



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

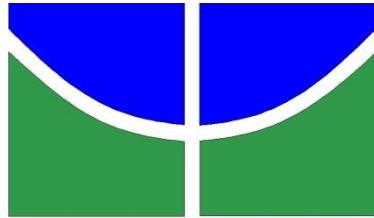
**ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA
DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO NATIVA NO BIOMA CERRADO**

LUIZ PHELIPE BATISTA DE SOUZA VERAS

Brasília-DF, 4 de junho de 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA
DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO NATIVA NO BIOMA CERRADO**

LUIZ PHELIPE BATISTA DE SOUZA VERAS

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

4 de junho de 2025

RESUMO

Veras, Luiz Phelipe Batista de Souza (Veras, L. P. B. S.) **ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO NATIVA NO BIOMA CERRADO**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Os incêndios florestais consistem em um fenômeno complexo e de alta relevância ambiental e socioeconômica. Entender a ocorrência espaço-temporal deste fenômeno na vegetação nativa tem sido um grande desafio técnico-científico, com potencial de uso e aplicação no monitoramento e mitigação dos efeitos do fogo. Neste estudo buscou-se analisar os efeitos de fatores que influenciam na ocorrência de incêndios em formações florestais e savânicas do Cerrado, em uma série temporal de 10 anos, entre 2013 e 2023. Foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento disponíveis em Sistema de informação Geográfica (SIG) e avaliada a distribuição das cicatrizes de fogo que ocorreram em vegetação nativa em 5 sub-regiões do Cerrado, por meio da média e porcentagem relativa e da análise estatística das variáveis com potencial de afetar a ocorrência de fogo na região de estudo, a partir do modelo Probit a 99% de probabilidade, com a variável omitida sendo o ano de 2013. Os resultados indicam que a probabilidade incondicional da ocorrência de fogo no Cerrado é de aproximadamente 2%, enquanto as variáveis com maior influência incluem a distância de desmatamento e das cidades e a latitude. As formações savânicas foram mais afetadas pelo fogo no período de estudo do que as florestais, e as sub-regiões mais impactadas foram a Norte e a Centro, enquanto as menos afetadas foram a Sul e a Leste. Os resultados também indicam que o fogo ocorre com maior probabilidade à medida que se distancia de áreas desmatadas e de cidades, e teve maior probabilidade de ocorrer fogo nas menores latitudes na área e período de estudo. Além disso, a presença de áreas protegidas teve efeito mitigador na ocorrência de fogo, embora limitado pela crescente pressão antrópica sobre esses territórios. Mesmo com as incertezas do modelo Probit para prever a ocorrência de fogo na área de estudo, a maioria inerentes ao uso exclusivo de variáveis espaciais e temporalmente explícitas, o modelo ofereceu um bom entendimento sobre os fatores que mais influenciam na ocorrência e propagação de fogo no Cerrado. Por fim, recomenda-se refinamentos metodológicos em futuras pesquisas, como o uso de áreas menores nas análises estatísticas.

Palavras-chave: Incêndios florestais; Cerrado; Sensoriamento remoto; Monitoramento ambiental; Geoprocessamento.

ABSTRACT

Veras, Luiz Phelipe Batista de Souza (Veras, L. P. B. S.) **SPATIALLY EXPLICIT ANALYSIS OF FIRE OCURRENCE IN NATIVE VEGETATION IN THE CERRADO BIOME.** Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília, DF.

