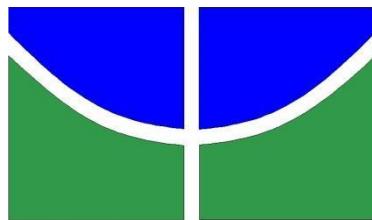




**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA
DO FOGO NO BIOMA CERRADO ENTRE 1985 E 2023**

Catharina Oliveira Reis

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB)

FACULDADE DE TECNOLOGIA (FT)

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL (EFL)

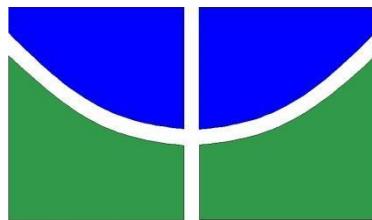
**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA
DO FOGO NO BIOMA CERRADO ENTRE 1985 E 2023**

Catharina Oliveira Reis

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli
Matricardi

Brasília-DF, 11 de julho de 2025.



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal - EFL

**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA
DO FOGO NO BIOMA CERRADO ENTRE 1985 E 2023**

Estudante: Catharina Oliveira Reis
Matrícula: 16/0004217
Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
Menção: SS

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Prof. Dr. Ricardo Gaspar de Oliveira
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Msc. Marizete Chaves de Cerqueira
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Brasília-DF, 11 de julho de 2025

CIP - Catalogação na Publicação

Ra REIS, CATHARINA OLIVEIRA.
Análise da dinâmica espaço-temporal da ocorrência do fogo no bioma Cerrado entre 1985 e 2023 / CATHARINA OLIVEIRA REIS;
Orientador: ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI. Brasília, 2025.
59 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - ENGENHARIA FLORESTAL) Universidade de Brasília, 2025.

1. Cerrado. 2. Fogo. 3. Sensoriamento remoto. 4. Projeto Mapbiomas. 5. Áreas protegidas. I. MATRICARDI, ERALDO APARECIDO TRONDOLI, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

REIS, C. O. (2025). ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DO FOGO NO BIOMA CERRADO ENTRE 1985 E 2023. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Catharina Oliveira Reis

TÍTULO: ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DO FOGO NO BIOMA CERRADO ENTRE 1985 E 2023

GRAU: Bacharel em Engenharia Florestal. ANO: 2025

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Catharina Oliveira Reis

Depto. de Engenharia Florestal (EFL)-FT
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Darcy Ribeiro
CEP 70919-970 – Brasília – DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi um percurso intenso, e sinceramente, por muitas vezes pensei que não conseguiria. A esta conquista, devo primeiramente aos meus pais, cuja luta após décadas me abriu caminho não apenas para ingressar em uma universidade pública de qualidade, mas também para a concretização do meu objetivo de me tornar engenheira. Vocês sempre respeitaram meus tempos e minhas escolhas, me acolhendo com paciência e carinho em cada etapa. A vocês, meu muito obrigada.

Na mesma corrente, agradeço à minha irmã Raquel, que foi muitas vezes meu alicerce e rede de apoio. E à minha filha Valquíria, a luz da minha vida e fonte de toda a minha força de vontade para continuar por todos esses anos.

Ao meu companheiro Guilherme, dedico uma parte especial dessa conquista. Sua parceria, escuta e suporte foram indispensáveis. Você que me acompanhou por toda a minha graduação atuando como base firme de sustento. Você sempre terá a minha eterna gratidão.

Aos meus amigos de universidade, especialmente Afonso, Jarllys, Duda e Camila, não tenho palavras o suficiente para agradecer por todo acolhimento. Obrigada por ouvirem meus desabafos repetitivos, por chorarem e rirem comigo, e principalmente, por não me deixarem desistir e me impulsionarem sempre para cima. Cada momento foi muito precioso e compartilhar essa jornada com vocês tornou tudo mais fácil.

Agradeço à Universidade de Brasília, por ter sido espaço de construção de conhecimento, vivências e amadurecimento, e aos professores que me acompanharam até aqui, desde os que tive contatos mais breves aos que mais me marcaram. Obrigada pelos saberes compartilhados.

Em especial, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Eraldo, que me cativou desde 2017, na sua aula de incêndios florestais. Admiro-o como profissional e como pessoa, por seu imenso conhecimento, paciência e bom humor. Sua orientação foi mais que acadêmica, mantendo-se sempre calmo e paciente durante a produção desse trabalho. Agradeço a oportunidade e orientação.

A cada pessoa que me acompanhou nessa travessia, direta ou indiretamente, obrigada!

RESUMO

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DO FOGO NO BIOMA CERRADO ENTRE 1985 E 2023

A ocorrência do fogo no bioma Cerrado consiste num problema ambiental e socioeconômico que vem se agravando com a intensificação da ocupação agrícola e pecuária e as mudanças climáticas globais. Entender melhor a ocorrência do fogo do ponto de vista espaço-temporal é essencial para proporcionar o melhor controle do fogo no Bioma. No presente trabalho, foi analisada a dinâmica espacial e temporal da ocorrência do fogo no bioma Cerrado entre 1985 e 2023, usando dados do projeto MapBiomas Fire e a plataforma *Google Earth Engine*. A análise considerou a distribuição do fogo por classes de uso e cobertura da terra, bem como a sua ocorrência em Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs), com recortes por estados e regiões geográficas. Os anos de maior ocorrência do fogo foram 2007, 2010 e 1988, enquanto os menores registros foram observados em 2009, 2018, 2006 e 1992 e 1989. As classes de uso da terra mais atingidas pelo fogo foram a formação savântica, campo alagado e formação campestre, sendo que a ocorrência da maioria das áreas queimadas nos estados de Tocantins, Mato Grosso e Maranhão. A maior ocorrência do fogo foi observada nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, com taxas até seis vezes superior às médias das demais regiões. Observou-se também um comportamento cíclico da ocorrência do fogo, que pode ter sido influenciado por fatores como a pluviosidade, disponibilidade de biomassa combustível, desmatamento e proximidade de atividades agropecuárias. As maiores áreas atingidas pelo fogo foram observadas em vegetação natural, indicando que existe maior controle do fogo nessas áreas. Áreas legalmente protegidas apresentaram menor ocorrência do fogo em relação às áreas não protegidas, exceto a TI Parque do Araguaia e o Parque Nacional do Araguaia, ambas no estado do Tocantins, com grandes áreas atingidas (acima da média do Bioma) pelo fogo. Entre os Estados, Tocantins apresentou a maior área atingida por fogo em TIs, e a Bahia em UCs. Subsequentemente, Goiás se destacou com a maior área atingida por fogo dentro de UCs, enquanto Mato Grosso ficou em segundo lugar em ocorrência de fogo dentro de TIs. Quanto ao regime de gestão, as UCs de proteção integral apresentaram menor ocorrência de fogo quando comparadas com as UCs de uso sustentável nos estados da Bahia, Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal. Esse comportamento se inverteu nos estados do Tocantins, Piauí, Maranhão e Minas Gerais. O total de áreas atingidas por fogo foram proporcionais nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo. Os resultados deste estudo reforçam a necessidade de políticas públicas integradas para a prevenção, manejo e monitoramento do fogo, com estratégias específicas, priorizando áreas para serem protegidas do fogo, a fim de preservar a biodiversidade e reduzir os impactos socioambientais desses eventos no Cerrado.

Palavras-chave: Cerrado; Fogo; Sensoriamento Remoto; MapBiomas; Áreas protegidas.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF FIRE OCCURRENCE IN THE CERRADO BIOME BETWEEN 1985 AND 2023

Fire occurrence in the Cerrado biome represents a growing environmental and socio-economic challenge, increasingly driven by the expansion of agricultural and livestock activities, as well as global climate change. Understanding the spatiotemporal dynamics of fire is crucial to improving fire management strategies in the biome. This study analyzed the spatial and temporal patterns of fire in the Cerrado between 1985 and 2023, using data from the MapBiomass Fire project and the Google Earth Engine platform. The analysis examined fire distribution across land use and land cover classes, as well as its incidence within Conservation Units (CUs) and Indigenous Lands (ILs), with breakdowns by state and geographic region. The years with the highest fire incidence were 2007, 2010, and 1988, while the lowest levels were recorded in 2009, 2018, 2006, 1992, and 1989. The land use classes most affected by fire were savanna formations, flooded grasslands, and open grasslands. The largest burned areas were concentrated in the states of Tocantins, Mato Grosso, and Maranhão. Fire was most prevalent in the Northeast and Central-West regions, where occurrence rates were up to six times higher than those in other regions. A cyclical pattern in fire occurrence was observed, likely influenced by factors such as rainfall variability, availability of combustible biomass, deforestation, and proximity to agricultural activities. Natural vegetation areas were the most extensively affected by fire, highlighting the relative lack of fire control in these zones. Legally protected areas generally experienced lower fire occurrence compared to unprotected areas, except for the Araguaia Indigenous Land and the Araguaia National Park in Tocantins, both of which recorded above-average fire activity. Among the states, Tocantins had the largest area burned within Indigenous Lands, while Bahia led in fire-affected areas within Conservation Units. Goiás also stood out with the largest burned area in CUs, while Mato Grosso ranked second in fire occurrence within ILs. Regarding management categories, strict protection Conservation Units recorded lower fire occurrence than sustainable use units in Bahia, Mato Grosso, Goiás, and the Federal District. However, this trend was reversed in Tocantins, Piauí, Maranhão, and Minas Gerais. In Mato Grosso do Sul and São Paulo, the total area affected by fire was proportionally distributed. The findings underscore the urgent need for integrated public policies aimed at fire prevention, management, and monitoring. Tailored strategies should be developed to prioritize the protection of high-risk areas, safeguard biodiversity, and mitigate the socio-environmental impacts of wildfires in the Cerrado biome.

Keywords: Cerrado Biome; Wildfires; Conservation Units; Indigenous Lands; Remote Sensing; MapBiomass.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 Problema e questão de pesquisa..... | 13 |
| 2. OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 Objetivo Geral | 13 |
| 2.2 Objetivos específicos | 13 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 14 |
| 3.1 Bioma Cerrado | 14 |
| 3.2 Ecologia do fogo no Cerrado | 15 |
| 3.3 Uso antrópico do fogo e impactos ambientais | 16 |
| 3.4 Estatísticas do fogo no Cerrado | 18 |
| 3.5 Ferramentas de monitoramento | 19 |
| 3.5.1 MapBiomas..... | 19 |
| 3.5.2 Google Earth Engine..... | 20 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 21 |
| 4.1 Caracterização da área de estudo | 21 |
| 4.2 Aquisição e Processamento e Análise de Dados | 26 |
| 4.3 Análise das áreas queimadas..... | 26 |
| 4.3.1 Análise por Classe de Uso e Cobertura do Solo: | 27 |
| 4.4.2 Análise nas Unidades de Conservação e Terras Indígenas..... | 28 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 5.1 Área total queimada e dinâmica temporal do fogo (1985–2023) | 29 |
| 5.2 Análise por Classe de Uso e Cobertura do Solo | 33 |
| 5.3 Áreas Protegidas: Unidades de Conservação e Terras Indígenas | 37 |
| 5.4 Análise por geografia..... | 43 |
| 6. CONCLUSÃO | 51 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localização do Bioma Cerrado e sua distribuição espacial nos estados Brasileiros | 22 |
| Figura 2. Distribuição espacial das Terras Indígenas localizadas no Bioma Cerrado | 24 |
| Figura 3. Distribuição espacial das Unidades de Conservação no Bioma Cerrado..... | 25 |
| Figura 6. Distribuição percentual da área queimada por classe de uso do solo no Cerrado (1985-2023). | 34 |
| Figura 9. Área atingida por fogo relativa às categorias de áreas protegidas em cada Estado (1985–2023)..... | 37 |
| Figura 10. Proporção da área atingida por fogo em terras indígenas por estado no Bioma Cerrado (1985-2023)..... | 38 |
| Figura 11. Proporção da área queimada em unidades de conservação por estado do Cerrado 1985-2023)..... | 41 |
| Figura 12. Média de área queimada em Unidades de conservação no Cerrado por região do Brasil (1985-2023) | 41 |
| Figura 13. Comparativo de área queimada entre unidades de conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável por região brasileira. O estado do paraná não possui nenhuma UC de proteção Integral, por isso não foi considerada para a comparação..... | 43 |
| Figura 14. Distribuição da área total atingida por fogo no Cerrado por Estados (1985-2023)..... | 44 |
| Figura 15. Evolução da área total atingida por fogo (em mil hectares) nos estados MT, MS, DF e GO (Centro-Oeste)..... | 44 |
| Figura 16. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) nos estados MA, PI e BA (Nordeste) | 45 |
| Figura 17. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) nos estados PA, TO e RO (Norte) .. | 46 |
| Figura 18. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) nos estados SP e MG (Sudeste) | 46 |
| Figura 19. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) no estado do PR (Sul) | 47 |
| Figura 20. Total de área queimada absoluta entre os estados do bioma Cerrado | 48 |
| Figura 21. Distribuição percentual da área total atingida por fogo no Cerrado, por regiões brasileiras, entre 1985 e 2023..... | 50 |
| Figura 22. Distribuição temporal de área do Cerrado atingida por fogo, divididas entre natural e antrópica, das regiões brasileiras (1985-2023). Para melhor visualização dos resultados, a escala da região Sudeste foi alterada. A região Sul não demonstrou resultado numericamente relevante..... | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Proporção média de área queimada em TIs no Cerrado por estados (1985-2023)..... | 38 |
| Tabela 2. Proporção de áreas queimadas por terra indígena mais afetadas em relação ao total por estado (1985-2023). | 39 |
| Tabela 3. Proporção média de área queimada em UCs no Cerrado por estados (1985-2023). | 40 |
| Tabela 4. Proporção de áreas queimadas por unidades de conservação mais afetadas em relação ao total por estado (1985-2023). | 42 |
| Tabela 5. Área atingida por fogo por categoria de uso e cobertura da terra e a proporção em relação à área total por região Brasileira no Cerrado (1985–2023)..... | 49 |

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Códigos da legenda de classes de uso e cobertura da terra do bioma Cerrado para os valores de pixel obtidos na coleção 8 da plataforma MapBiomas..... 27

1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado é a maior savana da América do Sul e a mais rica em biodiversidade no planeta, com 44% de endemismo das espécies de plantas (WWF, 2017). É também considerado o segundo maior bioma do país em área, seguindo apenas a floresta Amazônica (RIBEIRO; WALTER, 1998). Considerado o “berço das águas”, seu território abriga as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), resultando em um elevado potencial aquífero (MMA, 2024). Além de ser um importante *Hotspot* mundial (região ameaçada que abriga significativa biodiversidade).

Em todo o planeta, as áreas de savana têm sido amplamente utilizadas para atividades agropecuárias e demais formas de ocupação humana, geralmente com o uso excessivo do fogo como agente de manejo (WALTER; RIBEIRO, 2010). Ainda que o Cerrado seja um bioma adaptado para resistir ao fogo e conhecido por suas queimadas naturais, o uso deste para práticas agrícolas, também é prejudicial (KLINK; MACHADO, 2005). Ainda segundo Klink e Machado (2005), as transformações no Cerrado causadas não só pelo uso do fogo, mas também por ele, ocasionam danos como a fragmentação de habitats, perda da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e possivelmente modificações climáticas regionais. Justamente pelo crescimento do uso do fogo como método de manejo agrícola, com as crescentes consequências dessa prática no meio ambiente, torna-se necessário o monitoramento das queimadas na região, adquirindo informações necessárias para o controle de queimadas e combate a incêndios e para a proteção da biodiversidade local.

No Brasil, a detecção e monitoramento dos focos de queimadas e incêndios florestais são detectados orbitalmente por satélites. Também é possível fazer o cálculo e previsão de risco e dinâmica do fogo de vegetação através de Programas de Queimadas sob desenvolvimento e responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (JESUS, et al., 2020) e através de plataformas de monitoramento como o MAPBIOMAS *fire*, por exemplo. A quantificação de áreas queimadas é geralmente realizada através do sensoriamento remoto e geoprocessamento, podendo ser gerado a partir de dados orbitais periódicos. Os sensores normalmente utilizados são TM/Landsat e do AVHRR/NOAA, cada qual apresentando limitações (LOMBARDI; KRUG; SANTOS, 2005).

No presente estudo, foi analisada a ocorrência do fogo em todo o bioma Cerrado utilizando dados dos Projetos Mapbiomas Fire e Mapbiomas Uso e Cobertura do Solo,

disponibilizados na plataforma Google Earth Engine, para o período entre 1985 e 2023. Foi também conduzida uma análise espaço-temporal das variáveis espacialmente explícitas de influência para a ocorrência do fogo na região de estudo, determinando a variável de maior impacto. Os resultados desta pesquisa proporcionam informações relevantes para o monitoramento e combate aos incêndios florestais no bioma Cerrado, bem como podem auxiliar no manejo adequado das queimas controladas.

1.1 Problema e questão de pesquisa

A região do Cerrado abriga um imenso valor ambiental, social e econômico, constantemente posto em risco por ser um bioma marcado pela expansão da produção da agricultura de *commodities* e pela abertura pastos. Tais práticas, muitas vezes, demandam o uso do fogo como método barato e acessível para limpeza de resíduos, após a retirada da vegetação nativa para a abertura de novos campos ou apenas para a manutenção de cultivos já instalados.

Tal uso do fogo, se empregado de maneira não controlada, acaba irrompendo para a vegetação nativa gerando incêndios que alteram a dinâmica natural do fogo no bioma, comprometendo a biodiversidade, os solos, os recursos hídricos e até a saúde da população.

Diante dessa problemática, o presente trabalho foi norteado pelas seguintes questões de pesquisas: 1) Qual a dinâmica do fogo no bioma Cerrado, considerando a sua frequência ao longo dos anos analisados, as classes de uso e cobertura da terra, os Estados e as áreas mais afetados? 2) Qual a efetividade das Terras Indígenas e Unidades de Conservação na contenção da ocorrência e propagação do fogo?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a dinâmica espaço-temporal dos incêndios florestais ocorridos dentro de todo o bioma Cerrado brasileiro, incluindo as áreas protegidas e as unidades administrativas, entre 1985 e 2023.

