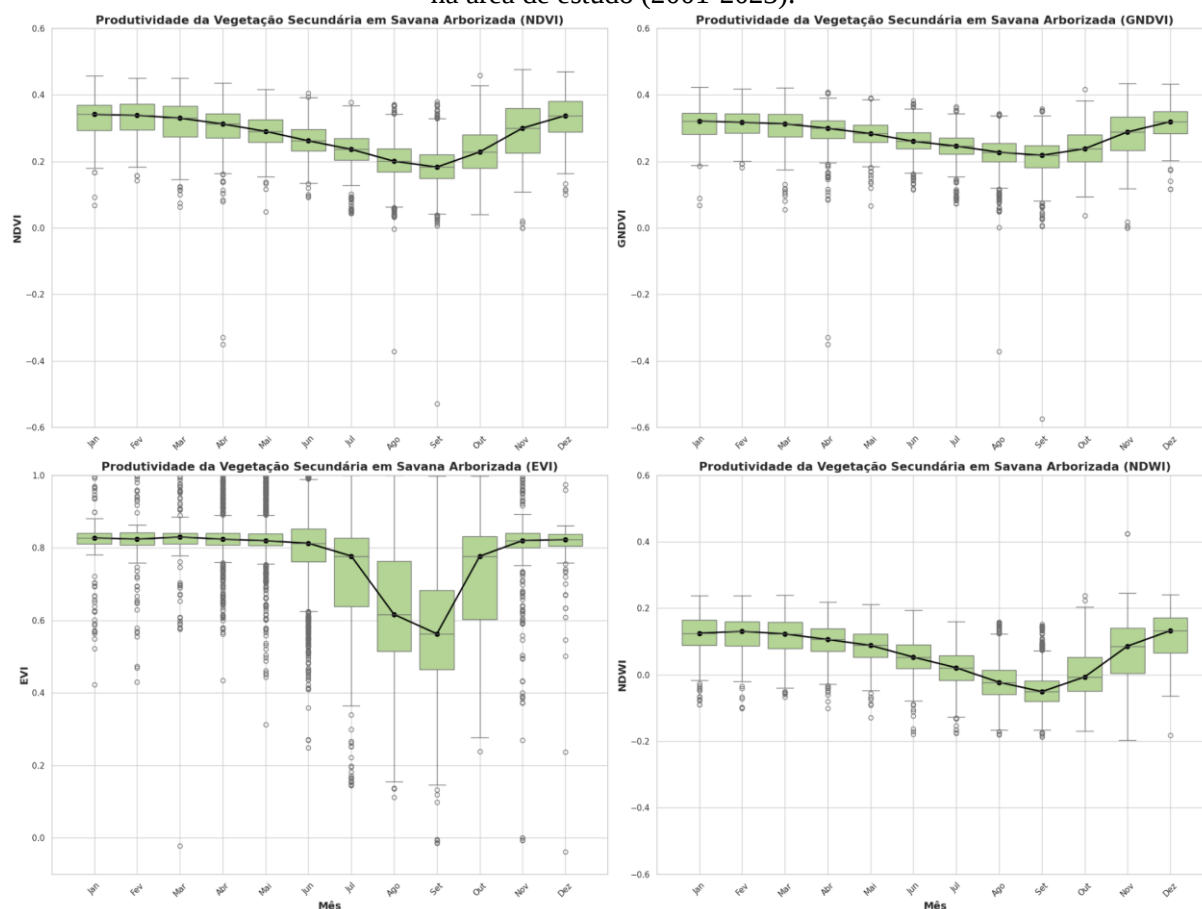
O comportamento sazonal da produtividade da vegetação, dentro de Formações Savânicas, está fortemente relacionado à variação de fatores climáticos, como a precipitação e a temperatura (Becerra, Shimabukuro e Alvalá, 2009). Durante a estação chuvosa, a disponibilidade hídrica aumenta significativamente, favorecendo o crescimento das espécies vegetais, especialmente das herbáceas e gramíneas, que dominam essas áreas. Já na estação

seca, a vegetação entra em fase de senescência, com uma redução acentuada da produtividade. Nesse sentido, muitas espécies adaptadas ao elevado estresse hídrico, como arbustos e árvores de raízes profundas, tendem a manter baixa atividade metabólica, garantindo sua sobrevivência e estabilidade ecológica, enquanto outras espécies não o fazem (Toneli *et al.*, 2024).

A precipitação é um dos principais fatores que regula a dinâmica sazonal de produtividade da vegetação nas savanas tropicais, especialmente nos domínios do Cerrado brasileiro (Coutinho, 1990). Nesse sentido, a importância do clima, tanto na estrutura como na função da vegetação é amplamente conhecida (Walter, 1973; Box, 1981). Durante a estação chuvosa, o padrão é de um aumento gradativo na biomassa acima do solo, especialmente nas áreas florestadas que apresentam maior densidade de folhas. Já nas áreas abertas e de maior luminosidade, como nas Formações Savânicas, a resposta ao regime hídrico é mais evidente, com variações sazonais nos índices de vegetação (Gomes *Et Al.*, 2020).

A partir dos aspectos mencionados, a Figura 22 apresenta a dinâmica sazonal de produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Arborizada na BHBRM (2001-2023). A dinâmica é evidenciada a partir da aplicação de dois índices espectrais de vegetação amplamente utilizados no monitoramento e análise da vegetação, tanto em ecossistemas naturais como em áreas antropizadas, a saber, o NDVI e EVI. O EVI tem em sua equação um fator de ajuste para o efeito atmosférico, o que pode levar a uma maior precisão na estimativa da atividade fotossintética em ambientes abertos e de condições de iluminação variáveis, como é o fato das paisagens características dos ambientes de Savana Parque. Somando-se a isso, é relevante destacar que o EVI é menos afetado pela reflectância do solo do que o NDVI, o que é fundamental em ambientes abertos.

**Figura 22** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Arborizada na área de estudo (2001-2023).



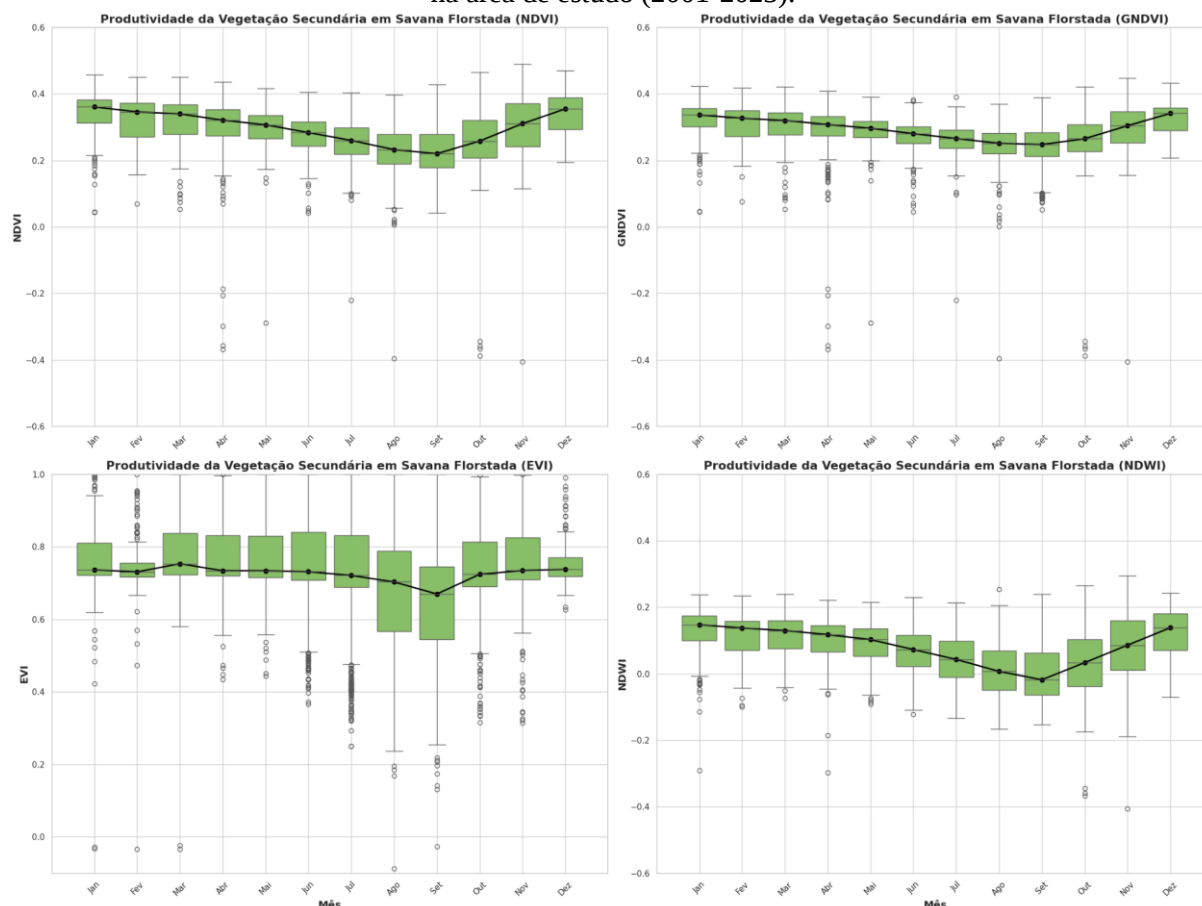
Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

Tendo em vista a Figura 22 e os aspectos supracitados, destaca-se que as áreas onde a vegetação de porte lenhoso se caracteriza por ser mais esparsa, a biomassa acima do solo é predominantemente relacionada a espécies herbáceas e arbustivas, com uma forte relação com a disponibilidade hídrica nas primeiras camadas do solo, fazendo com que em períodos de estiagem prolongada a exposição deste último seja muito maior. Nesse contexto, entende-se que o NDVI pode não captar essas diferenças tão efetivamente na escala da paisagem, como evidenciado na sua baixa variabilidade sazonal apresentada na Figura 22.