Wildfires represent a complex phenomenon of high environmental and socioeconomic relevance. Understanding the spatiotemporal occurrence of this phenomenon in native vegetation has been a significant technical and scientific challenge, with potential for use and application in fire monitoring and mitigation. This study aimed to analyze the effects of factors influencing the occurrence of wildfires in forest and savanna formations of the Cerrado biome over a 10-year time series, from 2013 to 2023. Geoprocessing tools available in Geographic Information Systems (GIS) were used, and the distribution of fire scars that occurred in native vegetation across five sub-regions of the Cerrado was assessed through means, relative percentages, and statistical analysis of variables with potential to affect fire occurrence in the study area, using a Probit model at 99% confidence level, with the year 2013 as the omitted variable. The results indicate that the unconditional probability of fire occurrence in the Cerrado is approximately 2%, and the most influential variables include distance from deforestation and urban areas, as well as latitude. Savanna formations were more affected by fire during the study period than forest formations, with the most impacted sub-regions being the North and Central, while the South and East were the least affected. The results also show that fire occurrence is more likely as the distance from deforested areas and cities increases, and there was a higher probability of fire occurrence at lower latitudes within the study area and period. Additionally, the presence of protected areas had a mitigating effect on fire occurrence, although limited by increasing anthropogenic pressure on these territories. Despite the uncertainties of the Probit model in predicting fire occurrence in the study area, most of which stem from the exclusive use of spatially and temporally explicit variables, the model provided a good understanding of the main factors influencing fire occurrence and spread in the Cerrado. Finally, methodological refinements are recommended for future research, such as the use of smaller spatial units in statistical analyses.

Keywords: Forest fires; Cerrado; Remote Sensing; Environmental monitoring; Geoprocessing.

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Va

Veras, Luiz Phelipe Batista de Souza .

ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO NATIVA NO BIOMA CERRADO /Luiz Phelipe Batista de Souza Veras;

Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. Brasília, 2025.

72 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia Florestal) Universidade de Brasília, 2025.

1. Incêndios florestais. 2. Cerrado. 3. Sensoriamento remoto. 4. Monitoramento ambiental. 5. Geoprocessamento. I. Matricardi, Eraldo Aparecido Trondoli, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Veras, L. P. B. S. (2025). **ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO NATIVA NO BIOMA CERRADO**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 72 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Luiz Phelipe Batista de Souza Veras

TÍTULO: ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO NATIVA NO BIOMA CERRADO.