2.2 Objetivos específicos

- Mapear as áreas queimadas dentro do bioma Cerrado brasileiro usando a plataforma *Google Earth Engine* e o MAPBIOMAS *fire*, ao longo dos últimos 38 anos;
- Verificar as classes de uso e cobertura da terra mais impactados pelo fogo;
- Analisar a eficiência da proteção de Unidades de Conservação e Terras Indígenas contra o fogo
- Analisar o padrão e a distribuição espacial e temporal dos incêndios florestais;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bioma Cerrado

Segundo Walter, Carvalho e Ribeiro (2008) no Brasil, a savana tem sido fortemente associada pelo público leigo à vegetação encontrada no continente africano. Entretanto, o primeiro termo referente à savana encontrado foi em 1535 e referia-se à formação vegetal nas regiões do Caribe e partes da América do Sul, sendo descrita pelo historiador e escritor Fernández Oviedo como “terra que está sem árvores, mas com muita erva alta e baixa” (SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008). Apesar de o conceito de savana ter mudado muitas vezes ao longo das décadas e ainda assim não ter apenas uma única definição universal, despertando controvérsias em relação ao grande número de interpretações (AQUINO; PINTO; RIBEIRO, 2009), é sabido que o Cerrado se apresenta como a maior formação savântica da América do Sul, podendo ser encontrado predominantemente no território brasileiro, mas também em uma pequena parte do Paraguai e Bolívia.

Cobrindo cerca de 23% do Brasil, o Cerrado está localizado basicamente no Planalto Central do Brasil e possui uma área de mais de 2 milhões de km² (RIBEIRO; WALTER, 2008), percorrendo pelos estados do Goiás, Tocantins, Distrito federal, Mato Grosso do Sul e porções dos estados do Pará, Ceará, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Piauí, Rondônia, São Paulo e Paraná. Devido a sua extensão, é considerado o segundo maior bioma do país, seguindo a Floresta Amazônica. Em seu território se encontra a nascente de três grandes bacias hidrográficas da América Latina, sendo elas a Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata, favorecendo a sua biodiversidade (MMA, 2002) e, do ponto de vista hidrológico, por estar situado em zonas de planalto, pode-se encontrar diversas nascentes de rios que atuam como áreas de recarga hídrica, contribuindo para grande parte das bacias hidrográficas brasileiras (LIMA; SILVA, 2005).

O clima do Cerrado possui duas estações, onde um período é chuvoso (outubro a março) e outro é seco (abril a setembro). A precipitação média anual fica entre 1200 mm a 1800 mm. e as temperaturas são amenas, variando entre 22°C e 27°C (USP, 2025). Porém, diferente das savanas africanas, a densidade e forma de vegetação do bioma não dependem do grau de pluviosidade, mas sim de fatores edáficos e das modificações pelo fogo e corte (ICMBIO, 2025). Em áreas de Cerrado, as composições dos mosaicos paisagísticos estão mais associadas aos fatores de natureza edáfica, do que os fatores climáticos, apesar deste último não poder ser ignorado. Além das condições climáticas e edáficas, as variações de diferentes fitofisionomias do Cerrado também são influenciadas pela profundidade e capacidade de retenção de água,

fertilidade do solo, geomorfologia, e pelas interferências humanas através do fogo e pelo pastejo (COLE, 1986; PIVELLO, 2011).

Segundo Ribeiro e Walter (1998), ao total, existem onze tipos de fitofisionomias do Cerrado, podendo ser enquadrados em:

- Formações Florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão). Compostos principalmente por vegetação arbórea, com formação de dossel;
- Savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda). Caracterizam-se pela presença de estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo, espaçados em diferentes densidades. São encontradas espécies arbóreas também.
- Campestres (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo). Neste é encontrado maior presença de arbustos e subarbustos do que espécies arbóreas.

Além das diferentes fitofisionomias, o Cerrado abriga a maior biodiversidade dentre as savanas do mundo, apresentando um alto nível de endemismo. O bioma possui endemismo de 44% para plantas vasculares, 30% para anfíbios, 20% para répteis, 12% para mamíferos e 1,4% para aves (SILVA; SANTOS, 2005).

Entretanto uma parte considerável de sua biodiversidade se encontra em risco de extinção, levando o bioma a ser considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade. Alho (2001) explicou que para ser classificado como um *hostpot*, é tido como parâmetro o endemismo da região e a quantidade de cobertura natural perdida, sendo de pelo menos 70%.

3.2 Ecologia do fogo no Cerrado

Comprovadamente, o Cerrado já coexiste com o fogo há milhares de anos. Os pesquisadores Salgado-Labouriau e Ferraz-Vicentini (1994) constataram a presença de partículas de carvão nos sedimentos de uma vereda localizada em Cromínia (GO), indicando que a ocorrência de queimadas era comum na região entre 32.400 a 3.500 anos AP (antes do presente), e sugeriram que estas eram ocasionadas principalmente pelos habitantes da região, para a realização de diversas atividades.

Complementando, Pivello (2011) classificou o Cerrado como um bioma dependente/influenciado pelo fogo, já que é beneficiado pelo seu manejo adequado, em relação a manutenção da biodiversidade e dos seus processos ecológicos. O fogo atua como agente regulador e condicionante para as fitofisionomias do Cerrado sentido amplo, além de ser fundamental para a continuidade do ciclo de vida de muitas espécies de plantas (WALTER;

RIBEIRO, 2010). Entretanto, estudos mostraram que os organismos do bioma se mostraram adaptados não ao fogo em si, mas a um regime de queima definido pela sazonalidade e frequência de ocorrência. Por isso, mudanças ocasionadas nessa dinâmica de queima, em termos de duração, intensidade e frequência, podem alterar a resposta dos organismos ao fogo (MIRANDA; NETO; NEVES, 2010).

A suspensão completa do fogo no Cerrado tampouco se torna benéfica, resultando no desequilíbrio dos processos ecológicos, na alteração negativa das fitofisionomias, e no acúmulo excessivo de biomassa (ROCHA; NASCIMENTO, 2021). Este último acresce consideravelmente o risco de incêndios florestais de maior magnitude. Dito isso, entende-se que o fogo ocorre naturalmente no Cerrado. E de fato, queimadas podem acontecer através de causas naturais ou não. Estudos de Schnell, Ferri, Budowski, Walter e outros, citados na publicação de Nascimento (2001), comprovaram que fatores como descargas elétricas, combustão espontânea e atritos entre rochas, são considerados alguns dos causadores de queimadas naturais na região, ocorrendo principalmente na época seca, onde as gramíneas se tornam especialmente inflamáveis.

Apesar da eventualidade do fogo desencadeada por processos naturais, o causador mais comum do fogo no Cerrado é o ser humano. O fogo atualmente é usado principalmente para a remoção da vegetação natural, visando a implementação de campos de agricultura ou pastos (PIVELLO, 2011) e queima de restos vegetais. Provando tal ponto, o trabalho de Rocha e Nascimento (2021) mostra uma maior concentração nos focos de queimadas nas regiões de maior expansão agrícola, ocupação e desmatamento, como as regiões do MATOPIBA e Mato Grosso.

3.3 Uso antrópico do fogo e impactos ambientais

Como resposta à presença do fogo no Cerrado por milhares de anos, a vegetação passou a apresentar diversas características físicas e morfológicas como adaptação a este elemento. Coutinho (2002) citou algumas características, como a tortuosidade típica dos troncos e a presença da camada de cortiça nas suas cascas, protegendo os indivíduos lenhosos das altas temperaturas, nota-se também a presença de raízes profundas e órgãos lenhosos subterrâneos (xilogódios, bulbos, etc.), permitindo o acesso das plantas à água e nutrientes, tornando possível o seu crescimento e desenvolvimento mesmo após a passagem do fogo e em períodos de estiagem severa. De forma geral, após queimadas, a mortalidade é maior entre novos

indivíduos e os de pequeno porte, já que estes não apresentam proteção efetiva contra altas temperaturas (SATO; MIRANDA; MAIA, 2010).

Com relação à paisagem de maneira geral, Coutinho (2002) destacou que um dos efeitos bióticos do fogo no Cerrado mais notáveis é a transformação da fisionomia e da estrutura da vegetação. A tendência após a ocorrência do fogo é a regressão de todos os tipos fisionômicos para uma paisagem mais aberta, demonstrando a diminuição considerável do componente lenhoso e arbustivo e desenvolvimento de estratos inferiores e dominância de gramíneas, que se beneficiam pela deposição de cinzas na superfície do solo (FELFILI; SOUZA-SILVA; SCARIOT, 2005).

Dito isso, as fitofisionomias florestais são consideradas menos suscetíveis aos incêndios naturais, já que sua flora não apresenta tantas adaptações ao fogo quanto as de formação savânica e campestre. Assim, nas épocas secas, com o acúmulo de biomassa combustível, o fogo se espalha com maior facilidade pelas savanas e campos, apresentando maior dificuldade ao penetrar nas florestas (WALTER; RIBEIRO, 2010).

Apesar dos efeitos não tão severos após queimadas de ocorrências naturais, a modificação no regime de fogo pode alterar a resposta de diversas espécies da flora do Cerrado que já se demonstram adaptadas, prejudicando sua reprodução e floração e ocasionando na perda de biodiversidade (MEDEIROS; MIRANDA, 2005; ROCHA; NASCIMENTO, 2011). Segundo Sato, Miranda e Maia (2010), os danos serão proporcionais ao intervalo de queima, se acentuando caso aconteçam em intervalos menores. Já como resposta mais sutil aos olhos, episódios de queimadas constantes ocasionam na perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos (KLINK; MACHADO, 2005).

Não apenas a vegetação do Cerrado é afetada pela ocorrência do fogo, mas consequências ocorrem também na sua fauna. Como efeito mais óbvio, se tem a mortalidade, a perda de peso em mamíferos devido inanição por redução drástica na oferta de alimentos e a redução na reprodução destes animais (HENRIQUES, 2010).

Climaticamente, combustão da biomassa seca gera a emissão de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Gases que podem ser incorporados na atmosfera, colaborando para o efeito estufa. A emissão de CO₂ pode ser reincorporada à vegetação, porém o deforestamento causado após queimadas constantes provoca prejuízo na capacidade de sequestro de carbono regional. A emissão desses gases durante a estação seca gera uma cama de fumaça sobre uma área extensa, combinando o espalhamento e a absorção de radiação longa e curta na atmosfera, além da alteração na dinâmica de formação de nuvens, tornando-as menos

favoráveis para a produção de chuvas, podendo afetar todo o ciclo hidrológico (LOHMANN; FEICHTER, 2005 apud PEREIRA et al. 2016; FREITAS, 1999). Os efeitos dessas emissões ultrapassam a escala local, atingindo a atmosfera de toda a América do Sul e áreas oceânicas vizinhas, tendo potencial inclusive, para atingir efeitos de escala global (FREITAS et al., 2005).

A análise de Lara, Fiedler e Medeiros (2007) demonstra que, apesar do fogo ser empregado como um método barato de preparo das terras para o plantio de culturas e renovação de pastagens, este acaba também acarretando prejuízos para os fazendeiros e agricultores praticantes que accidentalmente, incendeiam áreas indesejadas de suas propriedades, como plantações, pastos, benfeitorias e outros. Afetando inclusive, propriedades vizinhas.

Conjuntamente, através da literatura disponível, Oliveira et al. (2022) concluem que podem ser adicionadas como consequências socioeconômicas do fogo no Cerrado, o comprometimento das fontes de água e de recreação, além do decréscimo na saúde devido a poluição do ar proveniente dos incêndios. As mudanças no uso da terra causadas pela queima de biomassa têm relação à maior probabilidade de mortes, perda de capacidade de trabalho, redução da produtividade do trabalho e doenças crônicas (IPCC, 2020).

3.4 Estatísticas do fogo no Cerrado

O trabalho de Rocha e Nascimento (2021) demonstra uma quantidade média de queimadas anuais no Cerrado, no período de 1999 a 2018, de 69.513 mil focos, com média assimétrica neste intervalo. O estudo presente não conclui um motivo para essa assimetria declarada, porém determina que a distribuição mensal das queimadas possui forte dependência da sazonalidade das chuvas no bioma, já que a maior incidência de queimadas no Cerrado (72% - 82%), acontece no fim do período seco do bioma, entre agosto e outubro. Esse período caracteriza-se com o retorno das chuvas, trazendo a renovação dos pastos e se tornando o momento mais propício para o preparo de áreas de plantio e queima de restos vegetais. Também dita que uma maior quantidade de focos de queimadas no bioma pode ser observada durante os anos de atuação do fenômeno *El Niño*, do contrário dos períodos da fase negativa deste fenômeno (*La Niña*), onde o fogo ocorreu em menores quantidades.

Seguindo o fundamento da sazonalidade, além do fogo iniciado por mãos humanas, quando tratamos de queimadas naturais, estas também acontecem em sua maioria no início da estação chuvosa, quando a vegetação herbácea ainda está seca e é atingida pela grande quantidade de raios, causados pelas tempestades comuns nesse período do ano (LIMA, 2018).

Em termos espaciais, uma maior frequência e extensão de áreas queimadas se encontrou principalmente no meio-norte, norte e transições com os biomas Amazônia e Pantanal, regiões que se diferem das outras por sua densidade demográfica e uso e cobertura da terra. Tais focos de queimadas aconteceram em sua grande maioria, nos estados do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso, respectivamente. Estes estados compõem grande parte da região do MATOPIBA, considerada como a maior fronteira agrícola do Brasil, destacando-se pela produção em massa de *commodities*, resultando na constante conversão da vegetação e dos focos de queimadas (ALVES; ALVARADO, 2019; ROCHA; NASCIMENTO, 2021).

Segundo Alves e Alvarado (2019) as extensões de formação savânica e campestre foram as mais atingidas pelo fogo, divergindo de regiões com fragmentação da paisagem, como acontece em áreas agrícolas e de pastagens. Entretanto, os autores destacam que, apesar da maior incidência do fogo em áreas de cobertura natural, não se pode descartar que tais queimadas tenham ignições antrópicas, iniciadas para fins agropastoris e que, intencionalmente ou não, tenham avançado para áreas de cobertura vegetal natural.

3.5 Ferramentas de monitoramento

3.5.1 MapBiomass

O Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra do Brasil (MAPBIOMAS) trata-se de uma rede colaborativa fundada em 2015, constituída por especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação. Com processamento via nuvem e execução realizada via *Google Earth Engine*, é gerada uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra desde o ano de 1985, e monitoramento mensal da água e de cicatrizes do fogo do Brasil (MAPBIOMAS, 2021).

O objetivo principal do projeto, ao disponibilizar o acesso livre e gratuito da plataforma, é fornecer informações atualizadas e temporais, gerando muitas informações em um menor período, auxiliando todo planejamento e tomada de decisões de redução dos impactos ao meio ambiente (MAPBIOMAS, 2025).

Para isso, são utilizadas séries temporais de imagens *Landsat*, de resolução espacial de 30 m x 30 m, disponibilizadas e processadas na plataforma *Google Earth Engine*. Os resultados são submetidos a uma validação com base em amostras, onde cada pixel é classificado entre 27 classes de uso da terra, gerando imagens posteriormente separadas por bandas, formando mosaicos salvos como uma coleção de dados (Asset), criando uma composição RGB que permite a visualização das imagens disponibilizadas na plataforma (MAPBIOMAS, 2025).

Incluído no projeto, encontra-se o MAPBIOMAS *fire*, disponibilizando o mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil, com dados anuais desde 1985 a 2023. O método e resolução utilizados são os mesmos anteriormente explicados, sendo baseado em mosaicos de imagens dos satélites Landsat com resolução espacial de 30 metros. Para o processo, é utilizado inteligência artificial com algoritmos de aprendizagem de máquina (*deep learning*) nas plataformas *Google Earth Engine* e *Google Cloud Platforms*, oferecendo extensa capacidade de processamento em nuvem e servidores locais para o processamento adicional. A plataforma inclui uma coleção vasta de dados, incluindo a ocorrência de fogo mensal e anual, a frequência, a área queimada acumulada, o tamanho das cicatrizes e o ano da última ocorrência do fogo. A identificação das áreas queimadas por tipo de uso e cobertura da terra foi realizada com base nas classes da Coleção 9 do MapBiomas Uso e Cobertura. (MAPBIOMAS, 2024c).

A análise de acurácia é fundamental para avaliar a qualidade do mapeamento realizado pela plataforma escolhida. Tal dado determina a taxa de acerto geral e as estimativas de acerto e erro para cada classe mapeada. As informações detalhadas da acurácia utilizada podem ser consultadas no site da plataforma (MAPBIOMAS, 2025).

Para o presente trabalho, utilizou-se a acurácia para classes de nível 3 (Formação Florestal; Formação Savânica; Floresta Plantada; Formação Campestre; Pastagem; Lavoura Temporária; Mosaico de Usos; Área Urbanizada; Rio, Lago e Oceano e Lavoura Perene) do bioma Cerrado, estimada e disponibilizada pelos responsáveis do projeto, considerando a coleção 8 deste. O resultado se deu no valor de 76.1% de acurácia geral.

3.5.2 Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma “plataforma baseada em nuvem para processamento computacional de dados geoespaciais em grande escala” (CARVALHO; FILHO; SANTOS, 2021). Lançado oficialmente em 2010, foi projetado para armazenar e processar dados geoespaciais em escala de *petabytes*. Dentro de seu armazenamento, inclui-se todo o catálogo do LANSAT, Sentinel (1 a 5) e dados MODIS, disponibilizando dados mundiais de precipitação, cobertura/uso da terra, mudanças climáticas, urbanização, florestas e outros (GEE, 2020; ZHAO et al., 2021). Seus serviços são disponibilizados gratuitamente a todos os usuários cadastrados, tornando a informação acessível.

Atualmente, o GEE é considerado a plataforma de computação em nuvem mais popular na ciência do sistema terrestre, permitindo o uso de códigos de comandos (scripts) em duas linguagens de programação diferentes: Java script e Python, além de hospedar séries temporais

de registros de observação de Terra (ZHAO et al., 2021). Segundo Carvalho, Filho e Santos (2021), a plataforma é acessada e controlada por meio de uma Interface de Programação de Aplicação (API, sigla em inglês), acessível via navegadores web em um Ambiente de Desenvolvimento Interativo (IDE, sigla em inglês), que permite o uso intuitivo, sem demandar conhecimento prévio de desenvolvimento de aplicativos ou programação web do usuário.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo envolve toda a região do bioma Cerrado, circunscrito às latitudes 2°10'53" e 24°48'41" Sul e longitudes 41°39'51" e 60°13'18" Oeste, ocupando uma área de 2.036.448 km² (cerca de 22% do território brasileiro) composta pelos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, juntamente com parcelas do Amapá, Roraima e Amazonas (Figura 1), classificando-se como o segundo maior bioma da América do Sul (MMA, 2024; IBGE, 2016).