Na Figura 23, é apresentada a dinâmica sazonal de produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Florestada na bacia do BHBRM (2001-2023). Como pode-se observar, a produtividade da vegetação nesses ecossistemas, mostra um padrão cíclico anual bem definido, com o EVI médio atingindo seu pico em janeiro (0,90) e seu ponto mais baixo em agosto (0,70). O desvio padrão do EVI, variando de 0,10 a 0,18, evidencia flutuações significativas na atividade fotossintética da vegetação, especialmente entre os meses de junho e setembro. Em contraste, o NDVI médio oscila entre 0,33 em dezembro e 0,22 em agosto,

apresentando um desvio padrão mais estável, o que indica uma cobertura vegetal consistente em termos de atividade fotossintética.

**Figura 23** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Florestada na área de estudo (2001-2023).



Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

A dinâmica de produtividade da vegetação secundária em áreas Savana Florestada também se apresenta como sendo fortemente influenciada pela sazonalidade climática, onde a disponibilidade de água no solo constitui um fator essencial para a fotossíntese e, durante os períodos secos, limitando a atividade vegetativa (Becerra, Shimabukuro e Alvalá, 2009). Por saturar mais rapidamente que o EVI e ser influenciado por fatores como a estrutura da vegetação, o NDVI se apresenta menos sensível às variações sazonais, embora essas flutuações possam ser observadas, ressaltando a complexidade na avaliação da saúde e produtividade da vegetação em ambientes de Savana Florestada.

Os ambientes de Savana Florestada se caracterizam, também, por apresentar uma maior diversidade de espécies e uma alta biodiversidade, onde a interação entre vegetação arbórea e herbácea cria nichos específicos para uma variedade destas. Essas características favorecem a

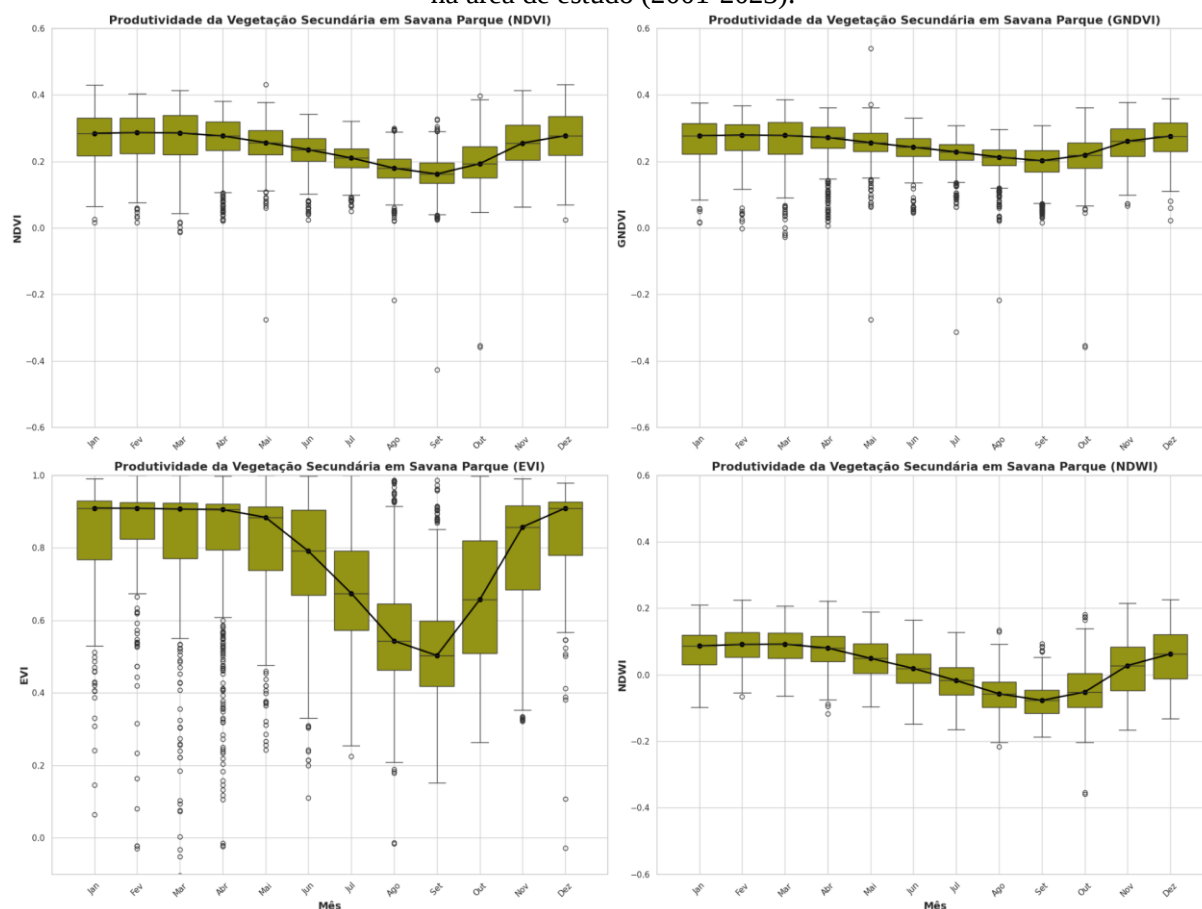
coexistência de fauna adaptada a diferentes microhabitats, promovendo uma rica rede trófica. Além de sua importância na manutenção da biodiversidade, as áreas de Savana Florestada desempenham um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico, contribuindo para a recarga de aquíferos, mitigação da erosão do solo, ciclagem de nutrientes, armazenamento de carbono orgânico, entre outros. Diferentemente das áreas de Savana Parque, nos ecossistemas de Savana Florestada a matéria orgânica proveniente da vegetação é maior.

Similarmente às áreas de Savana Arborizada, as áreas de Savana Parque compreendem ecossistemas com presença predominante de arbustos retorcidos e inclinados sobre um substrato de gramíneas de raízes densas e diferentes espécies de palmeiras. Embora isso, deve-se destacar que as áreas de Savana Parque não só apresentam um estrato arbustivo e herbáceo dominante, seguido de um percentual de cobertura de copas ligeiramente menor que as áreas de Savana Florestada e Savana Arborizada, respectivamente; como também o diâmetro médio das copas decrescem da Savana Florestada e da Savana Arborizada, até a Savana Parque, respectivamente (Liesenbergh, Ponzoni e Galvão, 2007).

O comportamento sazonal da produtividade da vegetação em áreas de Savana Parque é fortemente influenciado pelo regime hídrico, especialmente pela sazonalidade da precipitação. Nesse sentido, durante a estação chuvosa, as espécies presentes nesses ambientes, principalmente gramíneas e árvores de moderado porte lenhoso, dispersas entre si, exibem rápido crescimento, aumentando a biomassa e atividade fotossintética. No período de menor pluviosidade, parte expressiva dessas espécies entram em dormência ou reduzem significativamente sua produtividade fotossintética, com a consequente perda de folhas e redução da biomassa aérea. Nessas áreas, a dinâmica de crescimento e senescência é altamente adaptada ao ciclo sazonal das chuvas.

Assim, os índices de vegetação NDVI, GNDVI, EVI e NDWI são fortemente influenciados pelas variações da precipitação e estrutura do dossel, evidenciando o comportamento sazonal da vegetação. Nesse sentido, durante a estação chuvosa, esses índices tendem a aumentar significativamente, refletindo o rápido crescimento da biomassa verde, especialmente de gramíneas e espécies arbustivas, que se adaptam ao pulso hídrico do período de maior umidade presente no solo. Na Figura 24, é apresentada a dinâmica sazonal de produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Parque na área em estudo.

**Figura 24 – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Savana Parque na área de estudo (2001-2023).**



Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

Diferentemente das áreas de Savana Arborizada e Savana Florestada, nas áreas de Savana Parque o NDWI apresenta quatro meses consecutivos com valores negativos, julho, agosto, setembro e outubro; evidenciando que nessas áreas a vegetação passa por um estresse muito maior. Esse comportamento é resultado da redução na disponibilidade de água no solo e da diminuição da umidade foliar, em resposta às condições sazonais de redução dos volumes de precipitação.