GRAU: Engenheiro(a) 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. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Luiz Phelipe Batista de Souza Veras: E-mail: Lipeb0660@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que fizeram parte dessa caminhada, principalmente aos amigos que fiz na universidade, que tornaram esse tempo mais leve, e à minha mãe, que foi quem tornou possível eu poder me dedicar inteiramente à faculdade e sempre esteve lá para me ajudar nos momentos de necessidade. Além disso, agradeço à minha família, que me deu apoio sempre que era necessário, e ao meu orientador, que deu toda a ajuda que podia dar nessa monografia e em outros momentos, durante o curso. Por fim, agradeço à academia e aos meus amigos online, que conheci em jogos, pois foram estes que não me fizeram enlouquecer em momentos de muita pressão.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
2.1	QUESTÕES DE PESQUISA	16
3.	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GERAL	16
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4.	JUSTIFICATIVAS.....	17
5.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
5.1	O CERRADO	18
5.2	A PREOCUPAÇÃO INTERNACIONAL	19
5.3	OS INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	20
5.4	AS TERRAS INDÍGENAS E QUILOMBOLAS.....	21
5.5	AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO.....	22
5.6	A INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO HUMANA	23
5.7	O GEOPROCESSAMENTO E O SENSORIAMENTO REMOTO	24
6.	MATERIAIS E MÉTODOS	25
6.1	ÁREA DE ESTUDO.....	25
6.2	COLETA DE DADOS.....	26
6.3	MÉTODOS DE GEOPROCESSAMENTO	28
6.4	ESTATÍSTICA DESCRIPTIVA	34
6.5	MODELO PROBABILÍSTICO PROBIT	35
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
7.1	OCORRÊNCIA DE FOGO NO CERRADO.....	37
7.2	OCORRÊNCIA DE FOGO NA SUB-REGIÃO SUL DO CERRADO	41
7.3	OCORRÊNCIA DE FOGO NA SUB-REGIÃO LESTE DO CERRADO.....	42
7.4	OCORRÊNCIA DE FOGO NA SUB-REGIÃO OESTE DO CERRADO	45
7.5	OCORRÊNCIA DE FOGO NA SUB-REGIÃO CENTRO DO CERRADO	47
7.6	OCORRÊNCIA DE FOGO NA SUB-REGIÃO NORTE DO CERRADO.....	49
7.7	MODELO PROBABILÍSTICO PROBIT PARA A OCORRÊNCIA DO FOGO	51
8.	CONCLUSÃO.....	55
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
10.	BIBLIOGRAFIA	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Divisão do bioma Cerrado em cinco regiões de análise, utilizadas neste estudo.	26
Figura 2. Déficit Hídrico Anual em milímetros no Cerrado.	27
Figura 3. Localização das cidades, áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), Territórios Quilombolas e rede viária no bioma Cerrado.	28
Figura 4. Formações Florestais e formações Savânicas afetada por fogo em cada ano da análise entre 2013 e 2023.	29
Figura 5. Localização das amostras aleatórias utilizada para coleta de dados para o modelo Probit no bioma Cerrado, dividido em cinco regiões de análise.	30
Figura 6. Desmatamento em 2013 e 2023 no bioma Cerrado.	30
Figura 7. Áreas afetadas por fogo amostradas para o modelo Probit, separado por regiões de análise, anualmente.....	32
Figura 8. Variáveis espacialmente explícitas utilizadas no modelo Probit, relacionadas à ocorrência do fogo no bioma Cerrado, incluindo: distância euclidiana de rodovias federais e estaduais, cidades, unidades de conservação, terras indígenas e territórios quilombolas.	33
Figura 9. Áreas com formações florestais e savânicas remanescentes em 2013 e 2023.....	34
Figura 10. Influência da distância euclidiana do desmatamento, em quilômetros, na probabilidade de haver incêndios em formações florestais ou formações savânicas.	53
Figura 11. Influência da latitude, em quilômetros, na probabilidade de haver incêndios em formações florestais ou formações savânicas.	53
Figura 12. Influência da distância euclidiana de cidades, em quilômetros, na probabilidade de haver incêndios em formações florestais ou formações savânicas.....	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Modelo Probit.	35
Equação 2. Probabilidade de ocorrência de incêndios pelo modelo Probit.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado obtido após o processamento de dados do modelo Probit, utilizando a ocorrência de incêndios florestais como variável dependente e as demais como variáveis independentes, sendo o ano de 2013 o utilizado como variável temporal omitida. 52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentagem de área atingida por fogo de cada tipo de vegetação, em relação ao total de cada vegetação no Cerrado.	37
Gráfico 2. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda do Cerrado.	39
Gráfico 3. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total no Cerrado.	39
Gráfico 4. Porcentagem de focos de incêndio em cada vegetação nativa em relação à quantidade total no Cerrado, dividido por sub-região.	40
Gráfico 5. Média de área incendiada anualmente, em porcentagem, por área de interesse estudada.	41
Gráfico 6. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação e de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total, os dois na sub-região Sul do Cerrado.	42
Gráfico 7. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Sul do Cerrado.	42
Gráfico 8. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Leste do Cerrado.	43
Gráfico 9. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda na sub-região Leste do Cerrado.	44
Gráfico 10. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Leste do Cerrado.	44
Gráfico 11. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Oeste do Cerrado.	45
Gráfico 12. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda na sub-região Oeste do Cerrado.	46
Gráfico 13. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Oeste do Cerrado.	46
Gráfico 14. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Centro do Cerrado.	47
Gráfico 15. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda na sub-região Centro do Cerrado.	48

Gráfico 16. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Centro do Cerrado.....	48
Gráfico 17. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Norte do Cerrado.....	50
Gráfico 18. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda na sub-região Norte do Cerrado.....	51
Gráfico 19. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Norte do Cerrado.....	51

LISTA DE ANEXOS

Anexo I. Dados utilizados para preparar os gráficos relativos à porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, do Cerrado.	67
Anexo II. Dados utilizados para preparar os gráficos relativos à porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Sul do Cerrado.	68
Anexo III. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos à porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Leste do Cerrado.	69
Anexo IV. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos a porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Oeste do Cerrado.	70
Anexo V. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos a porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Centro do Cerrado.	71
Anexo VI. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos a porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Norte do Cerrado	72