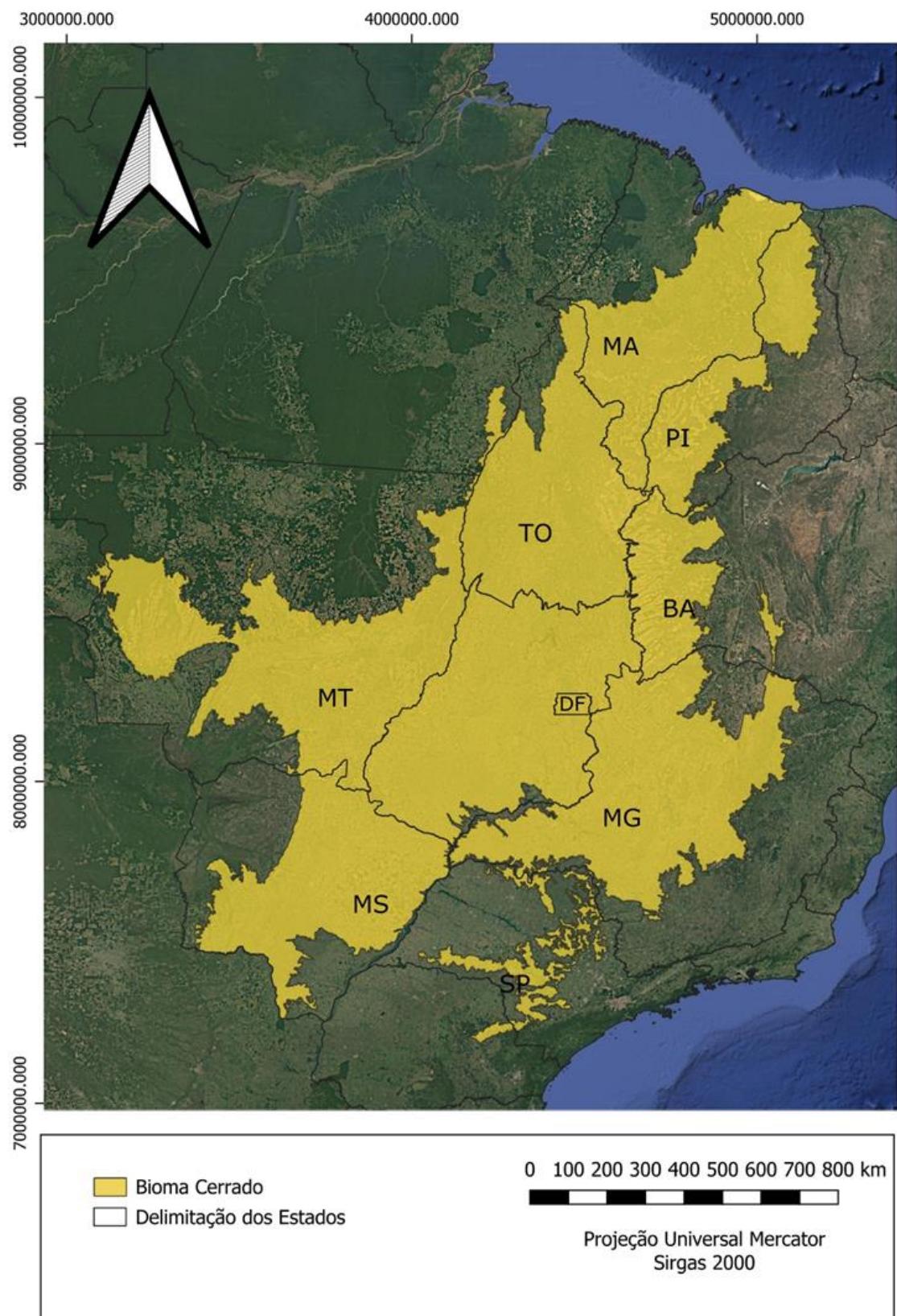


Figura 1. Localização do Bioma Cerrado e sua distribuição espacial nos estados Brasileiros

O bioma, por sua dimensão, compreende uma grande diversidade pluviométrica e térmica, porém prevalece a tipologia de clima tropical, quente e úmido, com chuva de verão e

inverno seco (NIMER, 1989 apud ROCHA; NASCIMENTO, 2021) com precipitação média anual de 1500mm, variando de 750 a 2000mm (RIBEIRO; WALTER, 1998). A vegetação apresenta grande heterogeneidade das suas fitofisionomias, variando desde fitofisionomias campestres e savânicas a formações florestais.

No ano de 2020, constatou-se cerca de 48,6% da área do Cerrado mantendo sua vegetação natural primária; 29,3% composto por pastos e 15,9% por atividades agrícolas, englobando agricultura temporária, semiperene, perene e silvicultura. As outras áreas se dividem em outras classes de cobertura e uso da terra, como vegetação natural secundária, áreas urbanizadas e corpos d'água, por exemplo (GALINARI, 2020). Além disso, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o bioma apresenta 8,21% do seu território legalmente protegido por unidades de conservação.

As Unidades de Conservação (UCs) e as Terras Indígenas (TIs) apresentam uma distribuição heterogênea no bioma Cerrado situadas nas áreas demonstradas nas figuras 2 e 3, refletindo diferentes contextos socioambientais, históricos e políticos. As Unidades de Conservação estão mais concentradas nas regiões norte de Minas Gerais, nordeste de Goiás, sul do Tocantins e oeste da Bahia. No entanto, sua distribuição é desigual, com predominância de categorias de uso sustentável, como as Áreas de Proteção Ambiental (APAs), que representam mais de 60% da área total protegida no bioma (ICMBIO, 2022). Já as UCs de proteção integral, como os Parques Nacionais, Estações Ecológicas e Reservas Biológicas, ocupam áreas mais restritas, geralmente em regiões de menor pressão antrópica e de difícil acesso (BRASIL, 2000). A concentração de UCs de uso sustentável em regiões sob forte influência do agronegócio, como o MATOPIBA, evidencia a tentativa de conciliar conservação e produção (MAPBIOMAS, 2023).

As Terras Indígenas, por sua vez, ocupam porções do Cerrado com destaque para os estados do Tocantins, Maranhão, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Segundo a FUNAI (2023), as Terras Indígenas no Cerrado somam mais de 13 milhões de hectares, desempenhando papel fundamental na preservação da vegetação nativa e na contenção do avanço do desmatamento e das queimadas, especialmente nas bordas da fronteira agrícola.

Apesar de sua importância, as áreas protegidas (UCs e TIs) cobrem menos de 12% da extensão total do Cerrado, sendo consideradas insuficientes para garantir a representatividade ecológica mínima do bioma, conforme critérios internacionais de conservação (BRITO et al., 2019). Regiões como o sul de Goiás, Triângulo Mineiro e oeste da Bahia, consideradas zonas

críticas de expansão agrícola, possuem baixa cobertura por áreas legalmente protegidas, o que fragiliza os esforços de conservação.

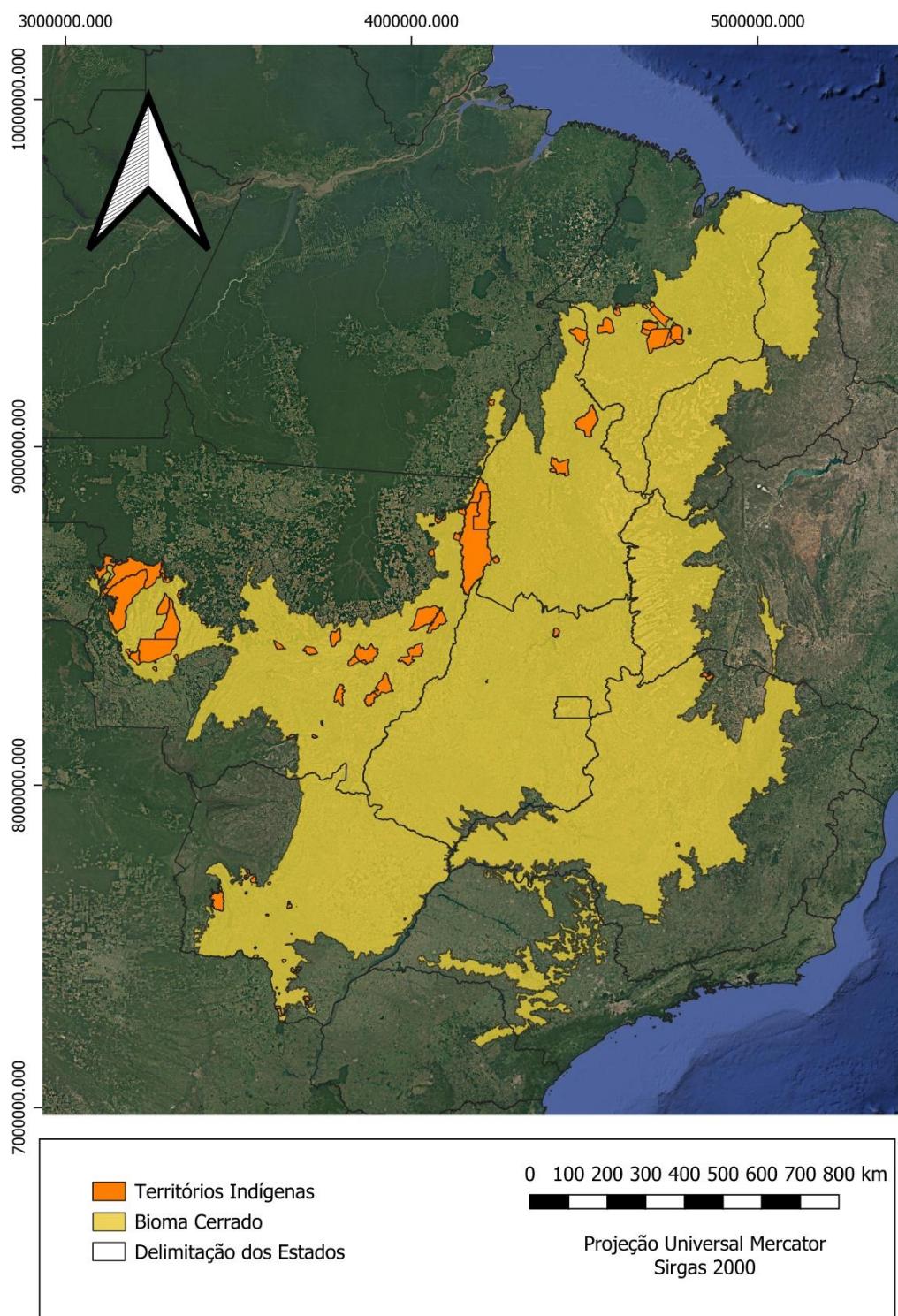


Figura 2. Distribuição espacial das Terras Indígenas localizadas no Bioma Cerrado

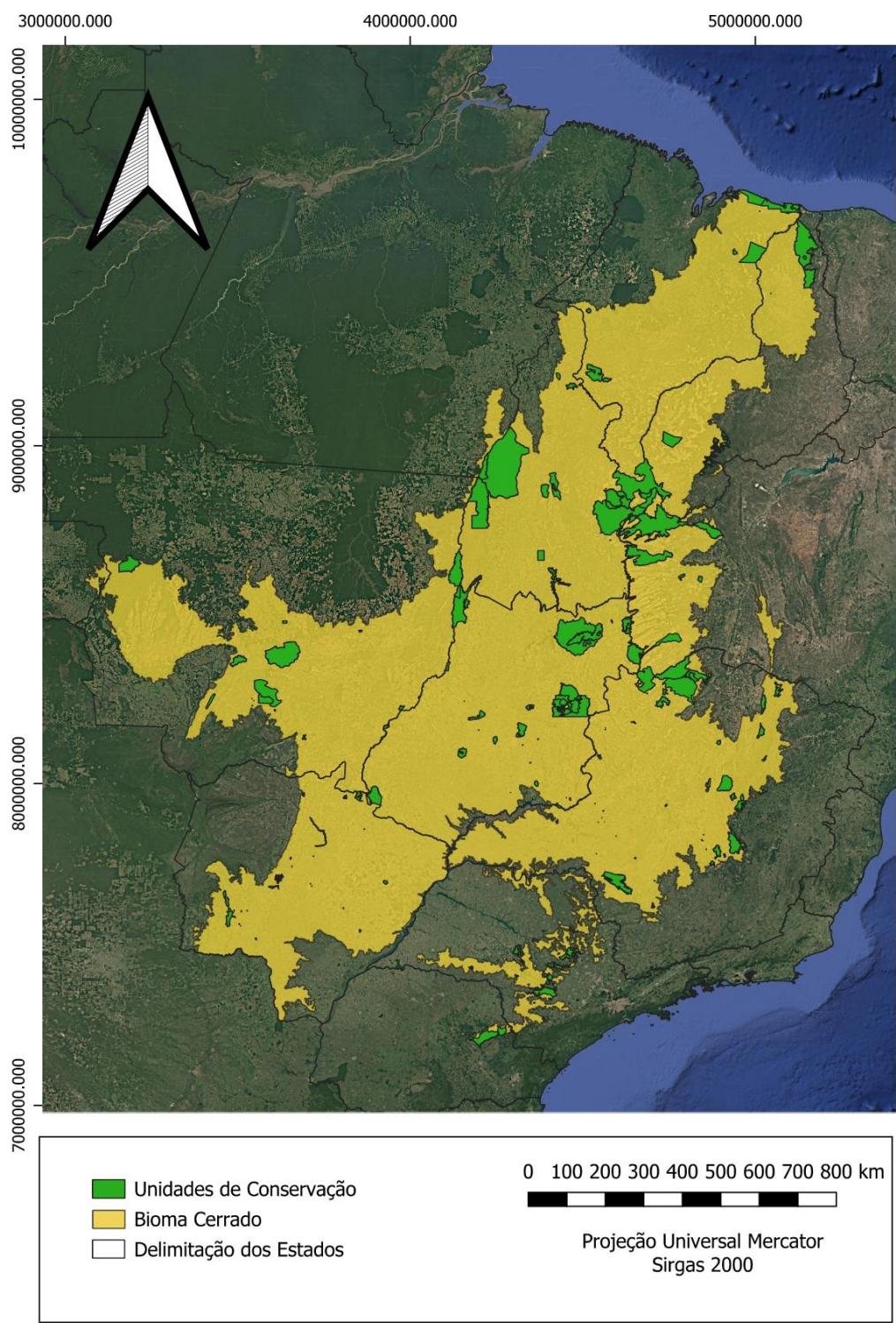


Figura 3. Distribuição espacial das Unidades de Conservação no Bioma Cerrado.

4.2 Aquisição e Processamento e Análise de Dados

As imagens espaciais utilizadas no estudo foram obtidas pelo satélite Sentinel-2, armazenadas e disponibilizadas pelo GEE. O mapeamento do uso e cobertura da terra, além da obtenção das áreas queimadas por ano foram realizados através dos projetos MAPBIOMAS E MAPBIOMAS Fire, com resolução espacial de 30 x 30m, referente aos anos de 1985 a 2023.

Os dados foram utilizados para a criação de mapas temáticos, representando estados de acordo com seus valores absolutos de áreas queimadas. Para isso, foram utilizados *shapefiles* adquiridos virtualmente, com posterior exportação dos resultados para o dispositivo particular e para softwares de SIG QGIS e ArcGis, onde foram aplicadas classificações de cor (gradientes) por intensidade de área queimada.

Para o cruzamento dos dados de áreas queimadas com as classes de uso e cobertura do solo, foi utilizada a classificação de uso da terra disponibilizada na Coleção 9 do MAPBIOMAS Uso e Cobertura da Terra. Essa sobreposição permitiu a identificação das classes de solo mais afetadas pelo fogo, bem como sua frequência e sazonalidade. Os dados extraídos foram organizados em planilhas Excel, nas quais foram compiladas informações mensais e anuais sobre a incidência do fogo em cada classe, permitindo a construção de séries temporais, bem como gráficos comparativos, representando a evolução da área queimada ao longo do tempo em todo o bioma, possibilitando a identificação de tendências e picos sazonais em diferentes períodos.

Além disso, foram realizados recortes espaciais para analisar separadamente a ocorrência do fogo em Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) situadas dentro dos limites do bioma Cerrado, por estados e, no caso das UCs, por classificação (de proteção integral e de uso sustentável). Essa etapa teve como objetivo avaliar se essas áreas legalmente protegidas apresentam menor incidência de queimadas em relação às outras áreas, contribuindo com dados relevantes para estratégias de conservação. Neste caso, a cobertura do solo foi agrupada em duas categorias principais: cobertura natural e cobertura antrópica. Essa simplificação foi adotada para facilitar a análise da intensidade do impacto do fogo em ambientes naturais em comparação às áreas modificadas pelo homem.

4.3 Análise das áreas queimadas

A organização dos dados no Excel possibilitou a geração de tabelas e gráficos de séries temporais, evidenciando a evolução anual da área queimada ao longo dos 38 anos avaliados

(1985–2023), com base em 24 das classes de solo disponíveis na legenda da Coleção 9 do MapBiomas, de acordo quadro 1.

Quadro 1. Códigos da legenda de classes de uso e cobertura da terra do bioma Cerrado para os valores de pixel obtidos na coleção 9 da plataforma MapBiomas.

| Código | Classe | Cobertura do Solo |
|--------|----------------------------|-------------------|
| 3 | Formação Florestal | Natural |
| 4 | Formação Savânica | Natural |
| 5 | Mangue | Natural |
| 6 | Floresta Alagável | Natural |
| 9 | Silvicultura | Antrópica |
| 11 | Campo Alagado | Natural |
| 12 | Formação Campestre | Natural |
| 15 | Pasto | Antrópica |
| 20 | Cana | Antrópica |
| 21 | Mosaico | Antrópica |
| 23 | Praia | Natural |
| 24 | Área Urbanizada | Antrópica |
| 25 | Outras Áreas não vegetadas | Antrópica |
| 50 | Restinga Herbácea | Natural |
| 30 | Mineração | Antrópica |
| 32 | Apicum | Natural |
| 33 | Rio, Lago e Oceano | Natural |
| 39 | Soja | Antrópica |
| 40 | Arroz | Antrópica |
| 41 | Lavouras Temporárias | Antrópica |
| 46 | Café | Antrópica |
| 47 | Citrus | Antrópica |
| 48 | Outras Lavouras Perenes | Antrópica |
| 62 | Algodão | Antrópica |

Fonte: MapBiomas - Coleção 9 (2024c).

Gráficos e mapas temáticos foram realizados para apresentar o comportamento sazonal do fogo ao longo dos anos, com destaque para os anos de maior e menor incidência, classes de solo mais afetados pelo fogo, comparação entre estados e regiões que comportam o bioma e por fim, áreas de proteção ambiental das demais áreas.