Diferente das Savanas Arborizadas e Florestadas, onde a cobertura vegetal é mais densa e as raízes conseguem explorar camadas mais profundas do solo para acessar água, as áreas de Savana Parque, com vegetação mais esparsa e menos adaptada a essas condições, sofrem maior estresse. Assim, entende-se que a dinâmica de produtividade da vegetação nessas áreas, considerando especialmente o NDWI, está diretamente relacionada à sua menor capacidade de reter água, evidenciando a vulnerabilidade ecológica ao longo da estação seca.

## **6.6 Monitoramento da fenologia em áreas de vegetação secundária (Formações Florestais)**

Consonante a Pereira, Venturoli e Carvalho (2011) as florestas estacionais cobriam até o ano 2011, aproximadamente 15% da área do Cerrado brasileiro, estando entre os tipos de vegetação mais fragmentados e degradados. Essas áreas são altamente dinâmicas e dependentes de fatores como a precipitação, além de apresentarem elevada susceptibilidade a distúrbios (ex.: fogo, desmatamento). Nessas áreas, a regeneração é marcada pela presença de espécies pioneiras que colonizam áreas degradadas rapidamente, promovendo a reestruturação do ecossistema. No entanto, a fragmentação dessas florestas, sua sensibilidade a mudanças climáticas, tornam o processo de recuperação complexo e demorado (Silva *et al.*, 2012).

A Floresta Estacional Semidecidual Submontana é um tipo vegetacional que ocorre sobretudo em ambientes de maior altitude, estando restrita, predominantemente no extremo sul da área em estudo. Trata-se de um tipo vegetacional que apresenta características peculiares e resultantes da interação do Cerrado com a Floresta Amazônica. Essa formação florestal é marcada pela presença de espécies caducifólias, que perdem suas folhas em uma parte do ano, geralmente durante o período de maior estresse hídrico; e de espécies perenes, essas últimas, mantendo uma parte da folhagem durante o restante do ano, especialmente em áreas onde a umidade do solo é suficiente para sustentar a produtividade da vegetação, cuja composição é de árvores de diferentes portes e abundância de material lenhoso.

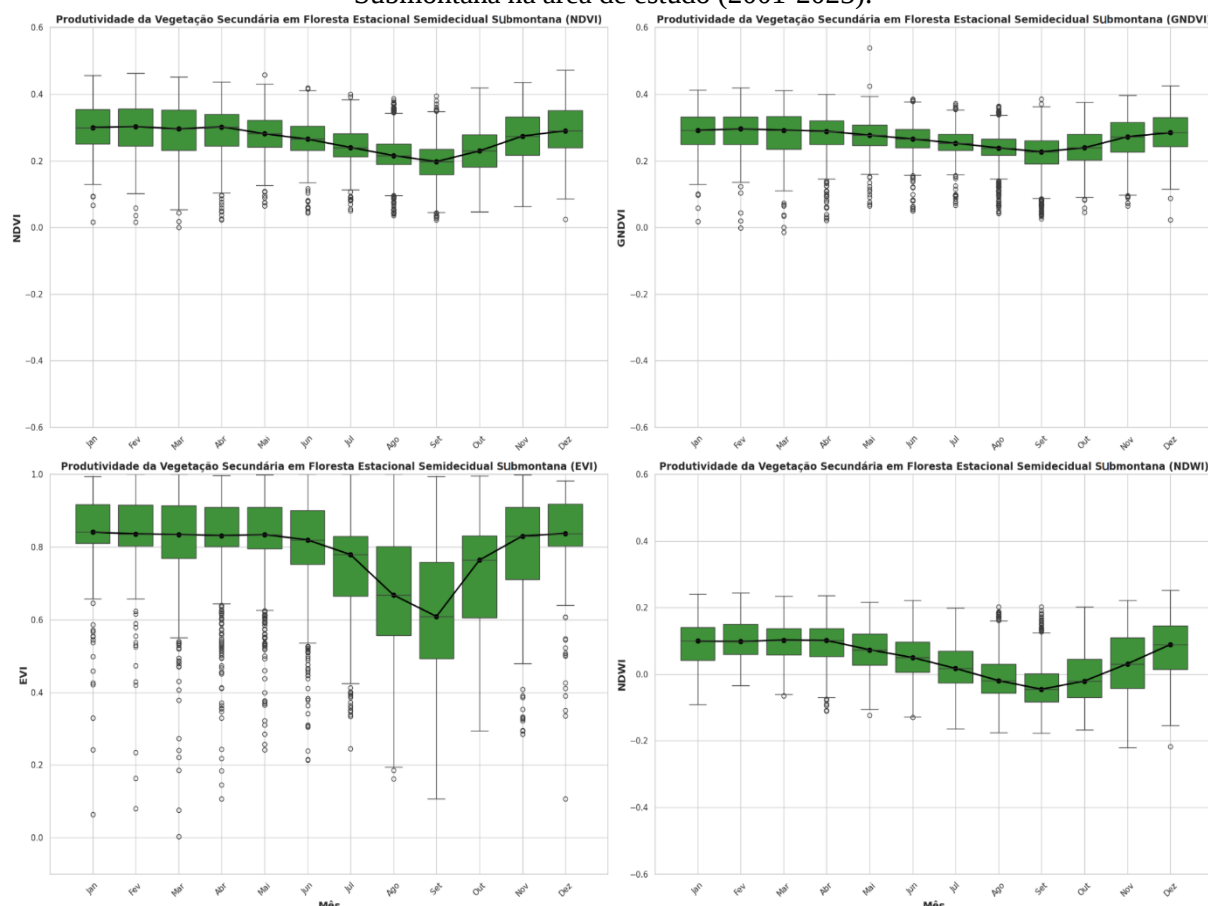
A produtividade da vegetação secundária em áreas cobertas por Floresta Estacional Semidecidual Submontana pode variar bastante, dependendo principalmente de fatores climáticos, pedológicos e de manejo. No entanto, em geral, essa produtividade é considerada moderada a alta em comparação com outros tipos vegetacionais. Esse tipo vegetacional apresenta um comportamento dinâmico durante o processo de regeneração, sobretudo quando passa por distúrbios como eventos de fogo. Isso se deve ao fato de, inicialmente, espécies pioneiras de crescimento rápido colonizam as áreas perturbadas, aproveitando a luz e os nutrientes disponíveis.

No caso de distúrbios, como a supressão da vegetação pioneira, o processo de sucessão ecológica resulta em uma estrutura florestal mais complexa, com aumento gradual da diversidade de espécies à medida que plantas mais exigentes se estabelecem. Inicialmente, espécies colonizadoras de rápido crescimento dominam, criando condições microclimáticas favoráveis para o surgimento de plantas de maior porte e de ciclo de vida mais longo. Com o tempo, a biomassa e a heterogeneidade estrutural aumentam, favorecendo o retorno de funções

ecossistêmicas e interações mais complexas, como polinização e dispersão de sementes. Esse processo de regeneração também pode ser influenciado por fatores edáficos.

Na Figura 25, é apresentada a dinâmica sazonal de produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana na BHBRM (2001-2023). Como pode-se observar, a produtividade da vegetação nesses ecossistemas apresenta variações mensais suaves, com mudanças graduais ao longo do ano. Com exceção do EVI, que mostra maior sensibilidade às variações sazonais, os demais índices de vegetação, como NDVI e GNDVI, indicam que a produtividade da vegetação não passa por mudanças significativas ao longo do ano. Nessas áreas, a vegetação de porte arbóreo é capaz de explorar camadas mais profundas do solo em busca de água. Ainda assim, a partir do EVI, observa-se que há variações sazonais quanto à atividade fotossintética, com um acentuado declínio no período de estiagem.