1. Introdução

A preocupação com incêndios florestais vem aumentando nos últimos anos, pois além de reduzir a biodiversidade ainda contribui com o aquecimento global, devido à alta liberação de gases do efeito estufa (GEE). Essa é uma preocupação mundial que tem sido intensificada desde o meio do século XX e por isso realizaram-se muitas reuniões internacionais com o objetivo de melhorar as condições climáticas ou as atenuar. Uma das mais recentes e mais importantes reuniões internacionais com preocupação ambiental foi a Convenção de Paris, em 2015, e a Rio +20, em 2012, pois essas foram mais claras em relação aos objetivos e nelas foram estabelecidas metas que os países queriam atingir em um determinado tempo. Desse modo, a Organização das Nações Unidas (ONU), desde a Conferência de Estocolmo em 1972, é a entidade que une os países em relação às preocupações ambientais e seus ecossistemas, tentando compatibilizar isso com o desenvolvimento sustentável. Entretanto, o pontapé inicial foi a publicação do livro “Primavera Silenciosa”, que aconteceu por causa dos efeitos ambientais e climáticos causados pela segunda guerra mundial e a revolução industrial.

Embora a ocorrência de incêndios seja ruim, o uso de fogo não necessariamente causará problemas. Inclusive, muitos povos e comunidades tradicionais que já estão adaptados ao local fazem uso de fogo em diferentes casos, com a Lei N° 14944/2024, que institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, regulando a forma que deve ser feita essa queima controlada. Muitas vegetações necessitam do fogo pois este faz parte do seu ciclo e a vegetação do Cerrado já é até adaptada a isso, e quando utilizado corretamente, os incêndios florestais são benéficos para a atividade humana, para a renovação de habitats e para a vida selvagem (Pausas e Keeley, 2019). Portanto, o uso do fogo não é necessariamente ruim, depende de como é utilizado e se foi tomado as devidas precauções para que ele não fique fora de controle e se alastre mais do que o planejado, sendo esse um dos focos da Lei N° 14944.

Os povos e comunidades tradicionais muitas vezes são povos indígenas ou quilombolas com propriedade reconhecida pela União e que têm uma tendência a terem uma maior preocupação com essas áreas, pois nessas áreas geralmente terá menor incidência de incêndios florestais e desmatamento. Também existem as Unidades de Conservação (UCs) que além de serem protegidas pelo governo em sua devida esfera (Federal, Estadual, Municipal ou Distrital) é possível ter ou não residentes e nessas que aceitam boa parte será desses povos. Tanto as UCs quanto as terras indígenas ou as terras quilombolas terão a característica em comum de serem um local ecologicamente mais equilibrado, mais bem conservado — contendo aproximadamente

93% de vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2024) — e menor suscetibilidade a alguns tipos específicos de desastres naturais que acontecem com maior frequência por causa de uma ocupação humana rápida e mal planejada.

Alguns dos principais motivos para a ocorrência de Incêndios florestais é o aumento da frequência de eventos de seca extrema e muitos fatores e vetores também contribuem para isso, mas no Cerrado a maior parcela de culpa é do desmatamento com a função de substituir a vegetação nativa pelo plantio de diversas culturas comerciais do agronegócio tanto que em 2023 tinha somente 50,9% de vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2023). Pode parecer que não tem razão para preocupação pois ainda tem muita área preservada, mas se lembrado que o processo de ocupação dessa área só foi intensificado de verdade somente a partir do início da década de 70, devido aos grandes avanços tecnológicos na área da agricultura e à busca por terras mais baratas (BRASÍLIA AMBIENTAL, 2018), é possível notar o motivo para tal preocupação. Outra razão é o desmatamento na floresta amazônica, mesmo que ainda há 79% de sua vegetação nativa no território brasileiro em 2021 (MAPBIOMAS, 2021), pois no bioma Cerrado boa parte de sua precipitação é devido aos “rios voadores” provindos do bioma Amazônico.

O Cerrado é naturalmente suscetível a incêndios florestais por causa de sua estação seca prolongada e por isso qualquer faísca pode ser o bastante para causar uma fatalidade. Assim, com o aumento da ocupação humana e a passagem por estes em locais que antes não acontecia aumentou a fragmentação dos habitats e o efeito de borda, que só contribui ainda mais para essa suscetibilidade. Logo, está cada vez mais comum ser possível ver o céu com uma cor meio acinzentada devido às grandes áreas queimadas de forma descontrolada e mesmo com a adaptação natural deste bioma ao fogo impossibilita a regeneração natural destes ecossistemas. Dependendo da intensidade, da frequência com que ocorre esses incêndios, das características, do tipo de combustível e das propriedades deste (Lourenço, 1990), o fogo pode afetar os processos geomorfológicos, hidrológicos e ambientais do ecossistema em questão (Diakakis et al., 2017).