As análises foram divididas em dois eixos principais:

4.3.1 Análise por Classe de Uso e Cobertura do Solo:

A quantificação das áreas queimadas por classe de Uso e Cobertura do Solo teve enfoque especial nas classes predominantes no Cerrado, as quais foram citadas no tópico 4.3. Para cada classe, foi calculado o total de km² queimados por ano, posteriormente convertidos para

hectares, permitindo avaliar a frequência do fogo por classe de solo, a tendência ou redução das queimadas ao longo dos anos e a comparação da área queimada entre as classes de cobertura natural da antrópica.

Para a melhor visualização dos resultados obtidos através dos gráficos, as classes que não obtiveram um total de área queimada significativa ($< 15.000 \text{ km}^2$), sendo as classes: **Mangue; Floresta Alagável; Silvicultura; Cana; Mosaico; Praia; Área Urbanizada; Mineração; Apicum; Rio, lago e Oceano; Arroz; Café; Citrus; Algodão e Outras Lavouras Temporárias**, bem como a classe **Outras Áreas não Vegetadas**, foram agrupadas em uma outra classe posteriormente adicionada denominada **Demais Classes**.

4.4.2 Análise nas Unidades de Conservação e Terras Indígenas

Para avaliar a ocorrência de queimadas em UCs e TIs, foi realizada uma interseção espacial entre os dados de áreas queimadas com polígonos dessas áreas protegidas, disponibilizados via Ministério do Meio Ambiente (MMA) e pelo Instituto Socioambiental (ISA). A análise considerou apenas as ocorrências do fogo dentro dos limites dessas áreas.

As classes de cobertura do solo foram subdivididas em natural e antrópica (conforme detalhado na Tabela 1). Os dados foram organizados por estado e região, permitindo uma avaliação geográfica detalhada. As UCs foram classificadas conforme seu regime de manejo, sendo de proteção integral (PI) e de uso sustentável (US).

Com base nesses recortes, foi calculada a área total queimada para cada categoria, com o objetivo de identificar os estados e regiões com maior incidência de cicatrizes de fogo, possibilitando compreender a relação entre áreas de maior pressão da expansão agropecuária e a ocorrência de queimadas, também avaliar a efetividade das áreas protegidas na contenção do fogo, considerando se os diferentes tipos de manejo adotados influenciam nos padrões observados.

Para identificar as TIs e UCs que mais e menos sofreram com queimadas e incêndios ao longo do período analisado, foi calculada a porcentagem através da média de área queimada por ano dentro dessas regiões de proteção ambiental em relação ao total da área queimada no estado onde estão localizadas.

Para uma análise mais dinâmica e comprehensível, tanto as UCs, quanto TIs que não obtiveram um mínimo de 2 km^2 queimados ao longo dos 38 anos analisados, foram considerados não significantes e retirados do estudo.

Mapas temáticos foram gerados com o auxílio do QGIS, juntamente com gráficos utilizando o software Excel, destacando as áreas mais afetadas pelo fogo dentro das unidades analisadas, possibilitando a comparação entre o total de área queimada entre UCs e TIs versus áreas não protegidas, com o objetivo de avaliar a efetividade da proteção ambiental sobre a recorrência do fogo, fornecendo subsídios para políticas públicas de conservação. Também foram realizados mapas dos recortes por estados e regiões, bem como gráficos demonstrativos para os resultados de área queimada entre os diferentes regimes de manejo das UCs.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Área total queimada e dinâmica temporal do fogo (1985–2023)

Observou-se um comportamento variável da área total queimada ao longo dos 38 anos analisados. A evolução anual da área atingida por fogo e por classe de uso do solo (Figura 4) mostra que os anos de maior ocorrência de fogo foram 2007 e 2010. Houve também picos relevantes entre 1986 e 1988 e em 1998. Considerando todos esses anos, um total de 94,06 Mha foram queimados no Cerrado, correspondendo a 47,4% de toda a área do Bioma.

Notou-se a redução discrepante nas taxas de cicatrizes de fogo em 2009, correspondendo a uma área total queimada de 3,8 Mha, 1,9% do Bioma Cerrado. Outros anos que também apresentaram menores taxas foram 2009, 2018, 2006 e 1992 e 1989, com média de 5,3 Mha de diferentes usos e coberturas da terra atingidos pelo fogo.

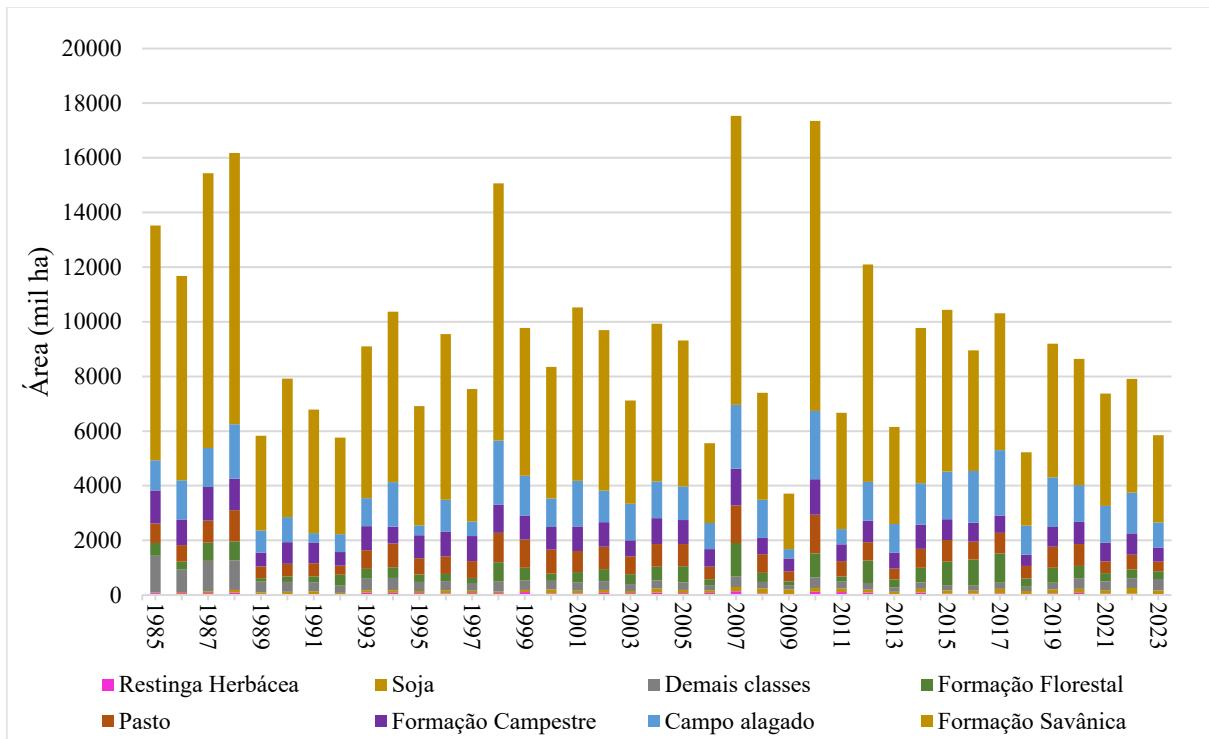


Figura 4. Evolução anual da área queimada por classe de uso e cobertura da terra no Cerrado entre 1985 e 2023.

Os anos de maior incidência do fogo coincidiram com o final da década de 1980, que foi marcada por diversas mudanças políticas, econômicas e culturais, sendo um período demarcado também pelas transformações no setor agrícola do país. Neste mesmo período, o acesso ao crédito rural, um instrumento de financiamento voltado ao apoio de produtores e cooperativas (Ministério da Fazenda, 2024), também foi intensificado, assegurando políticas de preço mínimo e mecanismos de comercialização (HEMSLEY; SILVA; CARVALHO, 2020), bem como o Programa de Financiamento para Pequenos e Médios Produtores (PROGER) e outros. Esses incentivos financeiros contribuíram para a disseminação de cultivos mais baratos e tecnologicamente avançados.

Não coincidentemente, aconteceu um grande movimento migratório de produtores do sul do país para regiões compostas por Cerrado, atraídos pelas condições favoráveis para a produção de grãos, especialmente a soja (Embrapa, 2022). Na década de 1990, houve um novo processo migratório, agora para regiões mais ao norte do país, intensificando a expansão da fronteira agrícola na região do MATOPIBA, se mantendo em constante crescimento até os dias atuais.

Juntamente a isso, o antigo Código Florestal de 1965, que em comparação à legislação atual, apresentava maior permissividade quanto à supressão de vegetação nativa e ao uso do

fogo, tendo este, sido reformulado apenas em 2012. Tais fatores podem ter contribuído para explicar o aumento expressivo nos focos de incêndio registrados entre os anos de 1987 e 1988, considerando que o uso do fogo foi amplamente empregado nessas ocasiões.

Outro fator a ser considerado é que o início da década de 1990 foi marcado por mudanças políticas importantes, com a posse de um novo presidente cujo plano econômico tinha como principal objetivo o combate à hiperinflação. Entre as primeiras medidas do governo Collor, destacou-se um polêmico confisco das poupanças, que gerou instabilidade financeira e restringiu severamente o crédito de disponível a empresas e produtores rurais (BRASIL, 1990; MELLO, 2002). Essa medida teve impactos diretos sobre a produção agrícola, já que muitos produtores perderam o acesso aos recursos que viabilizavam o custeio da sua produção. Tudo isso alterou a capacidade de manejo das áreas cultivadas, limitando o acesso o humano à região e reduzindo o uso do fogo, refletindo nos padrões observados nos dados apresentados graficamente neste período (Figura 4).

Outro fator a se considerar, é a taxa pluviométrica obtida durante estes anos. Ao observar o gráfico da Precipitação acumulada anual - Areal (Figura 5), pode-se notar que os valores foram baixíssimos (<1000 mm) durante alguns dos anos coincidentes com dois dos anos de maiores incidências de queimadas e/ou incêndios no bioma: 1998 e 2007. Estes foram considerados períodos de seca e estiagem severas. Também se notou o oposto: taxas de pluviosidade alta (>1400) ou muito alta (>1600 mm) nos anos de menores taxas de área queimada, como 1989 e 1992. Os outros anos citados não seguiram o mesmo padrão, logo não podem ser explicados pela precipitação acumulada anual.

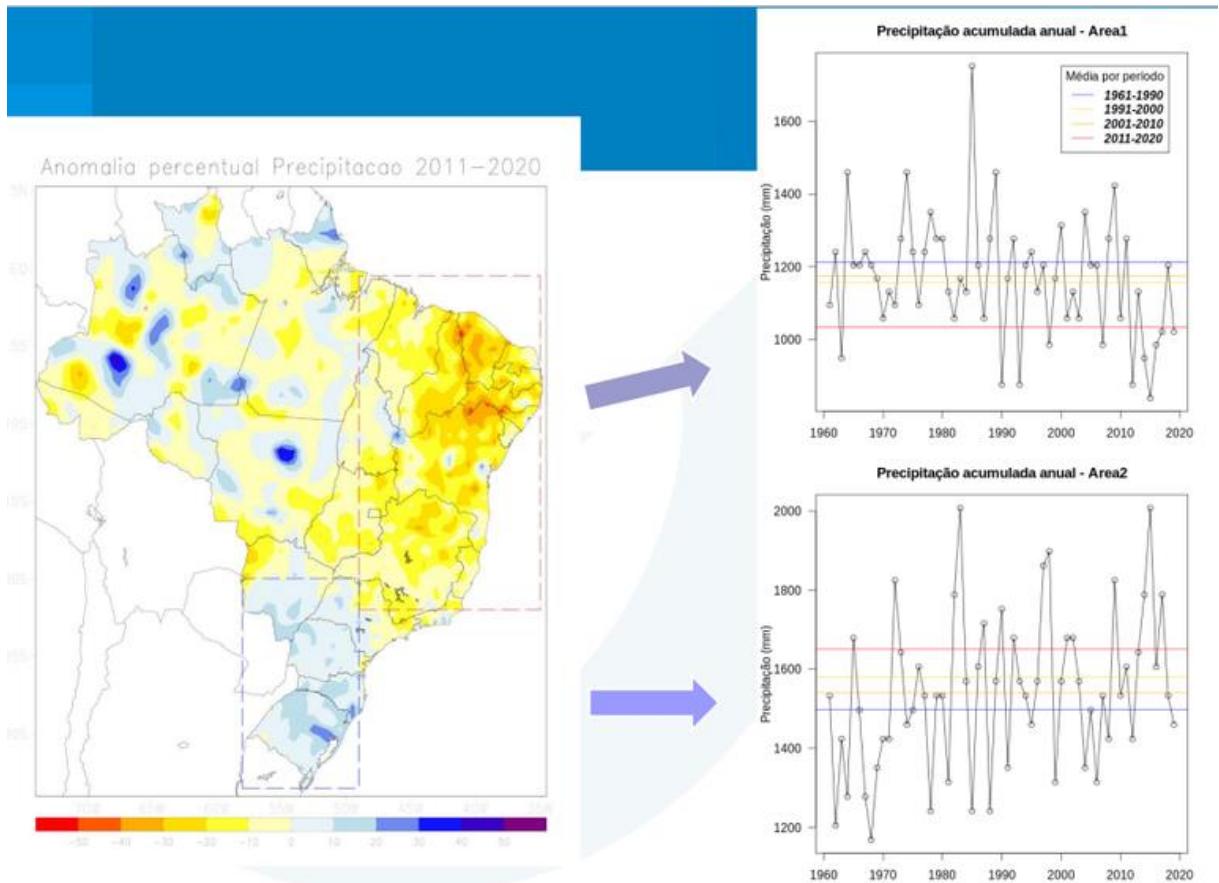


Figura 5. Precipitação acumulada anual entre 2011 e 2020. Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2024).

É possível verificar correlação entre os ciclos dos fenômenos ENOS (*El Niño* e *La Niña*) e a variação da área queimada no Cerrado, uma vez que eventos de *El Niño*, como os registrados em 1987 a 1988, 1998 e 2010, coincidiram com anos de altas taxas de ocorrência do fogo naquele Bioma. Isso deve à intensificação da seca associada ao fenômeno, que provoca a reduções da umidade e aumento da temperatura local, facilitando a ignição da vegetação seca. Por outro lado, nos anos de *La Niña*, como 1989 e 2018, notou-se uma redução considerável dos focos de fogo, o que pode estar relacionado ao aumento da umidade atmosférica.

No entanto, essa não é uma regra absoluta. Em algumas ocasiões, períodos de *La Niña* apresentaram altos números de área queimada, como em 1988, 2007, 2010 e 2017, enquanto certos anos de *El Niño* registraram baixa queimada. Isso ocorre porque o impacto de cada evento depende da combinação de fatores locais, incluindo a distribuição regional do fenômeno, que não gera efeitos homogêneos em todo o bioma (UNIFESP, 2022). Em outras palavras, o impacto de um *El Niño* ou *La Niña* sobre a frequência e intensidade do fogo varia de acordo com a

localização do Cerrado, a cobertura vegetal, o tipo e uso do solo e a intensidade das ações humanas no local.

Tais resultados reforçam que a dinâmica do fogo no Cerrado é multifatorial. Conforme apontam Pivello (2011), Assad e Evangelista (1994) e Rocha e Nascimento (2021), o regime do fogo no Cerrado é altamente influenciado pelo clima, mas também depende de variáveis antrópicas (e.g. uso do solo e práticas agrícolas) e ecológicas (e.g. tipo de vegetação e acúmulo de biomassa). Assim os fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* influenciam o risco e intensidade das queimas, porém não explicam, por si só, a ocorrência e extensão dos incêndios florestais (IPCC, 2020).

Os resultados também demonstraram Tendência temporal cíclica nas áreas queimadas do Cerrado, caracterizada por variações periódicas de alta e baixa intensidade. Essa variação acontece de maneira não linear, mas sim em picos de queimadas seguidos por quedas abruptas, indicando a existência de ciclos climáticos, ecológicos e/ou socioambientais que controlam a disponibilidade de biomassa combustível e a probabilidade de ignição desta.

Como nas observações de Silva e Souza (2019), tal fenômeno pode ser explicado pela quantidade de biomassa disponível na vegetação. Os anos de menores taxas de fogo, resultam em maiores quantidades desse combustível, facilitando a ignição e propagação do fogo em anos posteriores. O contrário também acontece, já que após queimadas extensas, o material combustível antes disponível é reduzido a cinzas e torna-se impossível uma nova combustão, ocasionando em menos focos de fogo.

Além dos fatores climáticos, uso do fogo em propriedades rurais e os ciclos de expansão agrícola também contribuem para esse comportamento cíclico. Em anos de colheita intensa, renovação de pastagens e abertura de novos campos produtivos, o uso intencional do fogo consequentemente aumenta, elevando a probabilidade de focos de incêndio.

5.2 Análise por Classe de Uso e Cobertura do Solo

Observou-se concentração discrepante do fogo em **Formações Savânicas**, representando um total de 58,53% do total de área queimada registrada em todo o bioma no período estudado (1985-2023). Após esta, as classes mais atingidas, em ordem decrescente de área queimada total, foram o **Campo Alagado, Formação Campestre e Pastagem** (Figuras 6 e 7).

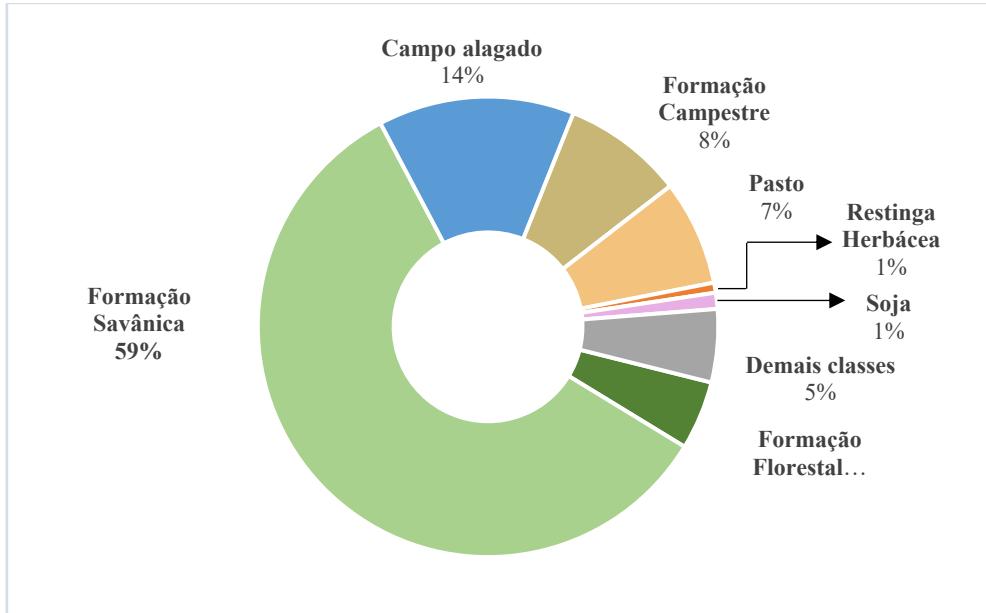


Figura 4. Distribuição percentual da área queimada por classe de uso do solo no Cerrado (1985-2023).