**Figura 25** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana na área de estudo (2001-2023).



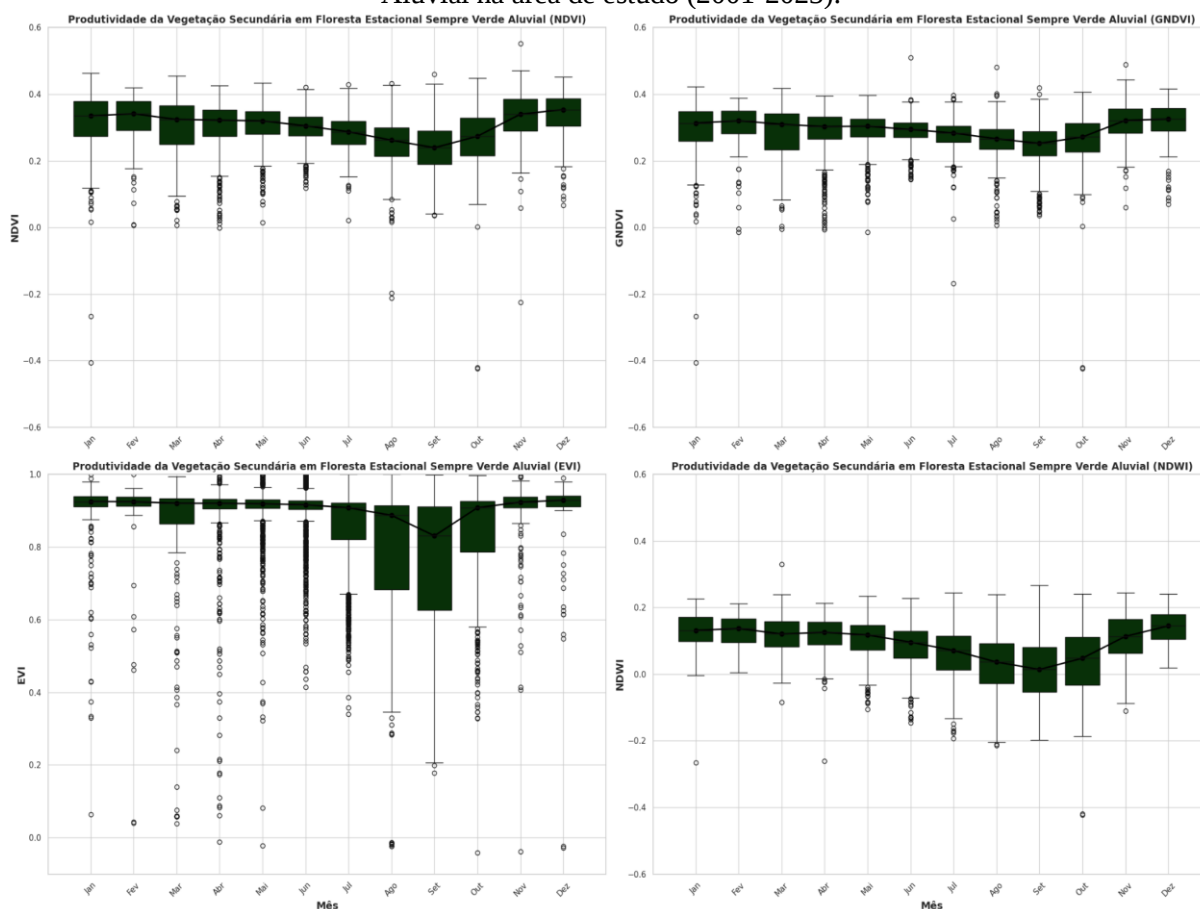
Fonte dos dados: Landsat 5,7,8 (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

Na BHBRM, observou-se que a Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial se mostra associada a terrenos de baixa altitude. Predominantemente, estão localizadas nas proximidades

dos corpos hídricos, principalmente, nas planícies aluviais situadas nas calhas dos afluentes da margem oeste do rio Araguaia, e na própria planície aluvial do rio Araguaia, predominantemente, na porção norte e nordeste. Nesse sentido, caracteriza-se por sua proximidade aos corpos hídricos e sua adaptação a solos hidromórficos, compreendendo ecossistemas muito influenciados pela alta umidade do solo, devido à saturação hídrica periódica, que afeta diretamente a composição florística e a estrutura da vegetação.

De acordo com o IBGE (2019) as espécies predominantes nessas áreas podem atingir alturas de até 25 metros, formando um dossel mais fechado em comparação com outras formações vegetais do Cerrado. Além disso, a constante presença de água superficial e a natureza fértil dos solos aluviais favorecem uma diversidade moderada de espécies, muitas delas adaptadas a condições de encharcamento e solos menos profundos. Assim sendo, esse padrão reflete a influência direta da hidrologia, da sedimentologia e da geomorfologia fluvial na composição e dinâmica desses ambientes. Na Figura 26, apresenta-se a dinâmica sazonal de produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial na bacia do BHBRM (2001-2023).

**Figura 26** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial na área de estudo (2001-2023).



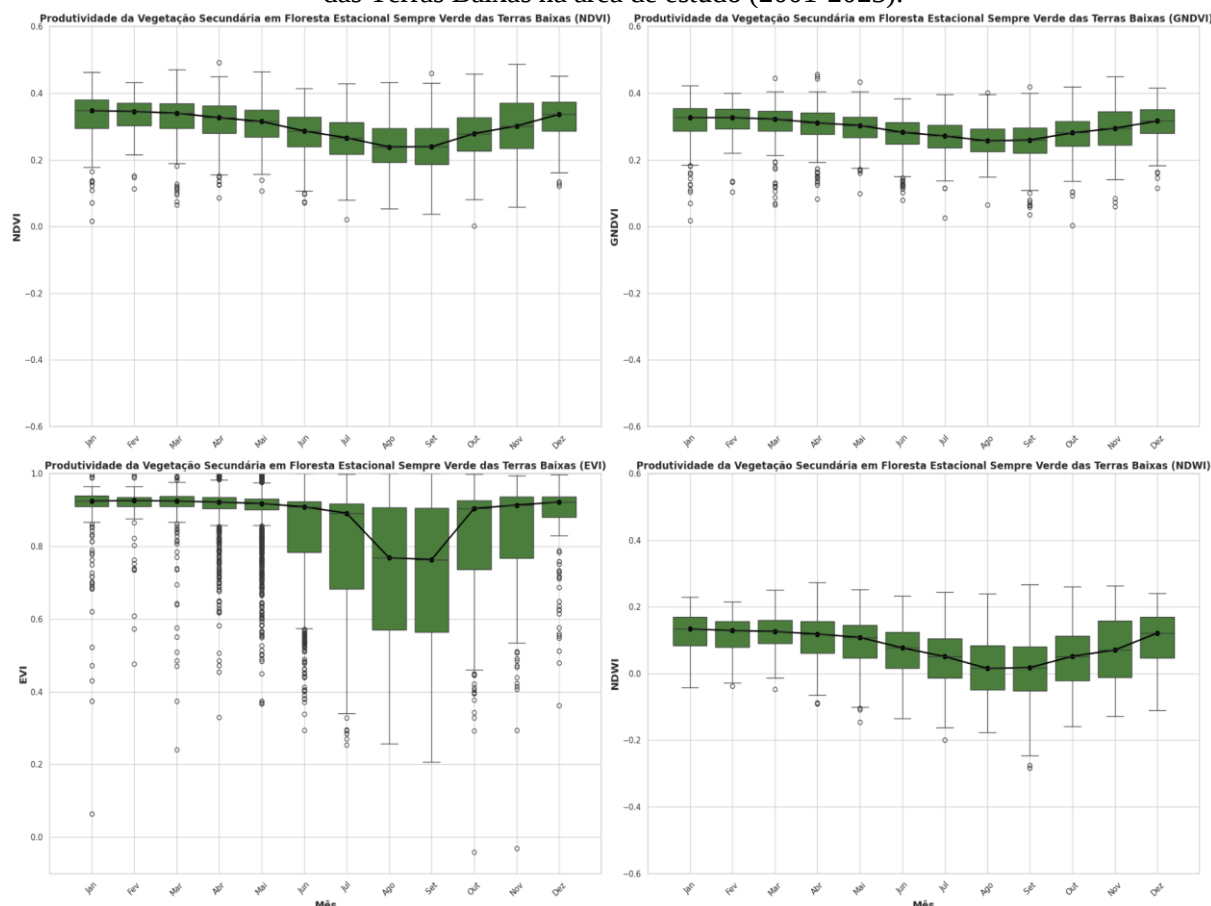
Fonte dos dados: Landsat 5,7,8, (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

Considerando a Figura 26, o comportamento sazonal do NDWI evidencia o alto teor de umidade presente nas folhas ao longo do ano, principalmente devido à proximidade dessas áreas com corpos hídricos e aos terrenos aluviais, como a planície do rio Araguaia. Nesse sentido, entende-se que essas condições ambientais ajudam a entender o porquê dos valores médios de NDWI não apresentam quedas drásticas ou valores médios negativos durante o ano, ao contrário de áreas com vegetação mais seca, como a Floresta Estacional Semidecidual Submontana. Os altos valores observados no EVI, por sua vez, ajudam a entender que, nessas áreas a produtividade da vegetação é alta na quase totalidade dos meses do ano, mantendo um padrão característico de áreas com alta disponibilidade de água.

A vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre-Verde das Terras Baixas, estão localizadas sobretudo na porção sudoeste da bacia do BHBRM, em altitudes acima de 300 metros. Caracterizadas pela presença de árvores de grande porte, com alturas de até 40 metros, esses ambientes apresentam uma composição diversificada de espécies. A elevada estatura das árvores contribui diretamente para a formação de um dossel denso, aspectos característicos desses

ecossistemas. Na Figura 27, apresenta-se a dinâmica sazonal de produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde das Terras Baixas na BHBRM.

**Figura 27** – Produtividade da vegetação secundária em áreas de Floresta Estacional Sempre Verde das Terras Baixas na área de estudo (2001-2023).



Fonte dos dados: Landsat 5,7,8 (2023). Org.: SILVA, E. C., 2024.

Em relação aos índices NDVI, GNDVI e NDWI, a figura 27 apresenta uma leve variação mensal, com uma tendência de declínio no meio do ano (junho a setembro) e recuperação nos meses seguintes com menores valores ocorrendo no período seco (junho a setembro), enquanto há um aumento no período chuvoso (novembro a abril), onde há uma menor dispersão ao longo dos meses, sugerindo que a vegetação secundária na área mantém uma certa consistência na cobertura verde.