No presente estudo, foi feito uma análise espaço-temporal das mudanças do uso e cobertura da terra ocorridas entre 2013 e 2023 no bioma Cerrado. Analisou-se também os efeitos de variáveis espacialmente explícitas na ocorrência de fogo neste bioma no intuito de descobrir quais áreas de vegetação nativa são mais suscetíveis à ocorrência de incêndios e possibilitar a criação de planos para diminuir o risco nessas áreas que necessitam de mais

preocupação em relação ao fogo. Os resultados dessa pesquisa contribuem para o melhor entendimento do fogo no Cerrado, permitindo o embasamento técnico para a definição de estratégias e políticas públicas para o controle, combate e prevenção dos incêndios florestais neste bioma, pois ainda existe alta demanda por mais conhecimentos científicos sobre a ocorrência e propagação de incêndios florestais para subsidiar ações de controle e mitigação do fogo.

2. Problema de pesquisa

2.1 Questões de pesquisa

Os incêndios florestais causam diversos problemas ambientais e afetam bastante a biodiversidade de forma negativa, por isso é importante saber quais fatores que mais corroboram com esse acontecimento, pois ao saber onde irá acontecer é possível descobrir quais são as áreas que mais necessitam de preocupação e monitoramento. A utilização de imagens de satélite é muito útil para isso porque a partir delas tem a possibilidade de utilizar softwares de geoprocessamento e testes estatísticos para descobrir quais variáveis são mais relevantes na influência da ocorrência de incêndios no Cerrado. Desta forma, essa pesquisa foi feita no intuito de responder as seguintes questões:

- a) Quais são os fatores que mais influenciam a ocorrência de incêndios florestais em savanas e em formações florestais no bioma Cerrado?
- b) Quais as sub-regiões onde ocorrem a maior parte dos incêndios florestais nas diferentes formações típicas do Cerrado?
- c) Qual os principais fatores espacialmente explícitos que afetam a ocorrência e a propagação do fogo no Cerrado?

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Analizar os fatores que afetam a ocorrência do fogo em vegetação nativa do bioma Cerrado, no período entre 2013 e 2023, a partir de dados georreferenciados sobre o uso e cobertura da terra e dos incêndios florestais, associando os anos que tiveram mais fogo em vegetações nativas com os possíveis motivos para tal acontecimento.

3.2 Objetivos específicos

- Estimar a probabilidade de fatores espacialmente explícitos na ocorrência de fogo em vegetação nativa do Cerrado, identificando áreas com maior vulnerabilidade ao fogo no bioma;
- Identificar os tipos de uso e cobertura da terra mais vulneráveis ao fogo no bioma Cerrado;
- Produzir informações para subsidiar a definição de estratégias e políticas públicas para o monitoramento, controle e combate aos incêndios florestais.

4. Justificativas

O bioma Cerrado tem grande relevância socioeconômica e ambiental nos contextos local, regional e nacional, pois é considerado o “berço das águas”, contemplando as nascentes das bacias hidrográficas dos rios Tocantins-Araguaia, São Francisco, Paraná, Paraguai e Parnaíba. Acrescido a isso, boa parte das águas subterrâneas localizadas neste bioma aliados à sua vegetação nativa, colaboram para a infiltração de água no solo, o que constitui o principal alimentador das águas subterrâneas brasileiras (ISPN, 2020). Também fornece vários serviços ecossistêmicos diretos e indiretos, como o armazenamento e sequestro de Carbono, a alta biodiversidade (Myers, 2000), espaço para atividades de lazer e diminuição do risco de enchente nas grandes cidades, provendo uma melhor qualidade de vida para os habitantes mais próximos. Tais características elevam a importância deste Bioma, destacam especialmente a relevância de conservar a vegetação nativa e os habitats naturais, para manter esse equilíbrio ecológico.