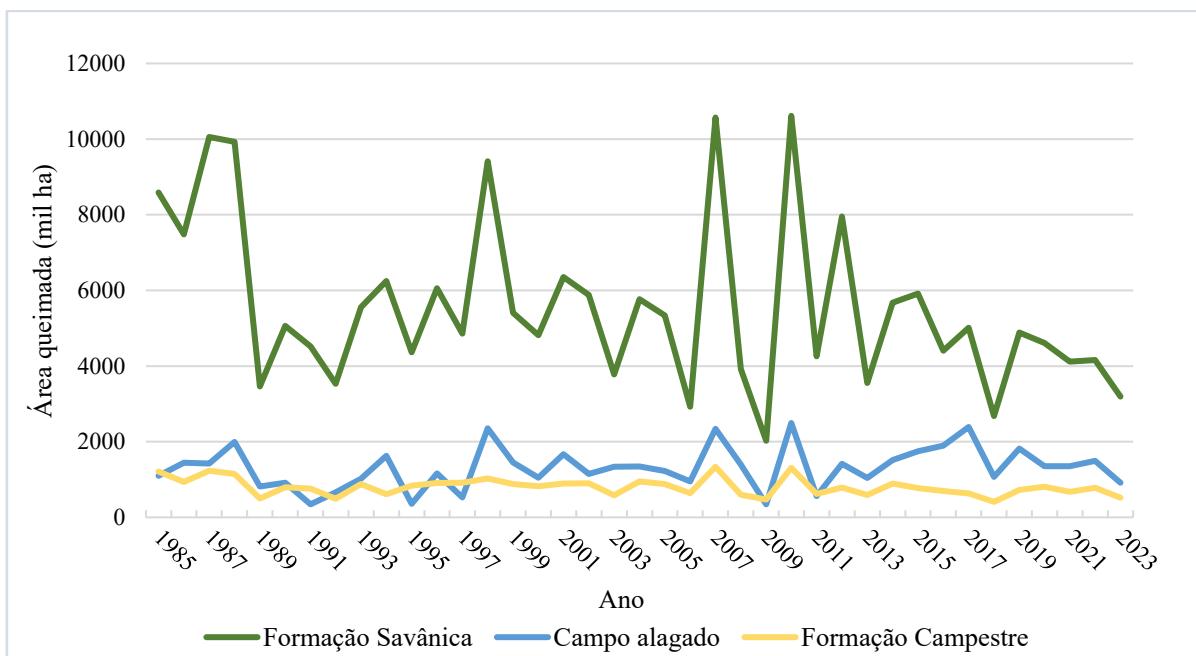


Figura 7. Área anual atingida por fogo nas três classes de cobertura da terra mais afetadas do Cerrado (1985 - 2023)

A Formação Savânica apresentou 2,169 milhões de hectares queimados ao todo, tendo uma média de 55 mil de hectares queimados por ano. A sua composição rica em gramíneas e vegetação pouco úmida justifica uma alta inflamabilidade natural, demonstrada nas estatísticas de área queimada. Essa vegetação acumula biomassa seca durante a estação de estiagem, criando condições ideais para a propagação do fogo, especialmente quanto combinadas com

ventos e baixa umidade do ar. É importante destacar que, este tipo de cobertura do solo está fortemente associado a resiliência ao fogo, sendo capaz de se regenerar após queimadas periódicas, desde que respeitado seu intervalo natural.

Os Campos Alagados do Cerrado, apesar de representarem uma pequena área de todo o bioma, sendo por volta de 3,4% da área total (MAPBIOMAS, 2024a), destacaram-se como a segunda classe mais queimada em todo o período analisado, com área queimada total de 510,569 ha. Segundo o IPAM (2024), as áreas compostas por campos úmidos, veredas e áreas de várzea, apresentaram alta de 68% de área atingida por fogo.

Por serem ecossistemas sazonalmente alagados, estes não são adaptados ao fogo. Também se considera o grande acúmulo de material combustível durante seu período úmido, resultando em considerável vulnerabilidade ao fogo, que costuma se alastrar com rapidez nos períodos de seca. Além disso, existe a crescente pressão antrópica na região, que anteriormente atuaria como barreira natural ao fogo, mas está sendo cada vez mais drenada para o cultivo de arroz, ou degradada pelo pisoteio do gado, acrescendo a sua vulnerabilidade ao fogo (Ferreira et al, 2017).

A Formação Campestre, ocupando a terceira posição quanto a classe de solo mais atingida pelo fogo, tem característica de campo mais aberto, apresentando domínio de estrato herbáceo. Por sua vegetação predominantemente rasteira e contínua, é facilitada a ignição e propagação das chamas, apresentando maior velocidade e intensidade do fogo, calor liberado e consumo de combustível fino (Silva, 2018). Esta classe apresentou a média de 8 mil ha queimados por ano.

Do contrário das classes anteriores que são recobertas por vegetação natural, a Pastagem, também com alto índice de área queimada, é uma área antropizada, com média de 7 mil hectares queimados por ano. Fortemente influenciada por atividades humanas, sua alta taxa de área queimada reforça a tese de que grande parte do fogo nessa região provém de ignição antrópica, devido a participação do fogo como instrumento de manejo agropecuário. Segundo o MAPBIOMAS (2024b), no ano de 2024, 34% da área queimada no Brasil teve o início detectado em pastagem.

Além disso, pode-se notar que o fogo em área antrópica tende a ocorrer de forma mais concentrada e previsível, com baixa variação dos valores obtidos, enquanto em áreas naturais o fogo tende a se comportar de maneira descontinuada, além de apresentar valores mais do que

dobrados (Figura 8). Tal comportamento se manteve para todas as categorias de uso e cobertura da terra analisadas (Natural e Antrópica).

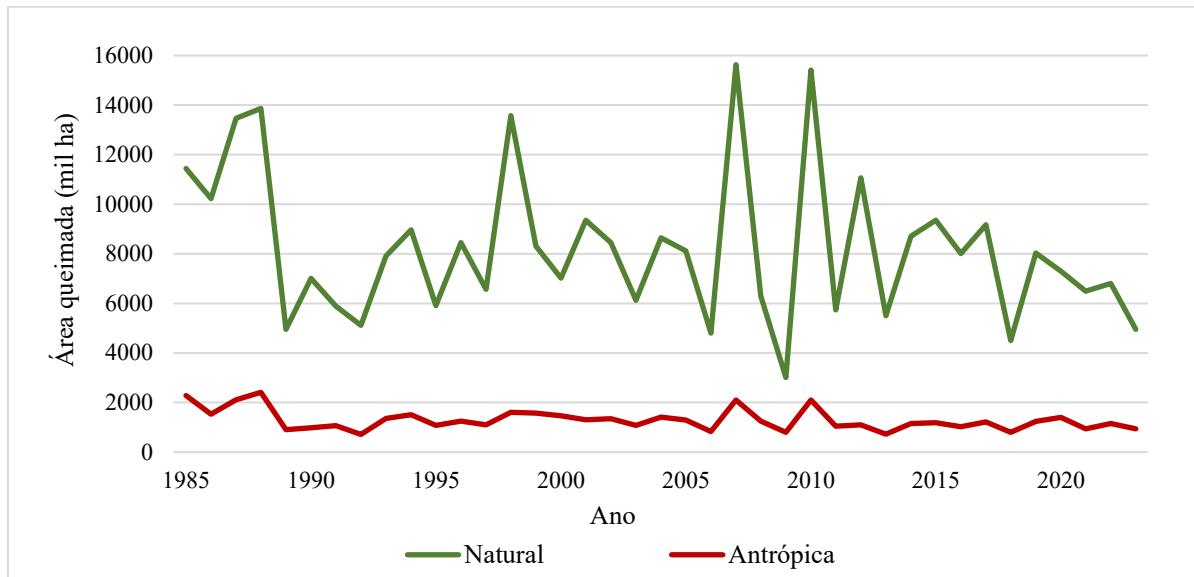


Figura 8. Evolução temporal de área queimada no Cerrado, divididas entre classe natural e classe antropizada (1985 - 2023).

Esse resultado pode ser considerado esperado, considerando que as classes de cobertura natural, muitas vezes, se situam em áreas de dificultado acesso, com muito mais combustível inflamável disponível e monitoramento contínuo. Também quando há fogo, este geralmente é descontrolado, advindo de práticas de queima mal planejadas, realizadas nos arredores e que posteriormente saíram de controle. Já em áreas antropizadas a estabilidade dos valores ao longo do período analisado se dá devido o monitoramento frequente e o cuidado humano para o controle do fogo, além de consistir em um número muito menor de vegetação combustível, tornando mais difícil não só a ignição, mas também a propagação do fogo em grandes magnitudes. Nota-se também que, após empregar o fogo para limpeza e renovação de áreas agrícolas, essa prática deixa de ser utilizada por muitos anos.

Ao observar os períodos de valores máximos (1987-1988; 2007 e 2010) (Figura 7), ambas as coberturas demonstraram comportamento semelhante de aumento em relação aos valores médios, reforçando a teoria de fogos de incêndio advindos de eventos climáticos excepcionais. Outro aspecto relevante identificado na análise, é o comportamento proporcional do fogo em determinadas classes ao longo dos anos, demonstrando que os fatores estruturais e funcionais de cada classe e cobertura influenciam na frequência e intensidade das queimadas e incêndios. Essa estabilidade foi alterada apenas em anos de eventos climáticos e/ou antrópicos ativos, resultando em alteração expressiva na quantidade de área atingida por fogo.

Essas informações permitem a tomada de decisão para o manejo adequado do fogo de acordo com as necessidades específicas de cada classe. Demandando estratégias diferenciadas principalmente para formações nativas, onde deve-se considerar planos de manejo de uso controlado do fogo, visando reduzir o acúmulo de combustível e a preservação dos processos ecológicos naturais da vegetação. Para formações antrópicas, deve-se adotar políticas públicas de educação ambiental, incentivo a tecnologias agrícolas que não dependam do uso do fogo e uma fiscalização mais rígida, para reduzir as fontes de ignição descontrolada do fogo.

5.3 Áreas Protegidas: Unidades de Conservação e Terras Indígenas

A análise espacial demonstrou que, embora as Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) sejam legalmente protegidas, elas não estão imunes à ocorrência de queimadas. Ainda assim, a frequência e a intensidade observadas nessas áreas foram significativamente menores quando comparadas com regiões sem nenhum tipo de proteção ambiental legal (Figura 9).

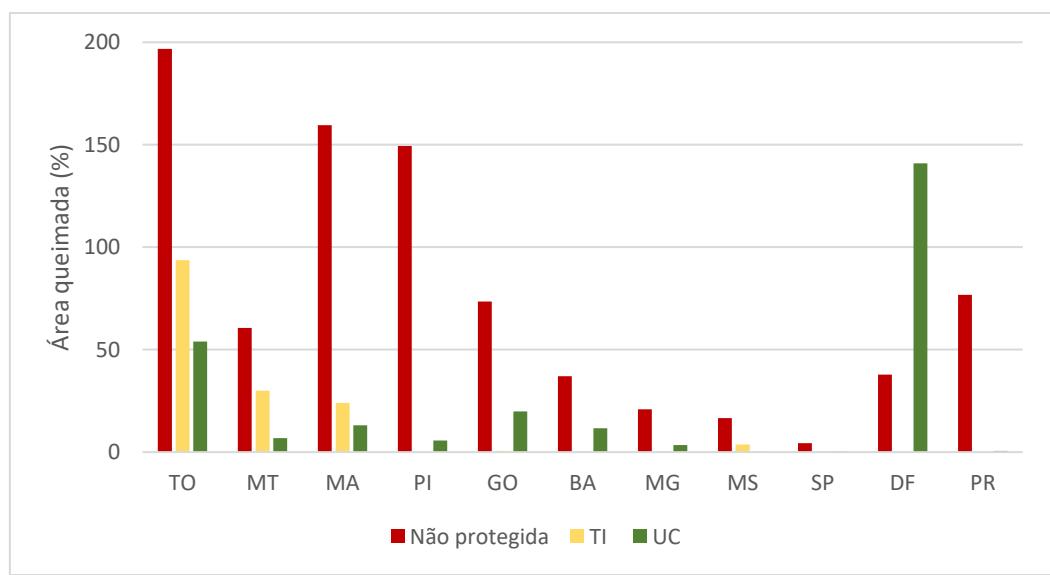


Figura 5. Área atingida por fogo relativa às categorias de áreas protegidas em cada Estado (1985–2023)

É importante salientar que, o Distrito Federal é composto em sua maioria por área de proteção ambiental (APA do Planalto Central), reduzindo significativamente a quantidade de vegetação situada em áreas não protegidas. Como consequência, a proporção de área queimada registrada em UCS apresentou tal valor elevado comparado aos demais estados. Esse comportamento não advém necessariamente de uma maior vulnerabilidade, mas da predominância de cobertura vegetal concentrada dentro das UCs. Assim, o Distrito Federal foi excluído das próximas análises comparativas envolvendo Unidades de Conservação, visando evitar distorções na interpretação e comparação.

A Tabela 1 e a Figura 10 apresentam a proporção média de área queimada em TIs no bioma Cerrado por estado, demonstrando maiores percentuais nos estados do Mato Grosso (31%) e Tocantins (27%), seguidos por Mato Grosso do Sul (18%) e Maranhão (12%). Por outro lado, estados como Goiás, Bahia, Minas Gerais e São Paulo apresentaram proporções extremamente baixas, inferiores a 1%.

Tabela 1. Proporção média de área queimada em TIs no Cerrado por estados (1985-2023).

| Estado | Média de área queimada no Cerrado (mil ha) | Média de área queimada em TIs (mil ha) | Média queimada em TIs (%) |
|-------------------------|--|--|---------------------------|
| Tocantins (TO) | 2514 | 683,47 | 27,2 |
| Mato Grosso (MT) | 2314,78 | 712,34 | 30,77 |
| Maranhão (MA) | 11705,69 | 208,82 | 12,24 |
| Mato Grosso do Sul (MS) | 191,51 | 34,86 | 18,20 |
| Goiás (GO) | 818,59 | 5,34 | 0,64 |
| Minas Gerais (MG) | 375,65 | 0,67 | 0,18 |
| Bahia (BA) | 723,21 | 0,01 | 0,00 |
| São Paulo (SP) | 30,22 | 0,02 | 0,05 |

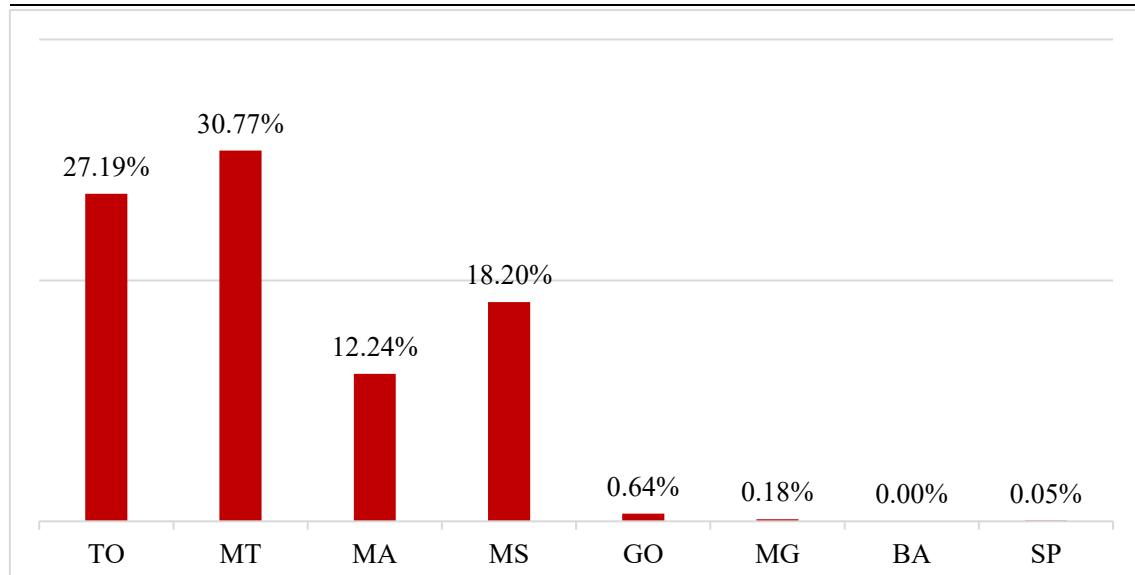


Figura 6. Proporção da área atingida por fogo em terras indígenas por estado no Bioma Cerrado (1985-2023).

Ao longo de todo o período analisado (1985-2023), as terras indígenas que foram atingidas por fogo se encontravam nos estados do Tocantins e Mato Grosso (Tabela 2), reforçando a relação da ocorrência de fogo em áreas de grande concentração de vegetação nativa, de transição vegetal e de crescimento das atividades de agricultura e pecuária intensivas. As TIs foram: Parque do Araguaia - TO (50%), Paresi – MT (19%), Kraolandia – TO (16%), Pimentel Barbosa – MT (15%) e Parabubure – MT (13%) (mais detalhes na Tabela 2).

Algumas Terras Indígenas apresentaram os menores registros de área queimada ao longo de todo o período. Entre elas, destacaram-se a TI Sucuriy e a TI Pirakua, ambas localizadas no estado de Mato Grosso do Sul, com apenas 200 hectares queimados cada, seguidas por Ibotirama (BA), Lalima (MS) e Araribá (SP), com valores de 500 a 600 hectares. Esses baixos valores podem estar relacionados à uma combinação de fatores, como a menor extensão territorial, a localização em regiões de menor suscetibilidade ao fogo, e possivelmente, a adoção de práticas tradicionais de manejo pelas comunidades locais, sendo necessário maiores estudos para chegar a uma conclusão.