Em contrapartida, o EVI, apresenta um padrão claro de sazonalidade, com valores mais altos no início e final do ano (período chuvoso) e um declínio significativo durante o período seco (junho a setembro). A forte queda no meio do ano reflete a redução da biomassa e da cobertura vegetal no período seco, evidenciando o impacto da seca na produtividade da

vegetação. Assim, o EVI, por sua sensibilidade a variações de biomassa, mostra uma queda mais acentuada no meio do ano, enquanto o NDWI reflete a umidade disponível.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 Conclusões

Ao analisar a dinâmica de cobertura e uso da terra na BHBRM, identificou-se que a área de uso da terra voltado à cultura da soja aumentou em 1.105,13%. Especificamente, observou-se que, em relação ao ano 2000, aproximadamente 772 Km<sup>2</sup> de áreas de uso da terra por pastagem foram convertidas em áreas de uso da terra voltado à cultura da soja, no ano de 2023. Essa conclusão corrobora com Mota-Junior *et al.* (2020), quando destacam que desde o ano 2019, há uma clara tendência de incorporação da soja sobre áreas de pastagens degradadas nos municípios da microrregião do vale do Araguaia, especialmente dos municípios de Barra do Garças-MT e Araguaiana-MT, localizados ao sul da BHBRM. Nesse sentido, conclui-se que a BHBRM vem passando por expressivas mudanças na cobertura e no uso da terra, registrando um aumento significativo das áreas de uso para produção de soja.

Entre 2000 e 2023, as áreas de uso da terra por pastagem avançaram em aproximadamente 2084 Km<sup>2</sup> sobre áreas anteriormente cobertas por coberturas vegetais naturais associadas às Formações Savânicas. Identificou-se que 180 Km<sup>2</sup> de áreas recobertas por coberturas vegetais naturais associadas às Formações Florestais foram convertidas em áreas de uso da terra por pastagem. Cerca de 35 km<sup>2</sup> deixaram de ser cobertos por Formações Florestais e passaram a ter uso relacionado à soja e outras culturas, estas últimas, representando um incremento de 113 Km<sup>2</sup> sobre áreas de Formações Savânicas. Assim, a partir dos dados, conclui-se que as pastagens e outras culturas constituem o principal tipo de uso da terra associado à supressão da cobertura vegetal natural (2000/2023).

Entre 2000 e 2023, os dados de cobertura e uso da terra mostram que a soja está concentrada sobretudo na porção centro-sul da bacia BHBRM, principalmente nas proximidades da BR-158. Essa rodovia serve como um importante corredor logístico para o transporte da produção agrícola no estado de Mato Grosso, o que favorece e impulsiona a concentração das áreas de cultivo ao seu redor. O contínuo desenvolvimento e investimentos de infraestruturas na região tem corroborado a expansão das lavouras de soja, intensificando o uso da terra em áreas previamente ocupadas por pastagens (Silva, 2013). Assim, entende-se que essa dinâmica da soja na área em estudo reflete a tendência de intensificação agrícola em regiões com acessibilidade e conectividade logística, transformando significativamente a paisagem ao longo das últimas duas décadas (Fernandes e Pessoa, 2018).

A partir da aquisição, processamento e análise da trajetória da vegetação secundária (2001-2023), identificou-se que as áreas de vegetação secundária que permaneceram sem alterações para outras formas de uso da terra entre 2000 e 2023, compreendem menos de 1% da área total da BHBRM. A análise das transições da vegetação secundária é essencial, pois essa vegetação não só desempenha serviços ecossistêmicos comparáveis aos das coberturas vegetais primárias do Cerrado, como também são ecologicamente importantes na restauração de ecossistemas e das paisagens. No entanto, observou-se que na BHBRM a vegetação secundária está altamente fragmentada, o que pode estar comprometendo a conectividade ecológica entre os ecossistemas. Por exemplo, pode estar limitando o fluxo gênico, a dispersão de espécies e a resiliência da paisagem. Assim, carecem de serem monitoradas.

Com base nos dados sobre a série temporal dos índices espectrais, EVI e NDVI, pode-se concluir que em todas as tipologias vegetais analisadas, houve um crescimento dos valores médios da assinatura espectral dos IVEs, principalmente nos meses mais secos, com exceção para Formação Florestal Semidecidual Submontana. Esta, por sua vez, não evidenciou nenhum evento que pudesse aferir e acompanhar o processo de regeneração da vegetação. Ademais, a resposta espectral dos índices, permitiu avaliar possíveis distúrbios relativos a queimadas, cortes seletivos, estresse hídrico, dentre outros.

No Vale do Araguaia, especificamente na BHBRM, as áreas de vegetação secundária, que são representativas do processo de regeneração da vegetação entre 2001 e 2023, apresentam um comportamento sazonal semelhante em termos de atividade fotossintética. Observou-se que durante as estações úmida e seca, a produtividade da vegetação secundária, em diferentes ambientes florestados e não florestados, está diretamente associada ao ciclo hidrológico, especialmente ao regime de chuvas. Entretanto, observou-se a partir dos índices espectrais, diferenças sutis entre a produtividade nas Formações Florestais e nas Formações Savânicas.

Nas áreas de Savana Parque, equivalente ao Cerrado ralo, o NDWI evidenciou quatro meses consecutivos com valores negativos, sendo eles: julho, agosto, setembro e outubro, indicando um período de alto estresse hídrico para a vegetação. Em consonância com Ribeiro e Walter (1998), esse comportamento resulta da redução na disponibilidade de água no solo e da diminuição da umidade foliar, que ocorre em resposta à diminuição dos volumes de precipitação. Em contraste, nas áreas de Savana Arborizada e Savana Florestada, equivalente ao Cerrado *stricto sensu* e ao Cerrado denso, a perda de folhas é moderada e a produtividade tende a ser mais estável ao longo do ano, refletindo uma adaptação diferente das espécies vegetais a essas condições sazonais.

## 7.2 Recomendações

A partir dos resultados encontrados, é fundamental que pesquisas futuras priorizem o monitoramento contínuo da conversão de áreas naturais em agrícolas, com ênfase na expansão da soja e das pastagens. A acelerada intensificação do uso da terra na BHBRM representa um desafio significativo para a conservação dos ecossistemas naturais, especialmente as Formações Savânicas e Florestais. Esse processo de conversão, se não controlado, pode comprometer não apenas a biodiversidade, mas também a integridade dos serviços ecossistêmicos. Portanto, estudos futuros devem avaliar os impactos ecológicos e socioeconômicos dessa expansão, principalmente em áreas estratégicas próximas a corredores logísticos como a BR-158, onde a pressão sobre a terra é mais intensa.

A realização de um inventário, isto é, de um projeto de monitoramento detalhado da vegetação secundária no contexto do Cerrado brasileiro, a savana mais biodiversa do mundo, é essencial para entender suas dinâmicas e oportunidades na conservação dos ecossistemas. Esses dados são cruciais para identificar áreas críticas que precisam de proteção e gestão, além de facilitar a avaliação das taxas de regeneração e os impactos da fragmentação, um processo ainda muito pouco estudado. A partir desses dados, é possível implementar estratégias de restauração que promovam a conectividade entre fragmentos, favorecendo a recuperação dos ecossistemas.

A integração de tecnologias, como o uso de imagens de satélite e modelagens de paisagem, pode aprimorar a compreensão sobre a dinâmica da vegetação secundária, permitindo o desenvolvimento de políticas eficazes para conservar e restaurar esses ambientes. Nesse sentido, entende-se que a combinação de monitoramento contínuo com análises detalhadas da conectividade ecológica pode, portanto, contribuir não apenas com a preservação da biodiversidade, mas também com a resiliência dos serviços ecossistêmicos dessa vegetação. Destaca-se que ainda poucos estudos sobre a inserção do mercado de carbono nas discussões sobre a vegetação secundária no contexto do Cerrado brasileiro, uma oportunidade significativa para promover a conservação e a restauração ambiental.

As diferenças sazonais observadas na produtividade entre as Formações Florestais e Savânicas não apenas refletem a adaptação das espécies vegetais às condições climáticas, mas também têm implicações diretas na gestão e conservação desses ecossistemas. Nesse sentido, é fundamental que pesquisas futuras aprofundem na análise dessa dinâmica, utilizando novos métodos e incorpore novos dados, como modelagem ecológica e análise de séries temporais, para entender como as tendências de mudanças climáticas podem comprometer a regeneração desses ecossistemas. A combinação de dados de sensoriamento remoto com informações de

campo faz-se necessário, pois permitirá uma avaliação mais abrangente do processo de regeneração da vegetação.

O estudo do processo de regeneração da vegetação no contexto do Cerrado brasileiro, o bioma brasileiro mais amplamente degradado, não só é fundamental à implementação das políticas públicas de gestão ambiental, como poderá contribuir diretamente para a resiliência dos ecossistemas, minimizando os impactos adversos no contexto das mudanças climáticas, promovendo a preservação da biodiversidade. Muitas vezes, a importância do Cerrado como um ecossistema rico e biodiverso é eclipsada pela atenção dada a outros biomas, levando a uma menor proteção e gestão (Chaves *et al.*, 2023). Entende-se que esse desafio precisa ser suplantado.