Contudo, aproximadamente 50% da sua vegetação nativa já foi desmatada até 2023 (Mapbiomas, 2024) e várias áreas são atingidas por fogo, comprometendo a sua integridade ecológica e afetando a sua capacidade de prover integralmente todo o potencial de serviços ecossistêmicos (IBRAM, 2018).

Mais especificamente, aproximadamente 9,7 milhões de hectares desse bioma foi queimado só em 2024, cerca de 5% de sua área total. Apesar de ter sido um ano de fortes efeitos do evento climático *El Niño*, ainda assim teve uma grande área atingida por fogo neste Bioma. Desse modo, 2,7 milhões de hectares foi em Tocantins e 85% dos 9,7 milhões foi em vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2025).

Os incêndios em 2024 foram tão intensos no Brasil que contribuíram com o aumento de 47% de áreas queimadas em relação à média dos últimos 6 anos e, somente em 2024, teve uma área de 30 milhões de hectares queimadas no Brasil, um aumento de 79% em relação a 2023 (MAPBIOMAS, 2025).

Esses incêndios provocam grandes impactos ambientais, sociais e econômicos em todo o país, com maior efeito no bioma Cerrado. É, portanto, extremamente relevante se conhecer os locais e os fatores que mais influenciam a ocorrência e propagação do fogo, de forma a contribuir para a definição de estratégias de monitoramento, controle e combate aos incêndios em vegetação natural no bioma Cerrado. E, com isso, mitigar os efeitos da ocorrência de fogo na região.

5. Revisão bibliográfica

5.1 O Cerrado

É um bioma localizado no centro do país, que tem como uma de suas características ser de clima tropical e é a savana mais rica em biodiversidade do mundo. Este contém cerca de um terço da biodiversidade do Brasil, abrangendo 13 estados, com uma estiagem que se prolonga por aproximadamente 5 meses, e é o segundo maior bioma brasileiro, tendo uma área de aproximadamente 200 milhões de hectares (IBRAM, 2018). Segundo o MAPBIOMAS, suas classes de vegetação que abrangem maior área são respectivamente Formação Savânica, Formação Florestal, Formação Campestre, Campo Alagado e Afloramento Rochoso. Aproximadamente 55,4% dessa vegetação nativa está localizada em áreas privadas com registro fundiário georreferenciado, somente 14,7% em áreas protegidas ou públicas de uso coletivo e o resto em terras públicas ou sem registro fundiário georreferenciado (MAPBIOMAS, 2024).

O Cerrado é uma área que geralmente tem solos profundos, predominantemente de latossolos, e com Ph baixo devido ao alto grau de intemperismo (IBGE, 2017). Este é considerado uma savana diferenciada das outras pelo mundo por causa da influência que sofre da floresta Amazônica. Isso acontece devido à grande evapotranspiração sofrida por essa floresta e às massas de ar que transporta essa evapotranspiração em direção ao Cerrado, assim aumentando a precipitação que ocorre neste bioma. Seu clima tem duas estações bem definidas, uma seca que ocorre de maio a outubro e uma chuvosa que ocorre de novembro a abril, com gradientes de temperatura que aumentam do Sul para o Norte (Sano *et al.*, 2020). Características

que influenciam muito nos tipos de vegetação que é possível encontrar neste bioma, e nele contém 11 tipos diferentes de fitofisionomias, que podem ser classificadas entre formações florestais, savânicas e campestres (Ribeiro, 2008). Cada uma com sua peculiaridade específica e abrigando diferentes tipos de espécies da fauna e da flora, contendo mais de 6.600 espécies, que compõem sua flora e cerca de 40% das espécies arbóreas são endêmicas (IBRAM, 2018).

O Cerrado é um bioma que tem grande importância no contexto hídrico, pois abriga algumas das nascentes que alimentam umas das maiores bacias hidrográficas do Brasil, como a Amazônica, a São Francisco e a Prata, e por isso é conhecido como “berço das águas” (CNM, 2024). Além disso, no Cerrado tem 6 tipos de formas de relevo, os 4 que ocupam mais áreas são as depressões, os planaltos, os patamares e as chapadas, respectivamente (MAPBIOMAS, 2024).