Tabela 2. Proporção de áreas queimadas por terra indígena mais afetadas em relação ao total por estado (1985-2023).

| Terra Indígena | Área queimada na TI (mil ha) | Área total em TIs queimadas no estado (mil ha) | Proporção queimada (%) |
|----------------------------|---------------------------------|---|---------------------------|
| Parabubure (MT) | 3435 | 27069 | 13 |
| Paresi (MT) | 5246 | 27069 | 19 |
| Parque do Araguaia (TO) | 13104 | 25972 | 50 |
| Pimentel Barbosa (MT) | 4092 | 27069 | 15 |
| Kraolandia (TO) | 4091 | 25972 | 16 |

A Terra indígena Parque do Araguaia obteve valores significativamente mais elevados de área queimada em comparação às demais. Em termos de área, trata-se da maior terra indígena localizada no Cerrado e uma das maiores do Brasil, abrangendo vastas áreas de vegetação natural contínua. A sua grande extensão territorial é um dos fatores possivelmente determinantes para os altos índices registrados.

Dentre as unidades de conservação, o estado da Bahia demonstrou os maiores resultados, com 24% de área média queimada, seguida pelos estados do Goiás (21%) Tocantins (15%) e Minas Gerais (14%) (ver Tabela 3 e Figura 11).

Tabela 3. Proporção média de área queimada em UCs no Cerrado por estados (1985-2023).

| Estado | Média de área queimada no Cerrado (mil ha) | Média de área queimada em UCs (mil ha) | Média queimada em UCs (%) |
|-------------------------|--|--|---------------------------|
| Tocantins (TO) | 2514 | 393,94 | 15,66 |
| Mato Grosso (MT) | 2314,78 | 162,55 | 7,02 |
| Maranhão (MA) | 11705,69 | 113,13 | 6,63 |
| Mato Grosso do Sul (MS) | 191,51 | 0,66 | 0,34 |
| Goiás (GO) | 818,59 | 177,12 | 21,08 |
| Mato Grosso (MT) | 2314,77 | 162,55 | 7,02 |
| Minas Gerais (MG) | 375,65 | 52,81 | 14,05 |
| São Paulo (SP) | 30,22 | 1,98 | 6,53 |
| Bahia (BA) | 723,1 | 173,27 | 23,95 |
| Piauí (PI) | 1027,53 | 37,77 | 3,67 |
| Maranhão (MA) | 1705,7 | 113,12 | 6,63 |
| Paraná (PR) | 405,78 | 3,38 | 0,83 |
| Tocantins (TO) | 2514 | 393,93 | 15,66 |

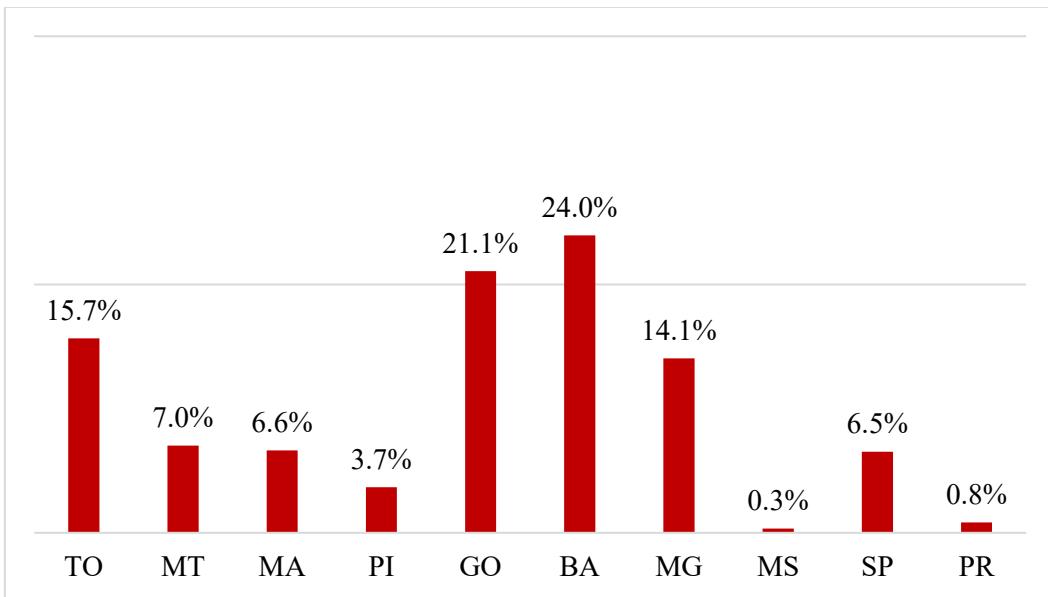


Figura 7. Proporção da área queimada em unidades de conservação por estado do Cerrado 1985-2023).

As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentaram valores discrepantes em relação às regiões Sul e Sudeste (Figura 12), que tiveram boa parte da sua cobertura vegetal convertida para áreas urbanas, não restando grandes quantidades de vegetação de Cerrado para queimar.

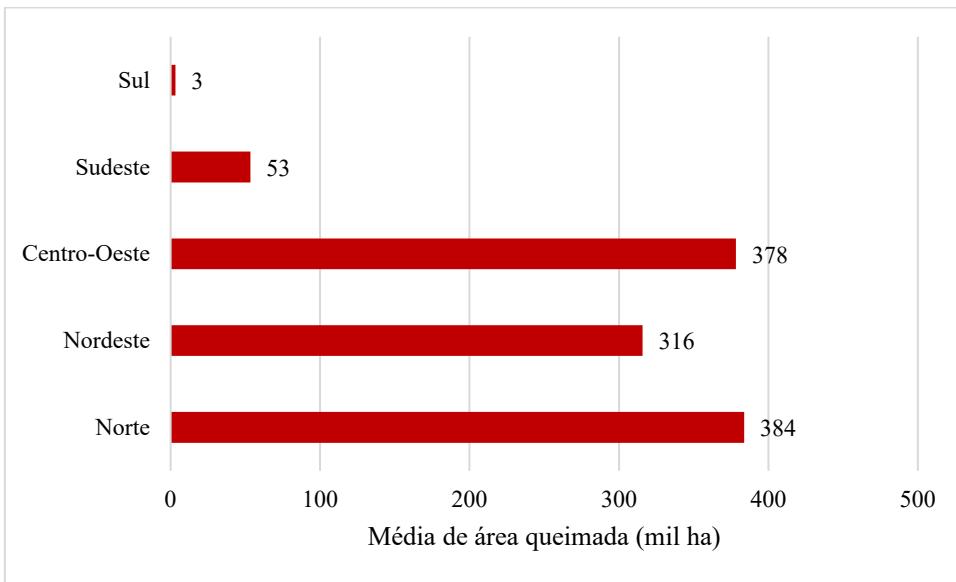


Figura 8. Média de área queimada em Unidades de conservação no Cerrado por região do Brasil (1985-2023)

Em termos de valores absolutos de área queimada, as UCs mais relevantes foram o PARNA do Araguaia (TO) com 4770,7 mil ha, a APA Ilha do Bananal/Cantão (TO) com 4369,1 mil ha e a APA do Rio Preto (BA) com 4008,2 mil há (Tabela 4). As que menos queimaram, com até 0,2 mil ha queimados foram o PARNA do Lençóis Maranhenses (MA), a ARIE do

Torto (DF), a APA Fazenda Capitão Eduardo, o Parque Estadual Lagoa do Cajueiro e Parque Estadual Pau Furado, estes últimos no MG.

Tabela 4. Proporção de áreas queimadas por unidades de conservação mais afetadas em relação ao total por estado (1985-2023).

| Unidade de Conservação | Área queimada na UC (mil ha) | Área total em UCs queimadas no estado (mil ha) | Proporção queimada (%) |
|---------------------------------|------------------------------|--|------------------------|
| PARNA do Araguaia (TO) | 4770,7 | 14969,6 | 32 |
| APA do Rio Preto (BA) | 4008,2 | 6584,3 | 61 |
| APA Ilha do Bananal/Cantão (TO) | 4369,1 | 14969,6 | 29 |

Uma observação válida é que, tanto a Terra Indígena do Araguaia, quanto o Parque Nacional do Araguaia são recortes da APA Ilha do Bananal, situados no estado do Tocantins, compondo basicamente a mesma região, com pequenas alterações de limitação. Apesar a sobreposição de áreas, é interessante notar que independente da categoria analisada, essa localização ocupa o pódio em relação as áreas queimadas, demonstrando a sua suscetibilidade ao fogo e reforçando a necessidade de medidas de prevenção e combate a incêndios focados e adaptados para esta área.

A análise e distinção entre os diferentes regimes de conservação (PI e US) é essencial, pois as UCs de proteção integral têm como objetivo a preservação total dos ecossistemas, com acesso restrito e gestão mais rigorosa, enquanto nas UCs de uso sustentável permitem certo grau de interação humana. A tendência observada sugere que as UCs de fato são mais eficientes na prevenção do fogo, atuando significantemente para reduzir as taxas de área queimada.

É importante salientar que em unidades de conservação de proteção integral, como parques nacionais e reservas biológicas, por exemplo, são vetadas atividades econômicas diretas, possuem público limitado ou proibido, recebem mais fiscalização e possuem menos fragmentação e estradas internas, afetando diretamente na probabilidade de fontes humanas de ignição do fogo e fontes externas de fogo.

As unidades de conservação com regime de proteção integral demonstraram menores valores de área queimada em relação às de uso sustentável nos estados da Bahia, Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal. O contrário aconteceu nos estados do Tocantins, Minas Gerais e

Maranhão, onde as UCs de uso sustentável queimaram menos. Nos estados do Mato Grosso do Sul e São Paulo os resultados se mantiveram similares (Figura 13).

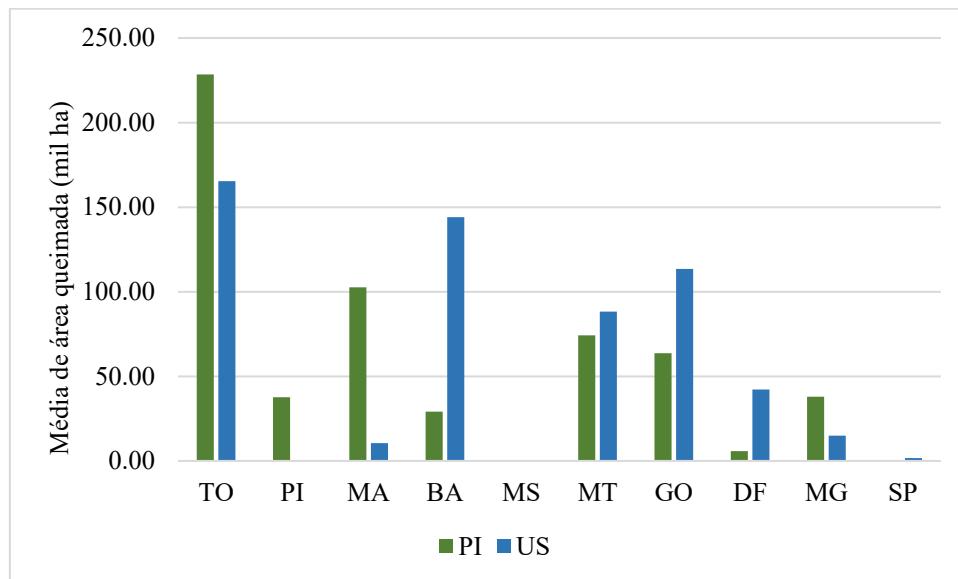


Figura 9. Comparativo de área queimada entre unidades de conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável por região brasileira. O estado do Paraná não possui nenhuma UC de proteção integral, por isso não foi considerada para a comparação.

5.4 Análise por geografia

Observou-se que os estados do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão concentram as maiores áreas queimadas em valores absolutos, totalizando respectivamente, 95,5 Mha, 88 Mha e 64,8 Mha (Figura 14). Outros estados do Centro-Oeste e Nordeste como Piauí, Goiás e Bahia também acompanham os que apresentam maiores extensões de áreas atingidas pelo fogo.

Estes Estados, especialmente Mato Grosso, Goiás e Bahia, destacaram-se pela alta produtividade agropecuária, abrigando grande parte das áreas desmatadas e convertidas de vegetação nativa para pastagens e lavouras, com predominância do cultivo de soja. Essa expansão da produção rural vem se mantendo em crescimento constante nas últimas décadas. Segundo Matos et al. (2020), a expansão agropecuária e a consequente implantação de pastagens estão entre os principais fatores que explicam a elevada incidência de incêndios florestais na região (Figura 15).

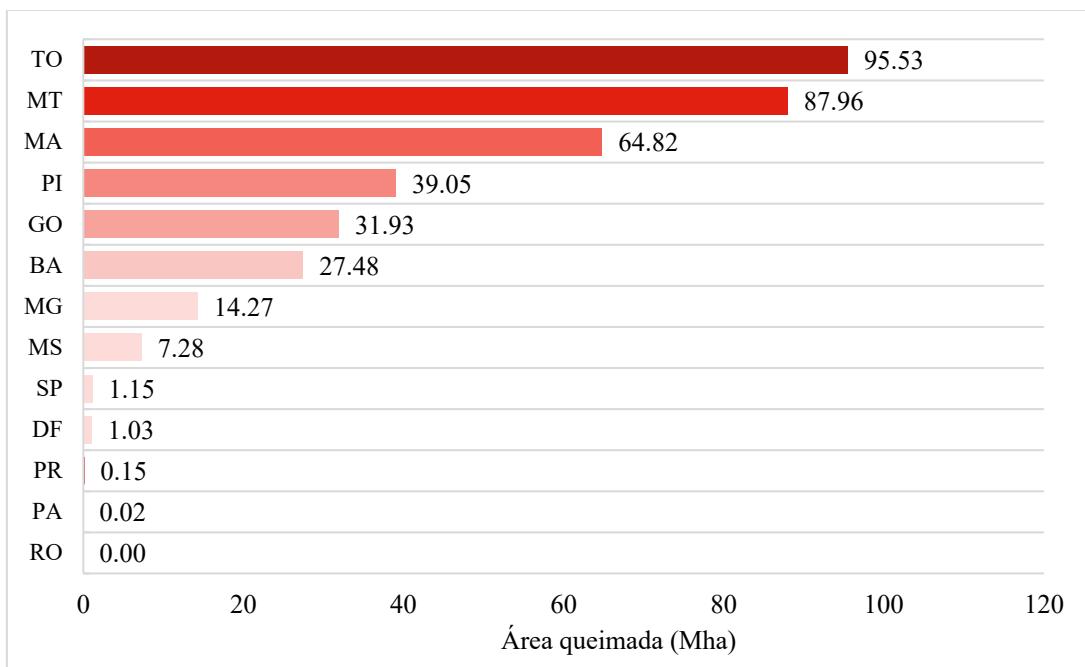


Figura 10. Distribuição da área total atingida por fogo no Cerrado por Estados (1985-2023)

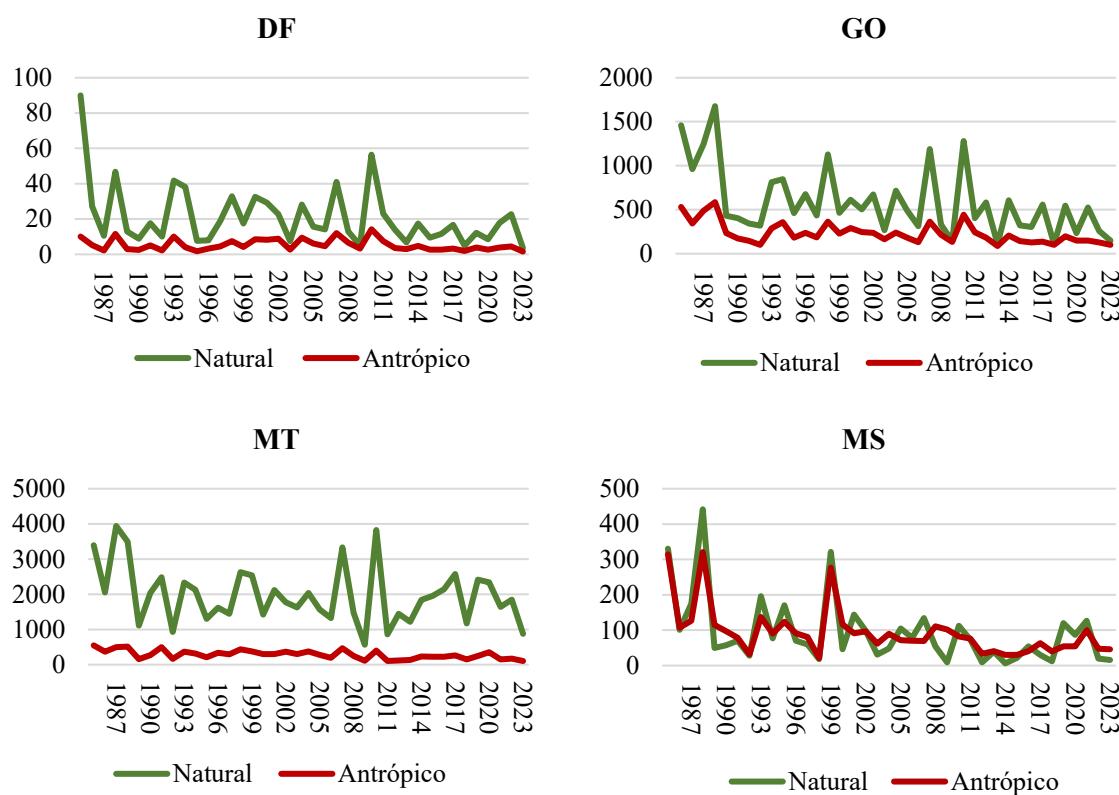


Figura 11. Evolução da área total atingida por fogo (em mil hectares) nos estados MT, MS, DF e GO (Centro-Oeste)