Esta pesquisa chama atenção para as áreas de vegetação secundária do Cerrado brasileiro, as quais são representativas do processo de regeneração da vegetação, um processo ainda muito pouco estudado, mas de grande relevância frente às mudanças climáticas e a necessidade emergente para o desenvolvimento sustentável (IPCC, 2023). É relevante destacar que em 2015, o Brasil apresentou sua contribuição nacionalmente determinada (NDC) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, comprometendo-se a alcançar zero desmatamento ilegal até 2030 e a compensar as emissões de gases de efeito estufa decorrentes da supressão legal da vegetação até 2030.

Em sua contribuição nacionalmente determinada, o Brasil se comprometeu a restaurar e reflorestar aproximadamente 12 milhões de hectares de florestas até 2030. No contexto do bioma brasileiro mais degradado, paradoxalmente, da savana mais biodiversa do mundo, o Cerrado brasileiro, é crucial considerar que entre 2018 e 2020, cerca de 1.781 km<sup>2</sup> não foram explorados após o desflorestamento e transformaram-se em vegetação natural secundária, o que significa uma oportunidade ao país. Espera-se que novas pesquisas possam ser desenvolvidas sobre essas áreas.

## 8. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de Natureza do Brasil: Potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- ABRAMOVAY, Ricardo. Moratória para os cerrados—elementos para uma estratégia de agricultura sustentável. **Consórcio Atech/Museu Emilio Goeldi/Procan, Agenda** 21, 1999.
- ACIOLY, L.; PINTO, E. C.; CINTRA, M. A. M.; CALIXTRE, A. B. **As Relações bilaterais Brasil-China: a ascensão da China no sistema mundial e os desafios para o Brasil**. Brasília: IPEA, 2011. 18 p. (Comunicados do Ipea, 85)
- ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNO, C. D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 289–301, 2010. DOI: 10.1590/s0044-59672010000200007.
- AQUINO, F. G. *et al.* Sustentabilidade no Bioma Cerrado: visão geral e desafios. In: PARRON, L. M. *et al.* (ed.). **Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 23-32.
- ARAÚJO, S. M. V. G. Proteção Ambiental Baseada em Evidências? Evolução Institucional, Planejamento e Execução Orçamentária no IBAMA. In: KOGA, N. M. (ed.). **Políticas públicas e usos de evidências no Brasil: conceitos, métodos, contextos e práticas**. Brasília, DF: IPEA, 2022. p. 725-745.
- ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 310, n. 5747, p. 480-482, 2005.
- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E. T; HATFIELD, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**. v.76, n. 2, p. 300-306, 1984.
- ASSIS, L. F. F. G.; FERREIRA, K. R.; VINHAS, L.; MAURANO, L.; ALMEIDA, C.; CARVALHO, A.; RODRIGUES, J.; MACIEL, A.; CAMARGO, C. TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping. **ISPRS International Journal of Geo-Information**. 8, 513, 2019. DOI: 10.3390/ijgi8110513
- AZEVEDO, T. ROSA, M. R.; SHIMBO, J. Z.; OLIVEIRA, M. D. .Relatório anual do desmatamento no Brasil 2020. São Paulo: MapBiomias, 2021.
- BASTOS, L. A.; FERREIRA, I. M. Composições Fitofisionômicas do Bioma Cerrado: Estudo Sobre o Sistema de Veredas. **Espaço em Revista**. v. 12 nº 2. 2010. p. 97-108
- BAYER, M.; ASSIS, P. M.; SUIZU, T. M.; GOMES, M. C. Mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e seus reflexos nos recursos hídricos, o trecho médio do rio Araguaia em Goiás. **Revista franco-brasileira de geografia**, v.48, 2020.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do cerrado usando índices espectrais de vegetação. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3747-3754.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, 125-134, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200002>.

BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica Agrícola no Cerrado: Análises e Projeções**. Brasília-DF, 2020.

BOX, O. **Macroclimate and plant forms : an introduction to predictive modelling in phytogeography**. Junk, The Hague. 1981.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, n. 4. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.11.008>

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 de setembro de 1981.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de janeiro de 1997.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 de fevereiro de 1998.

BRASIL. **Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002**. Institui a Política Nacional de Biodiversidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 ago. 2002. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4339.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4339.htm). Acesso em 23 Abri. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.803, de 17 de julho de 1989; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 maio 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato20112014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20112014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 25 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: 22 set. 2023.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**. Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/IsaqueEberhardt/publication/302564913\\_Mapeamento\\_do\\_Uso\\_e\\_Cobertura\\_da\\_TerraClass\\_Cerrado\\_2013/links/573147e608ae08415e](https://www.researchgate.net/profile/IsaqueEberhardt/publication/302564913_Mapeamento_do_Uso_e_Cobertura_da_TerraClass_Cerrado_2013/links/573147e608ae08415e)

6a8a9f/Mapeamento-do-Uso-e-Cobertura-da-Terra-do-Cerrado-ProjetoTerraClass-Cerrado-2013.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2023.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Projeto nacional de ações integradas público-privadas para biodiversidade – Probio I.** Brasília, DF: MMA, 2008. 22 p.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 73.030, de 30 de outubro de 1973.** Cria, no âmbito do Ministério do Interior, a Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA, e da outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 out. 1973.

BRASIL. **Unidades estaduais de planejamento e gestão de recursos hídricos (UEPGRH).** Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA, 2014. Disponível em:<<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b0dd7cfd-5c47410d-bae9-3df6e9a6dfef>>. Acesso em: 22 out. 2022.

CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. The expansion of soybean production in the Cerrado: Paths to sustainable territorial occupation, land use and production. **INPUT-AGROICONE**, 2016 ([https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/11/The-expansion-of-soybean-production-in-the-Cerrado\\_Agroicone\\_INPUT.pdf](https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/11/The-expansion-of-soybean-production-in-the-Cerrado_Agroicone_INPUT.pdf)). Accessed on, 8, p.2020.

CARREIRAS, J. M. B.; JONES, J.; LUCAS, R. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Mapping major land cover types and retrieving the age of secondary forests in the Brazilian Amazon by combining single-date optical and radar remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, v. 194, p. 16–32, 2017. DOI 10.1016/j.rse.2017.03.016.

CASTAGNA, D. Erosividade e Risco de Desmatamento em áreas de Cerrado. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2022. p. 117.

CASTILHO, C. M. A. B.; ANDRADE, M. R.; ALMEIDA, J. G. Impactos da urbanização sobre a biodiversidade. **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 2, p. 105-114, 2010.

CHAVES, E. M.; MATAVELI, G.; ERMGASSEN, Z.; ARAGÃO, R. B. A.; ADAMI, M.; SANCHES, I. D. Reverse the Cerrado's neglect. **Nature Sustainability**, v.6, n.9, p.1028-1029, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01182-w>.

CHIAVARI, J.; LOPES, C. L. Os caminhos para a regularização ambiental: decifrando o novo código florestal. In: SILVA, A. P. M.; MARQUES, H. R.; CODEVASF. **Caderno de caracterização: estado do Mato Grosso.** NASCIMENTO, R. L. X. *et al.* (org.). Brasília, DF. 2023. p. 124.

CONTINI, E., *et al.* O papel das políticas públicas no Cerrado. BOLFE, E. L., SANO, E. E., CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções.** Embrapa. Brasília, DF: 2020. p. 59-88.

CORREIA, A. H.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V. “Avaliação de índices de vegetação MODIS para detecção de desmatamentos na Amazônia.” **Ambiente & Água** 1 2006. 52-64.

COSTA, A. C. G.; BARBOSA, J. C. A. Tradição e oralidade dos povos Xavante: o uso da câmera como transmissão de saberes. **Revista Alterjor**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2013.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDHAMMER, J.G. (ed). **Fire in the Tropical Biota**, Springer-Verlag, 82–105, 1990.

DA SILVA, I. M. M. Araguaia-Xingu: Reflexões Aos Desafios Sobre O Desenvolvimento Sustentável Regional. **Revista Alembra**, v. 1, n. 2, 2019.

DEFRIES, R. S.; FOLEY, J. A.; ASNER, G. P. Land use choices: balancing human needs and ecosystem function. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 2, 2004. 249-257.

DEMAMBRO, E.; PIETRAFESA, P. A.; ROJAS, G. V. G. A Expansão do Cultivo de Soja e os Impactos Ambientais no Vale do Araguaia, Entre 2000 e 2019. **South American Development Society Journal**, [S. l.], v. 7, n. 20, p. 83, 2021. DOI: 10.24325/issn.2446-5763.v7i20p-83-108. Disponível em: <http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/397>. Acesso em: 31 ago. 2024

DORIGO, W. A.; ZURITA-MILLA, R.; DE WIT, A.J.W; BRAZILE, J.; SINGH, R.; SCHAEPMAN, M. E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.9, n.2, p.165-193. 2007.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Universidade de Brasília, 1994. cap. 1, p. 17-73.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Brasília-DF, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias//noticia/77150778/terraclass-mostra-a-cobertura-e-o-uso-da-terra-no-biomacerrado>>. Acesso em: 10 out. 2023.