5.2 A Preocupação internacional

A mudança climática é um tema muito debatido mundialmente e esse problema está relacionado com o aumento da poluição e a perda da biodiversidade (DI GIULIO; GRESSE; JACOBI, 2024). Estas duas problemáticas são afetadas pelos incêndios florestais, devido à emissão de gases poluentes e à morte de animais ou espécies florestais, e à própria mudança climática, que pode causar eventos de secas extremas e aumentar a área queimada em florestas. Portanto, está intimamente ligado com o contexto dessa pesquisa e somente por meio de decisões e interferências políticas é possível resolver ou ao menos amenizar esse problema que assola o mundo.

A ONU inicialmente demonstrou a sua preocupação com a parte ambiental a partir da conferência de Estocolmo em 1972, desde então tem sido feito diversos projetos e programas para amenizar essas situações que antes eram desprezadas. Após a pandemia da COVID-19 aumentou a preocupação nessa área, por causa de diversos problemas que assolam a sociedade, como a desigualdade social, pois estes problemas se destacaram mais durante esse período (Sauer, 2024). A ECO 92, realizada no Rio de Janeiro, foi um evento muito importante porque colocou a questão ambiental na agenda global e foi imprescindível para haver vários movimentos socio-ambientalistas e iniciativas agroecológicas atualmente (Domingues; Sauer, 2023; Wolford et al, 2022, Schmitt, 2022). Esse aumento da preocupação ambiental pela humanidade possibilitou acontecer algumas mudanças boas desde 1972 — como por exemplo o início da recuperação do buraco na camada de ozônio após a Convenção de Viena, que

possibilitou sua descoberta em 1977, e o Protocolo de Montreal, que propôs planos para resolução em 1987 —, pois antes só piorava cada vez mais.

Depois disso foi iniciada várias ações que visavam melhorar essas questões ambientais, como acordos de comércio internacionais, convenções e tratados ambientais como a RIO +20 em 2012 — com a agenda 2030 sendo aprovada em 2015 — e a convenção de Paris em 2015 (Sauer, 2024). Quase todas essas convenções e tratados ambientais sofreram dificuldades na implementação de metas porque era comum a ideia de que é impossível haver desenvolvimento econômico enquanto equilibra isso com a sustentabilidade (CMMAD, 1991). Todavia, hoje já não se tem esse pensamento, pois se sabe que pode ser poupar muito dinheiro com os serviços ecossistêmicos ao invés de investir em infraestrutura para ter os mesmos efeitos.

5.3 Os Incêndios florestais

Acontecer fogo em florestas ou outras formações vegetais é um processo natural que beneficia o meio ambiente e acontece em diversos locais do mundo, e no caso do Cerrado é mais comum ainda (PRUDENTE, 2016), tanto que a maioria das espécies vegetais desse bioma são adaptadas para terem casca grossa e raízes profundas. Todavia, quando esse fogo perde o controle e evolui para um incêndio florestal acarreta grandes problemas ambientais (Pausas e Keeley, 2019), pois dependendo da intensidade pode destruir a camada protetora do solo, ocasionando uma redução de cobertura vegetal e consequente maior suscetibilidade à erosão, podendo influenciar na extinção de espécies da fauna e da flora (Meneses, 2013; Vergani et al., 2017; Caon et al., 2014; Filipe e Serralha, 2015).

A queima descontrolada desses seres vegetais emite bastante GEE, que colaboram com a poluição atmosférica e com o efeito estufa. Este fenômeno atualmente está acima do limite aceitável de acordo com convenções como a de Paris, que tem o objetivo de limitar o aumento da temperatura média anual e da emissão de gases poluentes, pois este influencia no aquecimento global, que é uma das maiores preocupações ambientais atualmente.

Os incêndios florestais além de causarem problemas indiretamente a todas as pessoas, também podem impactar diretamente a população — em sua economia, sociedade ou cotidiano —, pois com o alastramento do fogo existe a possibilidade de causar perdas de bens materiais, de infraestruturas, de vidas humanas e causar lesões nas pessoas (Filipe e Serralha, 2015). Logo, é imprescindível que seja feito o necessário para impedir o aumento da proporção desses incêndios e ter estratégias de como evitar uma degradação irreversível quando não for possível

limitar seus danos, como por meio de técnicas de silvicultura (Vergani et al., 2017), pois esse é um problema de reconhecimento mundial pela comunidade científica e representantes internacionais (Bento-Gonçalves et al., 2012).