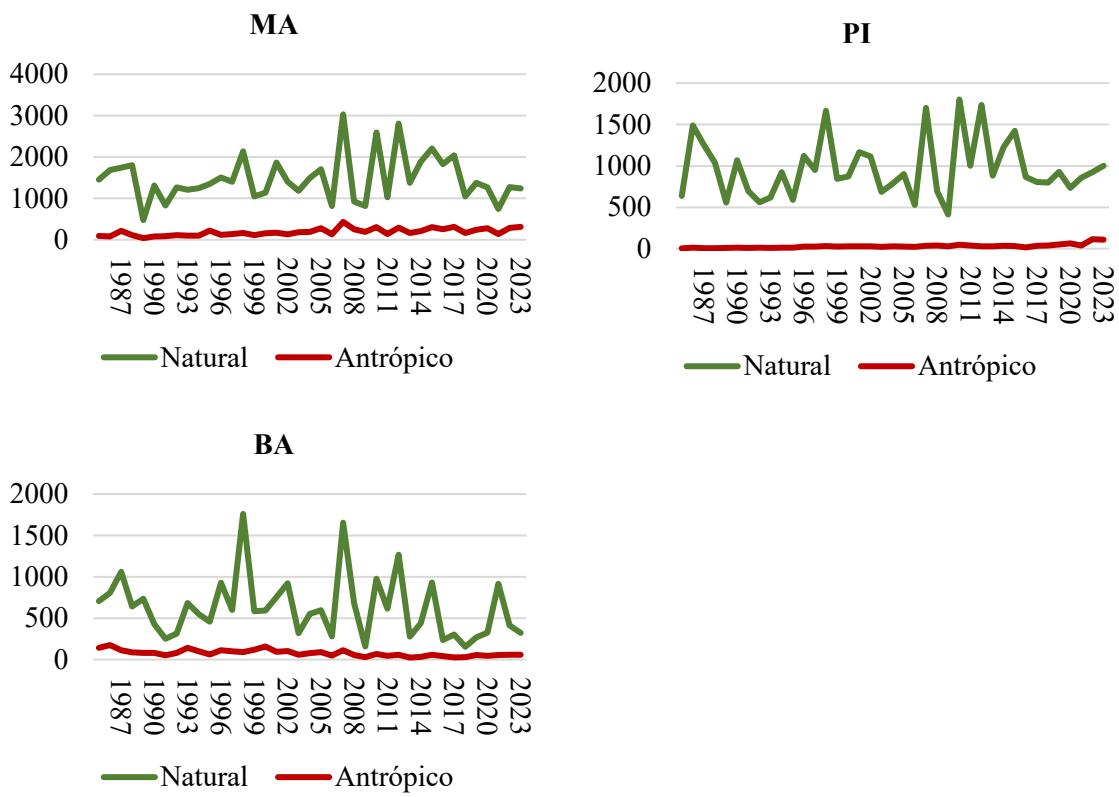


Figura 12. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) nos estados MA, PI e BA (Nordeste)

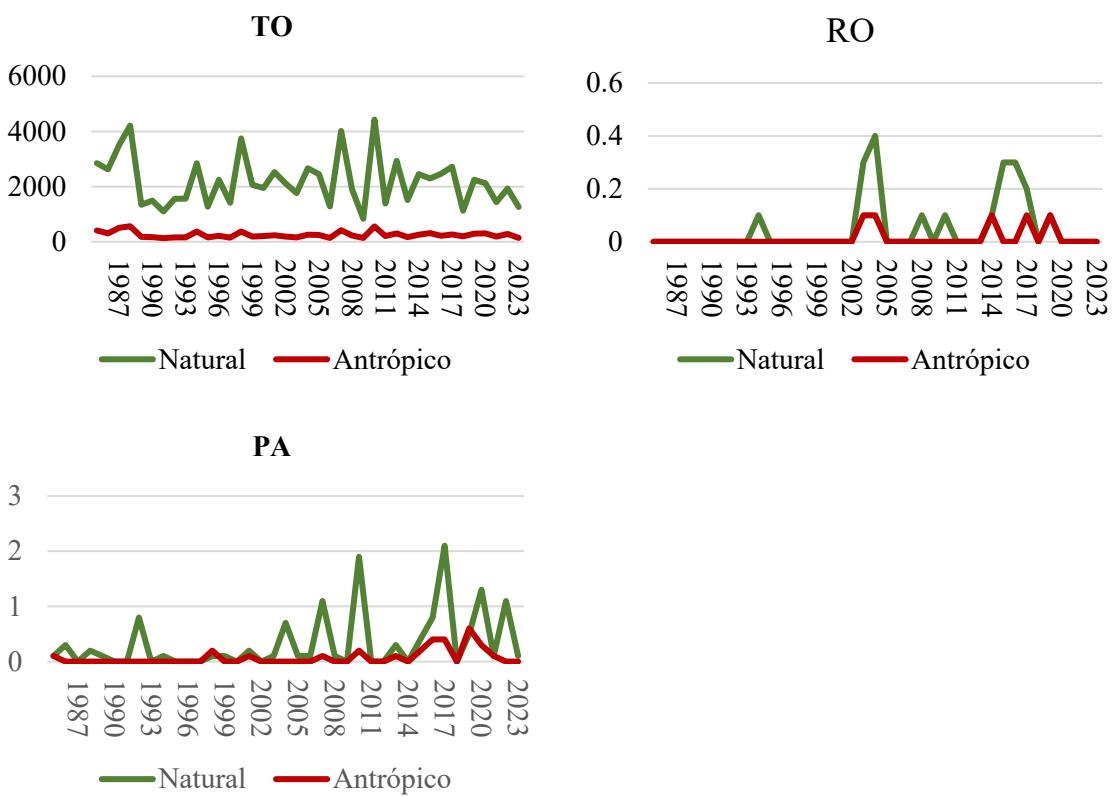


Figura 13. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) nos estados PA, TO e RO (Norte)

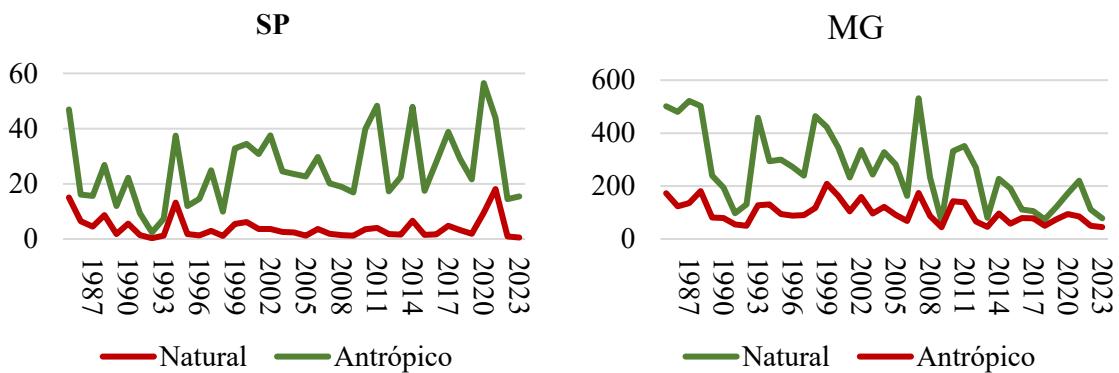


Figura 14. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) nos estados SP e MG (Sudeste)

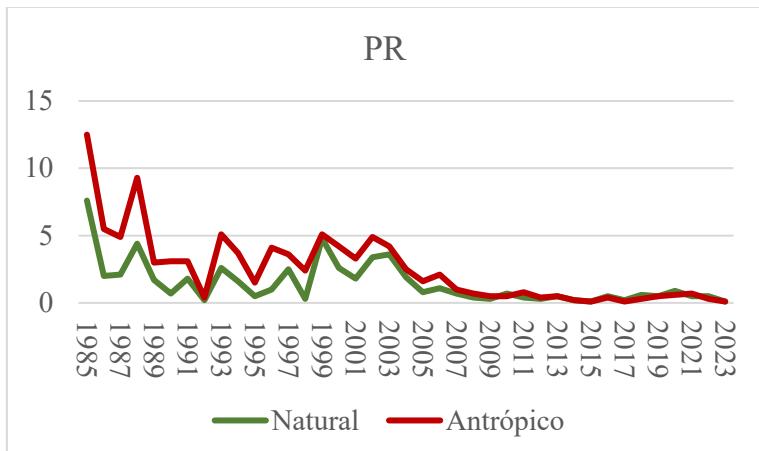


Figura 15. Evolução da área atingida por fogo (em mil hectares) no estado do PR (Sul)

As figuras 16 a 19 demonstram que cada estado apresenta particularidades quanto ao comportamento e incidência do fogo, refletido por diferentes contextos ecológicos, socioeconômicos e de uso da terra. No entanto, alguns padrões gerais se repetem. Em grande parte dos estados, a área queimada em vegetação natural foi significativamente superior à das áreas antrópicas, especialmente em regiões ricas em cobertura vegetal. As exceções mais notáveis são o Paraná, onde predominaram queimadas em cobertura antrópica, com decréscimo brusco a partir de 2005, e o Mato Grosso do Sul, que apresentou valores semelhantes entre as duas categorias ao longo do tempo, provavelmente por sua alta concentração de coberturas vegetais antropizadas em relação à cobertura natural. Além disso, os dados evidenciam um comportamento comum de altos níveis de queimadas a partir de 1985 seguidos por um declínio abrupto por volta de 1991-1992. Esse padrão pode estar relacionado a mudanças climáticas, políticas de fiscalização ambiental ou transformações no uso do solo ocorridas no período.

Soma-se a isso o movimento migratório ocorrido a partir da década de 1980, mencionado anteriormente, quando produtores do Sul do Brasil migraram em busca de terras férteis para produção agropecuária. Estes inicialmente estabeleceram-se nos estados de Mato Grosso do sul, Goiás e Mato grosso. Na década de 1990, muitos desses produtores deram início a uma nova etapa de migração, agora em direção à região Norte e estados como Pará e Bahia (Embrapa, 2022), impulsionando ainda mais a ocupação produtiva e a pressão sobre os ecossistemas naturais do Cerrado.

Complementarmente, foi possível correlacionar os estados de maior incidência de áreas queimadas com os estados que compõem fronteira com a Amazônia brasileira (Figura 20), sendo este um bioma que também sofre crescente pressão antrópica devido ao avanço da

agricultura, condizendo também com os estados que mais sofreram com o desmatamento no ano de 2023 segundo o PRODES, disponibilizado pelo INPE.

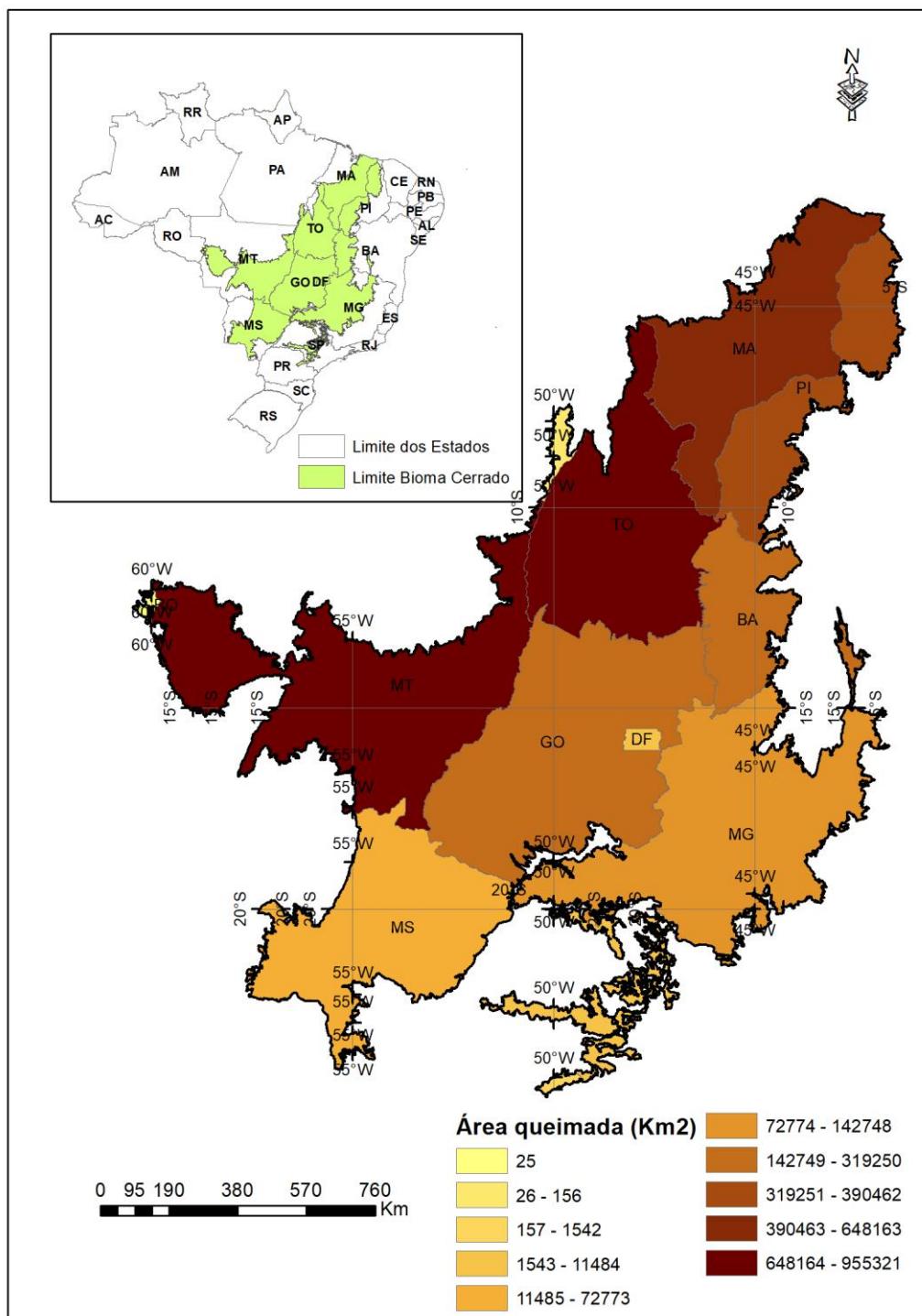


Figura 16. Total de área queimada absoluta entre os estados do bioma Cerrado

Seguindo a mesma lógica de análise dos estados (Tabela 5 e Figuras 21 e 22), observou-se que as regiões do Nordeste e Centro-Oeste apresentaram dados expressivos de área total

queimada, de 85% e 80%. Valores muito distantes dos 25% queimados da região Norte, que ocupa a terceira posição, seguida pela região Sudeste com seus 17% da sua área total queimada. A região sul apresentou resultados não significantes, com 154.200 hectares de área queimada durante todo o período analisado, não chegando a 1%.

Tabela 5. Área atingida por fogo por categoria de uso e cobertura da terra e a proporção em relação à área total por região Brasileira no Cerrado (1985–2023)

| Região | Área Natural Queimada (Mha) | Área Antrópica Queimada (Mha) | Área Total Queimada (Mha) | Área Total da Região (Mha) | Proporção Queimada (%) |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Centro-Oeste | 104,17 | 24,02 | 128,19 | 160,63 | 80% |
| Nordeste | 119,86 | 11,50 | 131,36 | 155,22 | 85% |
| Norte | 85,60 | 9,93 | 95,53 | 385,05 | 25% |
| Sudeste | 10,48 | 4,94 | 15,42 | 92,46 | 17% |

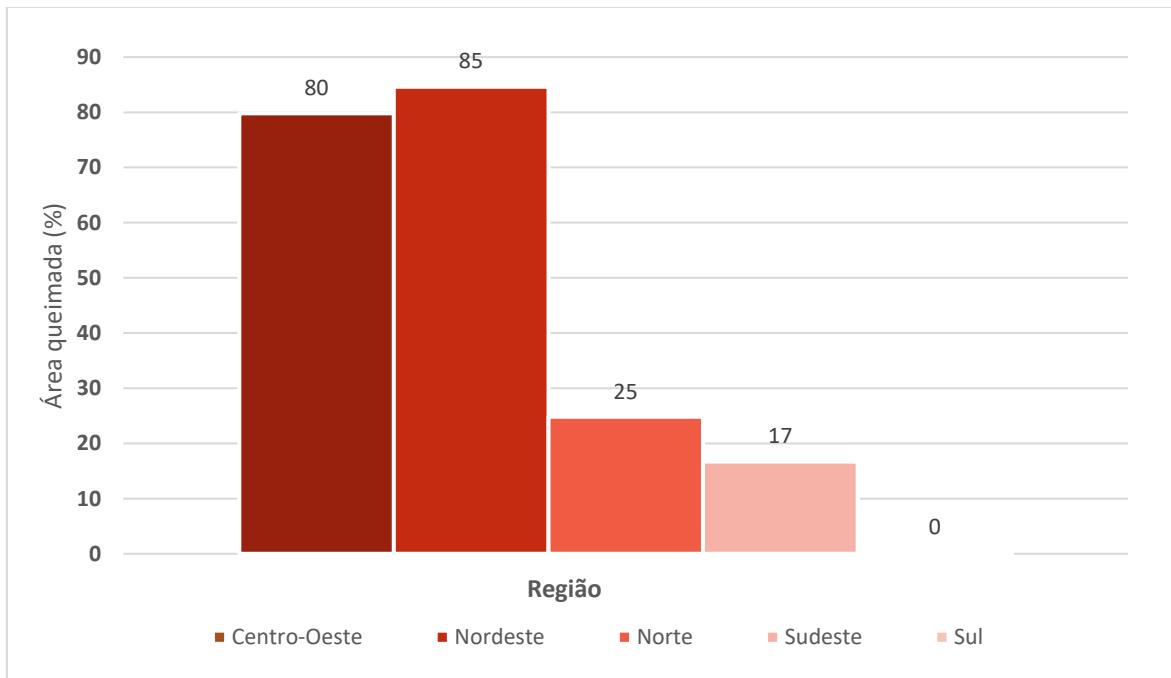


Figura 17. Distribuição percentual da área total atingida por fogo no Cerrado, por regiões brasileiras, entre 1985 e 2023.