FARIAS, S. E. M. Estimativas Satelitárias de Precipitação Sobre o Bioma Cerrado: possibilidades e perspectivas. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal de Goiás, Pró-reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de PósGraduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2016. p. 86.

FELFILI, J. M.; SOUSA-SILVA, J. C.; SCARIOT, A. Biodiversidade, ecologia e conservação do Cerrado: avanços e conhecimentos. In: SCARIOT, A., SOUSASILVA, J. C., FELFILI, J. M. (ed.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 25-44.

FERNANDES, P. A.; PESSÔA, V. L. S. O cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada / Cerrado and it's impacting activities: a reading about a mine, mining and mechanized farming. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 3, n. 7, 2018. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45114>.

FERRAZ, R. P. D.; KUCHLER, P. C.; SIMÕES, M. A intensificação do uso agrícola do solo: uma trajetória para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. In: COSTA, A. J. S. T.; LIMA, C. S. (org.). **Natureza e sociedade: perspectivas de ação e análise**. Curitiba: Bagai, 2021. p. 236-248.

FERREIRA, A. O. A expansão do agronegócio no cerrado: impactos socioambientais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 21, n. 3, p. 579-596, 2019.

FERREIRA, L. G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E. E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). **Remote Sensing of**

**Environment**, v.87, n.4, p.534-550, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2002.09.003>. Acesso em: 20 Jun. 2023.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. A. **Sensoriamento remoto em agricultura**. Oficina de Textos. São Paulo, 2017.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.257-266, 1996.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, n. 74, p. 609–620, 2000.

GARCIA, D. S. C.; MICELI, P. C. **História e Fronteira**. Cáceres-MT: UNEMAT, p. 223, 2014.

GITELSON, A.; KAUFMAN, Y.; MERZLYAK, M. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.58, n.2, p.289-298, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7). Acesso em: 15 Set. 2024.

GOMES, J. V. P; CUBAS, M. G. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto**. Curitiba: InterSaberes, p. 238, 2021.

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; SOARES-FILHO, B.; RODRIGUES, L.; OLIVEIRA, U.; BUSTAMANTE, M. M. C. Response of plant biomass in the brazilian Savanna to frequent fires. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3. 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2020.507710/full>>. Acesso em 10 de set. 2024.

GRECCHI, R.; GWYN, Q. H.; BÉNIÉ, G.; FORMAGGIO, A. Analysis of land-use and land-cover changes in the Primavera do Leste Region, Mato Grosso, Brazil. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6881

GRECCHI, R.; GWYN, Q. H.; BÉNIÉ, G.; FORMAGGIO, A. Assessing the spatio-temporal rates and patterns of land-use and land-cover changes in the Cerrados of southeastern Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 15, p. 5369–5392, 2013. ISSN 1366-5901.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1, p. 185-206, 2001.

HUETE, A. *et al.* A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440–451, 1997.

HUETE, A. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v. 1. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=22269>>. Acesso em: 25 out. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências: Vegetação 1:250.000**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao.html>>. Acesso em: 25 out. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2018/2020** / IBGE, Coordenação de Meio Ambiente. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. 39 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101966.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Biblioteca do IBGE: Censo Agropecuário: 1995/96**. Rio de Janeiro, 1995. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=748>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: resultados preliminares da população**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censodemografico-2022.html>>. Acesso em: 3 out 2023.

INOCÊNCIO, M. E.; CALAÇA, M. Estado e território no Brasil: reflexões a partir da agricultura no Cerrado. **Revista IDEAS**, v. 4, n. 2, p. 271-306, 2010.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**. Projeto TerraClass. Brasília /DF, 2014. Disponível em: <[http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2014.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php)>. Acesso em: 03 de out. de 2023.

ITTO. The International Tropical Timber Organization. **Guidelines for the Restoration, Management and Rehabilitation of Degraded and Secondary Tropical Forests**. ITTO Policy Development Series, Yokohama, Japan. n. 13, 2002.

JACKSON, R. D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n.3-4, p.185-200. 1991.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: Epiphany, J. C. N. *et al.* São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JEPSON, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, 2005, 99–111.

JEPSON, W. Producing a Modern Agricultural Frontier: Firms and Cooperatives in Eastern Mato Grosso, Brazil. **Economic Geography**, v. 82 (3), 2006. p. 289-316. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2006.tb00312.x

JEPSON, W., BRANNSTROM, C., & FILIPPI, A. Access Regimes and Regional Land Change in the Brazilian Cerrado, 1972–2002. **Annals of the Association of American Geographers**, 100(1), 87–111. 2009. <https://doi.org/10.1080/00045600903378960>

JUSTICE, C. O.; LI, X.; XU, B.; WIENBRUCH, J.; ZHENG, Q.; MORRIS, J. E. The enhanced vegetation index: a new index of vegetation vigor. **Remote Sensing of Environment**, 66, 238-251, 1996.

KLINK, C. A; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**. v.1, n.1. Julho, 2005.

LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O. **Produtos para ecossistemas terrestres**. São José dos Campos: Editora Parêntese, p. 23-35, 2007.

LENNOX, G. D.; GARDNER, T. A.; THOMSON, J. R.; FERREIRA, J.; BERENGUER, E.; LEES, A. C.; NALLY, R. M.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FERRAZ, S. F. B.; LOUZADA, J.; MOURA, N. G.; OLIVEIRA, V. H. F.; PARDINI, R.; SOLAR, R. R. C.; MELLO, F. Z. V.; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global change biology**, v. 24, n. 12, p.5680-5694, 2018.

LEVY, S. A.; GARIK, A. V. N.; GARRETT, R. D. The challenge of commodity-centric governance in sacrifice frontiers: evidence from the Brazilian Cerrado's soy sector. **Geoforum**, v. 150, p. 103972, 2024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2024.103972>.

LIESENBERG, V. L.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. **Revista Árvore**, v.31, n.2, p.295-305, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000200012>.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. In: SCARIOT, A., SOUSASILVA, J. C., FELFILI, J. M. (ed.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 61-72.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007.

MACEDO, M. N.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GÁLFFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **PNAS**, v. 109, n. 4, 2012. p. 1341-1346. <https://doi.org/10.1073/pnas.1111374109>.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. S. Caracterização de fitofisionomia e levantamento florístico preliminar no Pantanal dos Rios Mortes-Araguaia, Cocalinho, Mato Grosso, Brasil. **Acta bot. bras.** 15(2): 213-229. 2001.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Gestão Ambiental, 2019. Disponível em: <<http://sema.mt.gov.br/transparencia/index.php/gestao-ambiental>>. Acesso em: 07 out. 2023.

MATTOS, S. C. Por uma história dissidente: narrativas xavante sobre os contatos com “os brancos” e os processos de demarcação de terras indígenas entre as décadas de 1940 e 1970. 268 f., il. **Tese (Doutorado em História)** - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MEDEIROS, K. M. O planejamento ambiental e exploratório no bioma Cerrado. **Revista Facitec**, v. 1, n. 1. mar. 2007. Disponível em: <<https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/erevistafacitec/article/view/1715/1368>>. Acesso em: 23 set. 2023.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MITTERMEYER, R. A.; MYERS, N.; MITTERMEYER, C. G. **Hotspots earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. 1999. New York: CEMEX, Conservation International. 430p.

MOREIRA, M. A.; SHIMABUKURO, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: N. J. Ferreira (Ed.). **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de textos, 2004. p.79-101.

MOTA JUNIOR, E. R.; TRENTIN, C. B.; SILVA, E. B. Expansão De Fronteiras Agrícolas E Transformações No Uso E Cobertura Da Terra Em Áreas Circunvizinhas A Terras Indígenas No Sudeste Mato-Grossense. **Caminhos de Geografia**, v. 24, n. 91, p. 272–286, 2023. DOI: 10.14393/RCG249162476. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/62476>. Acesso em: 28 set. 2024

MOTA JUNIOR, E. R.; TRENTIN, C. B.; SILVA, I. de S.; QUEIROZ, I. L. C.; TRENTIN, A. B. Monitoramento Da Degradação Da Pastagem E A Incorporação De Atividades Agrícolas Na Microrregião Do Médio Araguaia/Mt. **Revista Geoaraguaia**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 160–174, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/10895>. Acesso em: 28 set. 2024.

MOURA, A. M. M. Trajetória da política ambiental federal no Brasil. In: MOURA, A. M. M. (ed.). **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília, DF: IPEA, 2016. p. 13-43.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403: 853-858. 2000.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; MOTTA, R. S. da; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; HANSEN, M. C.; MCGRATH-HORN, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1126/science.1248525>

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O. T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. **Conservation biology**, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, 2006.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; FILHO, B. S.; MERRY, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, v. 363, n. 1498, p. 1737-1746, 2008

- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. Blucher. São Paulo, 2010.
- NUNES, S. *et al.* Unmasking secondary vegetation dynamics in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**. v. 15, n. 3. 2020.
- OLIVEIRA, A. U. O cerrado: a expansão do agronegócio e os desafios para a sustentabilidade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 737-756, 2013.
- OLIVEIRA, A. U. **O cerrado: o desafio da ocupação**. São Paulo: Editora Hucitec, 1990.
- OLIVEIRA, M. T. de; CASSOL, H. L. G.; GANEM, K. A.; DUTRA, A. C.; PRIETO, J. D.; ARAI, E.; SHIMABUJURO, Y. E. Mapeamento da Vegetação do Cerrado – Uma Revisão das iniciativas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. Especial 50 anos, p. 1250-1274, 2020
- PEREIRA, B. A. S.; VENTUROLI, F.; CARVALHO, F. A. Florestas estacionais no cerrado: uma visão geral. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 446-455, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.12666>.
- PLENS, C. R. DE SOUZA, C. D. ROKSANDIC, I. GÓRKA, K. ROKSANDIC, M. Surviving the Contact. The Xavante and the Demographic Impact of Epidemics on Brazilian Indigenous People from Colonization to the Military Dictatorship. **Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)**, v. 18, n. 35, p. 146-173, 2021.
- PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E; **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São José dos Campos-SP: Editora Parêntese, 2010.
- RAUSCH, L. L.; GIBBS, H. K.; SCHELLY, I; MORTON, D. C.; NOOJIPADY, P; SOARES-FILHO, B; FLESKES, J. P.; MACHADO, L. A. T. Soy expansion in Brazil's Cerrado. **Conservation Letters**, v. 13, n. 1, e12671, 2019. DOI: 10.1111/conl.12671.
- REIS, A. C. B. C. dos; MELO, B. M. de; CARVALHO, L. L. de; ARRAES, T. B.; ARAKAKI, A. T.; CAMPOS, F. I. Cerrado brasileiro: desafios e perspectivas na implementação de políticas públicas para conservação e desenvolvimento sustentável. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, [S. l.], v. 17, n. 7, p. e8501, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.7-255. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/8501>. Acesso em: 30 sep. 2024.
- RIBEIRO, J. F. *et al.* **Guia de Plantas do Cerrado para recomposição da vegetação nativa**. Brasília, DF: Embrapa, 2022.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151-199.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO S. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. cap. 3, p. 87-166.
- ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F.; SILVA, I. S.; TAVARES, K. S. R. Caracterização Ambiental E Dinâmica De Uso E Ocupação Do Cerrado. In: José Carlos de

Souza; Patrick Thomaz de Aquino Martins. (Org.). **Análises Ambientais Do Cerrado**. 1ª ed. Anápolis-GO: Editora UEG, 2023, v. 1, p. 1-172.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **30 ERTS Symposium**, NASA, 1974, p. 309–317.

SAMBUICHI, R. H. R. (ed.). **Mudanças no código florestal brasileiro**: desafios para a implementação da nova lei. Rio de Janeiro: Ipea, 2016. p. 21-44.

SAMPAIO, A. B.; ARANTES, A. E.; VIEIRA, D.; AQUINO, F.; ISERNHAGEN, I.; MATSUMOTO, M.; BRAGA, J. **Potencial de regeneração natural da vegetação no cerrado**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 2018.

SANO, E. E. *et al.* **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. 2007. p. 33. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/570887/1/doc190.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2023.

SCERVINO, R. P.; TOREZAN, J. M. D. Factors affecting the genesis of vegetation patches in anthropogenic pastures in the Atlantic forest domain in Brazil. **Plant Ecology & Diversity**, v. 8, n. 4, p. 475-482, 2015.

SHARMA, V.; GHOSH, S. K. (2022). Impact of climate on vegetation indices over rainfed districts of uttarakhnad, india. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XLIII-B3, p.989-996. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b3-2022-989-2022>> Acesso em: 22 set. 2024.

SILVA, E. B. **A dinâmica socioespacial e as mudanças na cobertura e uso da terra no bioma cerrado**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SILVA, I. S. **Proposta de mapeamento de cobertura e uso da terra a partir do método de detalhamento progressivo: estudo de caso para o entorno dos reservatórios das UHEs Batalha e Itumbiara**. 2022. 112f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Goiás, Cidade de Goiás, 2022.

SILVA, J. C.; SILVA, I. P.; SILVA, E. M.; RIBEIRO, E. S.; MOREIRA, E. L.; PASA, M. C. SUCESSÃO ECOLÓGICA NO CERRADO. **FLOVET - Boletim do Grupo de Pesquisa da Flora, Vegetação e Etnobotânica**, v. 1, n. 1, 2012. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/flovet/article/view/788>.

SILVA, M. R. C.; LEÃO, C.; SILVA, R. M. M.; SOUSA, A. S. Expansão da cultura de soja, infraestrutura viária e desenvolvimento regional: a BR 158 e o Vale do Araguaia Mato-Grossense entre 1990 e 2010. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 135–159, 2016. DOI: 10.7867/2317-5443.2015v3n2p135-159. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rbdr/article/view/5444>. Acesso em: 3 set. 2023.

SILVA, M. R. C.; LEÃO, C.; SILVA, R. M. M.; SOUSA, A. S. Expansão da cultura de soja, infraestrutura viária e desenvolvimento regional: a BR 158 e o Vale do Araguaia Mato-Grossense entre 1990 e 2010. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 135–159, 2016. DOI: 10.7867/2317-5443.2015v3n2p135-159. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rbdr/article/view/5444>. Acesso em: 30 set. 2024.

- SKOLE, D. L.; CHOMENTOWISKI, W. H.; SALES, W. A.; NOBRE, C. A. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **Biosciences**, v. 44, p. 314-322, 1994.
- SOARES, C. B. R. Geotecnologias aplicadas na análise geoambiental da expansão da agricultura tecnificada na microrregião Rio Vermelho (GO):Fragiidades Potencialidades. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** Universidade Federal de Goiás, 2020.
- SOUZA, G. M.; GURGEL, H. C.; CIAMP, P. M. Dinâmica dos incêndios florestais no cerrado do Distrito Federal por meio de imagens do sensor MODIS. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015.
- SOUZA Jr, C. M. *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**. 12, 2735. 2020. p. 1-27.
- STRASSBURG, B. B.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J.; SCARAMUZZA, C. A. D. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B., 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, 1(4), 2017. p.0099.
- TISOTT, S. T.; SCHMIDT, V. Expansão e intensificação das culturas agrícolas no Bioma Cerrado na Região Centro-Oeste do Brasil / Expansion and intensification of agricultural crops in the Cerrado Biome in the Center-West Region of Brazil. **Brazilian Journal of Business**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 2280–2294, 202
- TONELI, C.A.Z.; SCARDUA, F.P.; MARTINS, R.D.C.C.; MATRICARDI, E.A.T.; RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A.C. Aerial Biomass Estimation in the Cerrado Biome Using Canopy Height Data. **Forests**. v.15. 2024. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1999-4907/15/3/507#metrics>>. Acesso em: 15 set. 2024.
- TREVOR R. T.; TEIXEIRA, F. Z.; NOBREGA, R. A. A. Conservation opportunities and challenges in Brazil's roadless and railroad-less areas. **Science Advances**. v. 8, I. 9, 2022. DOI:10.1126/sciadv.abi5548
- VALE, N. K. A. **Trajetória da produtividade da soja em função da variabilidade das chuvas no estado de Goiás**. 2017. 63 f. Dissertação(Mestrado em Agronegócio).Programa do Pós-Graduação em Agronegócio, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Garamond. Rio de Janeiro: 2006.
- VIEIRA, R. R. S.; RIBEIRO, B. R.; RESENDE, F. M.; BRUM, F. T.; MACHADO, N.; SALES, L. P.; MACEDO, L.; SOARES-FILHO, B.; LOYOLA, R. Compliance to Brazil's Forest Code will not protect biodiversity and ecosystem services. **Diversity and Distributions**, 24(4), 2017 pp.434-438.
- WALTER, B. M. T., CARVALHO, A. M., RIBEIRO, J. F. O conceito de Savana e de seu componente Cerrado. In: SANO S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 19-45.
- WALTER, H. **Vegetation of earth, in relation of climate and the ecophysiological conditions**. English University Press, London. 1973.

WANG, Y.; ZIV, G.; ADAMI, M.; ALMEIDA, C. A. de; ANTUNES, J. F. G.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; GOMES, A. R.; GALBRAITH, D. Upturn in secondary forest clearing buffers primary forest loss in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 4, p. 290–295, 2020.

WEI, C.; MORIYA, K.; SAKAI, T.; KOYAMA, L.; CAO, C. Temporal and spatial monitoring of post-fire forest dynamics using time-series modis data. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium**. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/igarss.2014.6946538>>. Acesso em: 16 Out. 2024.

ZHOU, M.; LI, D.; LIAO, K.; LU, D. Integration of Landsat time-series vegetation indices improves consistency of change detection. **International Journal of Digital Earth**, v. 16, n. 1, p. 1276-1299, 2023.

ZHU, Z.; FU, Y.; WOODCOCK, C. E.; OLOFSSON, P.; VOGELMANN, J. E.; HOLDEN, C.; YU, Y. Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014). **Remote sensing of environment**, v. 185, p. 243-257, 2016.