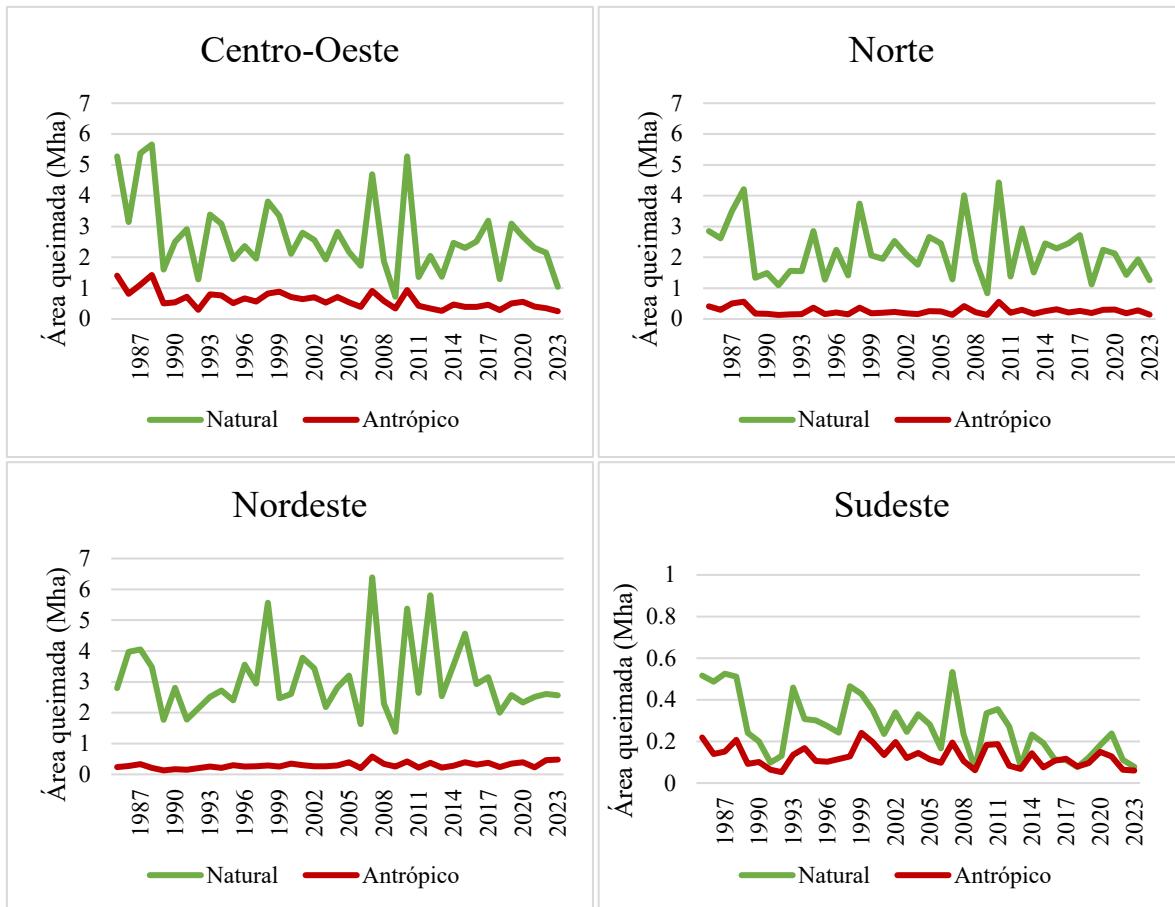


Figura 18. Distribuição temporal de área do Cerrado atingida por fogo, divididas entre natural e antrópica, das regiões brasileiras (1985-2023). Para melhor visualização dos resultados, a escala da região Sudeste foi alterada. A região Sul não demonstrou resultado numericamente relevante.

6. CONCLUSÃO

A análise espacial e temporal do fogo no bioma Cerrado revelou uma dinâmica multifatorial do fogo, evidenciando uma complexa interação entre fatores como variações na biomassa combustível, precipitação, fenômenos climáticos, desmatamento, antropização, atividades agrícolas e outros. A incorporação do recorte político permitiu observar como mudanças nos governos e nas prioridades ambientais influenciaram diretamente o comportamento do fogo no Cerrado, sendo possível identificar períodos de retrocessos e avanços em relação à proteção do bioma. A disparidade entre estados, como o caso de Mato Grosso do Sul, indica que políticas locais e contextos socioeconômicos também devem ser considerados. Além disso, foi possível notar comportamentos cíclicos, com anos de maiores áreas queimadas, seguidos por anos com quedas nesses valores.

Notou-se maior incidência de áreas atingidas por fogo em Estados com histórico de avanço agropecuário e vegetação savântica predominante, sobretudo os que compõem fronteira com a Amazônia, como o Tocantins, Maranhão e Mato Grosso. Nessas regiões, a combinação entre desmatamento, conversão da paisagem natural e alta vulnerabilidade ao fogo na região contribuiu para maiores ocorrências do fogo.

As Áreas Protegidas, especialmente as Terras Indígenas e Unidades de Conservação, apresentaram desempenho superior na contenção do fogo em comparação com áreas sem proteção legal, ainda que com variações significativas entre os estados e categorias. Entretanto, ainda se mostraram vulneráveis em contextos específicos, como observado na região que compõe a APA da Ilha do Bananal/Cantão (TO), que demonstrou valores elevados em todos os parâmetros estudados, reforçando a necessidade de normas ambientais que reforcem a proteção ao fogo especialmente nessas regiões mais suscetíveis.

A eficácia das Unidades de Conservação também variou de acordo com a categoria de manejo (proteção integral ou uso sustentável) e o Estado federativo, tornando a comparação da entre elas inconclusiva, uma vez que, a composição, extensão e distribuição dessas categorias variam entre os estados e não foram padronizadas na base de dados utilizada. É importante destacar que as proporções do território ocupado por UCs, TIs e do próprio Cerrado também diferem entre os estados, o que influencia diretamente na interpretação dos resultados obtidos.

Por outro lado, os dados demonstraram uma clara maior incidência do fogo em vegetações naturais em comparação às antrópicas, o que pode ser atribuído à menor presença de monitoramento, controle e combate nessas regiões. A vegetação natural, muitas vezes de difícil acesso e menos manejada, tende a acumular maior quantidade de biomassa combustível, sendo mais suscetível a incêndios, especialmente em contextos de seca severa e mudanças climáticas.

Os dados reforçam a necessidade da adoção de políticas públicas mais eficazes para a prevenção e combate do fogo no Cerrado, com estratégias específicas para diferentes categorias de uso do solo. Tais estratégias devem incluir o fortalecimento da fiscalização ambiental, o aumento do investimento em profissionais e equipamentos para o combate a incêndios, o monitoramento contínuo das áreas vulneráveis e a valorização dos serviços ecossistêmicos prestados pelo bioma. A intensificação das mudanças climáticas, associada à expansão contínua das atividades agrícolas têm comprometido a resiliência do Cerrado aos impactos do fogo,

causados pela má gestão integrada entre a conservação ambiental e desenvolvimento econômico, tornando-o cada vez mais vulnerável à degradação ambiental.

Ao oferecer uma análise de quase quatro décadas de ocorrências de fogo no Cerrado, este estudo contribui para o aprimoramento das estratégias de prevenção e controle do fogo, além de subsidiar informações cruciais para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e integradas à conservação ambiental. Ainda assim, recomenda-se que trabalhos futuros aprofundem a análise em escala estadual ou local, incorporando variáveis como políticas públicas específicas, aspectos culturais e histórico de manejo do fogo, de forma a gerar informações com maior precisão científica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. C.; SILVA, A. G. Agricultura Tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2.
- AQUINO, Fabiana de Gois; PINTO, José Roberto Rodrigues; RIBEIRO, José Felipe. Evolução histórica do conceito de savana e a sua relação com o Cerrado brasileiro. ComCiência, Campinas, n. 105, 2009. Disponível em: <http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542009000100009&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- ARAÚJO, F. M. Avaliação das Áreas Queimadas no Bioma Cerrado: Proposições para o Monitoramento e Conservação. 2015. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa em Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2015.
- ASSAD, E. D. (Coord.). Chuva no Cerrado: análise e espacialização. 2. ed. rev. ampl. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 1 CD-ROM.
- ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Análise frequencial da precipitação pluviométrica. In: Assad, E. D. coord. Chuvas nos Cerrados: análise e espacialização. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Brasília: EMBRAPA-CPAC: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 25-42.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Balanço hídrico e clima da região dos Cerrados. Coord. Edmon Nimer; Ana Maria P. M. Brandão. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/noticias/nas-ultimas-tres-decadas-sul-registra-aumento-de-ate-30-na-precipitacao-media-anual>>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- BRASIL. Ministério da Fazenda. Crédito rural. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/politica-agricola-e-meio-ambiente/atuacao-spe/credito-rural#:~:text=Consiste%20na%20destina%C3%A7%C3%A3o%20de%20recursos,de%20seus%20produtos%20ou%20industrializa%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC: Lei nº 9.985/2000. Brasília: MMA, 2000.
- BRAUMANN, R.; CARNEIRO, F. G. Os agentes econômicos em processo de integração regional – Inferências para avaliar os efeitos da ALCA. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 33p, 2002.
- BRITO, D. et al. Unidades de conservação e sua contribuição para a conservação do Cerrado. Biodiversidade Brasileira, v. 9, n. 1, p. 18–33, 2019.
- CÂMARA DE COMUNICAÇÃO – EMBRAPA. TerraClass mostra a cobertura e o uso da terra no bioma Cerrado. Brasília: Embrapa, 15 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77150778/terraclass-mostra-a-cobertura-e-o-uso-da-terra-no-bioma-cerrado>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL (CLDF). Cerrado: parte 1. Brasília, DF: CLDF, s.d. Disponível em: <https://biblioteca.cl.df.gov.br/dspace/bitstream/123456789/630/1/Cerrado_Parte1.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.

CARVALHO, W. dos Santos; FILHO, F. J. C.; SANTOS, T. L. (2021). Uso e cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação / Land use and land cover using the Google Earth Engine Platform (GEE): Case study in a Conservation Unit. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 15280–15300.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). El Niño e La Niña. São José dos Campos: CPTEC/INPE, [2025?]. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 13 maio 2025.

CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação/Aldicir Scariot, José Carlos Sousa-Silva, Jeanine M. Felfili (Organizadores). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

COCHRANE, M. A.; RYAN, K. C. Fire and fire ecology: Concepts and principles. In: Tropical Fire Ecology. Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 25-62.

COLE, M. M. The savannas: biogeography and geobotany. London: Academy Press, 1986.

Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Norma Operacional nº 03 – Prevenção e Combate a Incêndio Florestal. Goiânia: CBMGO, 30 nov. 2010. Disponível em: <<https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/NO-03-Prevencao-e-Combate-a-Incendio-Florestal.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

COSTA, D. E. C.; Ocorrência de fogo no Cerrado: Uma abordagem de longo prazo usando sensoriamento remoto. Tese – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro. 2017.

COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. In: A. L. Klein (Ed.). Eugen Warming e o cerrado brasileiro um século depois. São Paulo: Editora Unesp; Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, Brasil, 2002. p. 77-91.

EITEN, G. Vegetação. In: PINTO, Maria Novaes (Org.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1990. p. 9-67.

EMBRAPA. Mudanças socioeconômicas e espaciais na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/mudancas-socioeconomicas-e-espaciais-na-agricultura>>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FERREIRA, L. G.; SANO, E. E.; FERNANDES, A. M.; ARAUJO, F. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Agricultural expansion and climate variability threaten the integrity of a World Heritage Site in the Brazilian Cerrado. *Land Degradation & Development*, Hoboken, v. 28, n. 4, p. 1176–1186, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/lde.2665>.

FERRI, M. G. Ecologia dos Cerrados. In: FERRI, Mário Guimarães (Cord.). IV Simpósio Sobre o Cerrado. Belo Horizonte: Editora Itatiaia Limitada, 1977. p. 15-36.

FREITAS, Saulo Ribeiro de. Modelagem numérica do transporte e das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas no Cerrado e floresta tropical da América do Sul. 1999. Tese

(Doutorado em Física Aplicada) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 17 ago. 1999. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43131/tde-15082012-164538/publico/39796Freitas.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

FUNAI – Fundação Nacional dos Povos Indígenas. Terras Indígenas Regularizadas. Disponível em: <https://www.gov.br/funai>. Acesso em: jul. 2025.

GOOGLE EARTH ENGINE (GEE). What is Earth Engine? 2020. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/faq/>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HUMBER, M.; JUSTICEA, C. The Collection 6 MODIS Burned Area Mapping Algorithm and Product. *Remote Sensing of Environment*. v. 217, p. 72-85, 2018.

GIGLIO, L.; JUSTICE, C.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2015.

GONTIJO, G. A. et al. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: 2011. p.7966

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. Econometria básica. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924 p

HEMSLEY, Pedro; SILVA, Evandro Bueno Vieira da; CARVALHO, Carlos A. M. Technological progress in Brazilian agriculture: A spatial analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 71, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012119305774>>. Acesso em: 8 jun. 2025.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Incêndios florestais*. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/incendios-florestais#incendioxqueima/>>. Acesso em: 01 jun. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatibilidade entre a vegetação e o mapa de biomas. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Biodiversidade: conservação da biodiversidade*. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cbc/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC). Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br>>. Acesso em: jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Balanço hídrico e clima da região dos Cerrados. Coord. Edmon Nimer; Ana Maria P. M. Brandão. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS
RENOVÁVEIS (IBAMA).

Miranda, H. S. Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades do Cerrado. Brasília: Ibama (Centro Nacional de Informação e Informação Ambiental – CNIA), [2010?]. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitodosregimedofogodigital.pdf>>. Acesso em: 1º jun. 2024.

Instituto de Biociências – IB. USP. (s.d.). Aspectos do clima do Cerrado. Recuperado em 22 de julho de 2025, de Instituto de Biociências, USP. Em geral, a precipitação média anual fica entre 1200 e 1800 mm

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Nota Técnica: PRODES Cerrado 2023 – Estimativa de desmatamento por corte raso no bioma Cerrado para o ano de 2023. Brasília: INPE, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/a-area-de-vegetacao-nativa-suprimida-no-bioma-cerrado-no-ano-de-2023-foi-de-11-011-70-km2/2023_1121NotaTecnica_ProdesCerrado_2023.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA – IPAM. Área queimada sobe 221% nas savanas do Cerrado em agosto. 2024. Disponível em: <<https://ipam.org.br/area-queimada-sobe-221-nas-savanas-do-cerrado-em-agosto/>>. Acesso em: 14 maio 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2020.

JESUS, Janisson Batista de; ROSA, Cristiano Niederauer da; BARRETO, Íkaro Daniel de Carvalho; FERNANDES, Milton Marques. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 176–191, jan.–mar. 2020. DOI: 10.5902/1980509837696. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/cflo/a/jnVZfCH6xj5QY3x49kQvtjx/>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

KLINK, C.; MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. v. 1, 2005.

K.R. Ferraz-vicentini, M.L. Salgado-Labouriau. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 123, n. 3–4, p. 235–254, 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0895981196000077>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

LARA, Daniel Xavier; FIEDLER, Nilton César; MEDEIROS, Marcelo Brilhante de. Uso do fogo em propriedades rurais do Cerrado em Cavalcante, GO. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 9–15, jan./mar. 2007. DOI: 10.5902/198050981930. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/198050981930>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

LIMA, Isabella Caixeta. Monitoramento dos focos de queimadas nos biomas Amazônia e Cerrado nas estações seca e chuvosa de 2017. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22348/1/MonitoramentoFocosQueimadas.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

MAPBIOMAS.2024a Fatos sobre o Cerrado: Coleção 9 – Cicatrizes de Fogo. São Paulo: MapBiomass, Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/09/Factsheet-Cerrado_C9_17.09.24_FG-e-AG_v3.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

MAPBIOMAS. 2024b. Nota técnica: dinâmica do fogo e áreas de pastagem no Brasil. São Paulo: MapBiomass, Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/01/Nota_Tecnica_Fogo-e-Pastagem_2024-1.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

MapBiomass. *O projeto*. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass. Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil 2021. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>>. Acesso em: 10 de agosto de 2021

MAPBIOMAS. Coleção 9 – Projeto MapBiomass: mapeamento anual da cobertura e uso do solo no Brasil. 2024c. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Legenda-Colecao-9-LEGEND-CODE.pdf>>. Acesso em: jul. 2025.

MARTINS, Gustavo Tadeu; SANTOS, Felipe R.; SILVA, Carolina M. T. Variação espaço-temporal da ocorrência do fogo nos biomas brasileiros com base na análise de produtos de sensoriamento remoto. A GETo – Revista de Estudos em Gestão, Educação e Tecnologias Ambientais, Rio Claro, v. 4, n. 4, p. 1-15, 2022. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/15119/11630>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). O Bioma Cerrado. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html>>. Acesso em: 6 maio 2024.

NASCIMENTO, I. C.; Cerrado: o fogo como agente ecológico. *Territorium*, n. 8, p. 25–35, 15 set. 2001.

OLIVEIRA, Ubirajara; SOARES-FILHO, Britaldo S.; BUSTAMANTE, Mercedes; GOMES, Letícia; OMETTO, Jean P.; RAJÃO, Raoni. Determinants of Fire Impact in the Brazilian Biomes. *Frontiers in Forests and Global Change*, v. 5, article 735017, 28 mar. 2022. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2022.735017/full>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - IPCC. Climate Change and Land. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-7/>>. Acesso em: 15 julho. 2024

PIVELLO, V. R. O uso do fogo em áreas protegidas do Brasil: princípios e práticas. *Biodiversidade Brasileira*, ano 1, n. 1, p. 52–65, 2011.

RIBEIRO, J. F; WALTE, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

RIVERA-LOMBARDI, R. J. Estudo da recorrência de queimadas e permanências de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/LANDSAT. – São José dos Campos: INPE, 2003. 172p. – (INPE-12663-TDI/1006)

RIVERA-LOMBARDI, Roberto Javier; KRUG, Thelma; SANTOS, João Roberto dos. Permanência média de cicatrizes do fogo em diferentes tipos fisionômicos do Cerrado brasileiro, utilizando dados do sensor TM/Landsat. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. São José dos Campos: INPE, 2005. Disponível em: <https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/documentos/200504_lombardi_krug_santos_13sbsr_cicatrizes.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ROCHA, M. I. S; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 03, p. 1220-1235, 2021.

SANO, E. E. et al. Cerrado e suas Áreas Protegidas: evolução, desafios e oportunidades. Brasília: Embrapa, 2019.

SILVA, D. C. da. Efeito do fogo sobre atributos do solo e da vegetação em áreas de Cerrado sensu stricto no Distrito Federal. 2018. 143 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2018_Silva_EfeitoFogoCerrado_Doutorado_UNB_DE3os.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

TROLLOPE, W. S. W.; TROLLOPE, L. A.; HARTNETT, D. C. Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. Forest Fire Research and Wildland Fire Safety, Millpress, Rotterdam, 2002.

UNIFESP. A influência do fenômeno climático ENOS e do uso do solo na extensão das áreas queimadas. 2022.

USO DO FOGO EM PROPRIEDADES RURAI DO CERRADO EM CAVALCANTE, GO – Daniel Xavier lara; nilton cesar fiedles, Marcelo brilhante de medeiros,

WOOLDRIDGE, J.M. Introdução à Econometria – uma abordagem moderna. São Paulo: Cengage Learning, 4 ed. 2010. 701p.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF-Brasil). *Por dentro do Matopiba*. Brasília: WWF-Brasil, maio 2017. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?60465/Por-Dentro-do-Matopiba>>. Acesso em: 6 maio 2024.

ZHAO, Q.; YU, L.; LI, X.; PENG, D.; ZHANG, Y.; GONG, P. Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. Remote Sensing, 13(18), p.3778. 2021.