Esse fogo descontrolado pode ser iniciado por causa de diversos fatores naturais ou antropocêntricos, pois existem muitas características ambientais que tornam um ambiente mais suscetível ao acontecimento de incêndios. No Cerrado, o principal motivo é a seca, que facilita o espalhamento do fogo (IPAM, 2024), pois aumenta a evapotranspiração potencial e o déficit hídrico, valores interligados e que variam com a posição geográfica por causa da influência causada pelas massas de ar.

5.4 As terras indígenas e quilombolas

As terras indígenas são reconhecidas e regulamentadas pelo Decreto N° 7747/2012, que institui a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI). Este é uma política pública que tem como ideias principais o desenvolvimento sustentável, o reconhecimento e a valorização da comunidade indígena. O reconhecimento das terras quilombolas não é realizado de forma similar, pois também é reconhecida e regulamentada por meio de um Decreto, o N°4887/2003, e as maiores diferenças são os agentes responsáveis pela sua implementação. Tanto as terras indígenas quanto as terras quilombolas fazem parte do Decreto N° 5758/2006, que institui o Plano Nacional de Áreas Protegidas (PNAP), demonstrando a importância que essas terras têm na conservação ambiental, pois só nas terras indígenas têm 19% da vegetação nativa total do Brasil (MAPBIOMAS, 2023).

Estas terras mantém uma proporção de 93% de vegetação nativa, demonstrando que estes povos têm uma preocupação maior com o meio ambiente e seus ecossistemas ecologicamente equilibrados, seguindo o artigo 225 da Constituição Federal de 1988. A Constituição de 1988 foi uma das primeiras formas de reconhecimento nacional da importância das comunidades quilombolas e indígenas. A proteção da vegetação nestes locais ocorre porque estes povos não têm um entendimento de que aquelas terras sejam deles, mas sim de que faziam parte dela e por isso se importavam a deixar “viva” e da forma mais natural possível, buscando alcançar um equilíbrio com o ecossistema em que vivem (Guerra et al., 2023).

Em consideração à importância que esses povos têm com as suas terras, o processo para ser substituída a vegetação nativa para outros usos é muito mais complexo, pois nesses casos o licenciamento ambiental é muito mais burocrático e difícil de ser aceito. Isso acontece porque

tem que informar muitas autoridades e ainda necessita entrar em acordo com estes, mesmo que afete estes territórios somente de forma indireta, seguindo o que está escrito nos Decretos N° 7747 e N° 4887. Por fim, em busca de mais uma forma de regulamentar o desenvolvimento sustentável foi criado o Decreto N° 6040, que institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável de Povos e Comunidades Tradicionais e que a partir de 14 diretrizes e 17 objetivos específicos esta política pública busca atender, além daquelas comunidades já citadas, os pequenos produtores rurais. Pois estes também não têm um desenvolvimento econômico de forma predatória e estão em equilíbrio com o ambiente local devido a técnicas de produção ancestrais. Portanto, a participação dessas comunidades e incentivos a elas são importantes ferramentas na resolução de problemas ambientais no Brasil.

5.5 As Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação foram reguladas pela Lei N° 9985/2000, que institui Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), no intuito de proteger o meio ambiente e seus ecossistemas nas diferentes esferas de Governo. Estas podem ser classificadas em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Desenvolvimento Sustentável, e cada uma das duas tem mais subclassificações com suas respectivas características próprias e objetivos. A maior importância dessas UCs que aceitam povos e comunidades tradicionais é porque a participação dessas comunidades é imprescindível para a gestão e cumprimento dos objetivos (Ferreira; Profice, 2019).

A lei N° 9985 cumpre seu papel devido aos 13 instrumentos, 10 princípios e 7 objetivos estabelecidos por meio da Lei N° 6938/1981, Política Nacional do Meio Ambiente. O SNUC também sofre influência da PNAP, Decreto que foi instituído seguindo os compromissos internacionais assumidos pelo Brasil em Convenções Ambientais e as peculiaridades próprias do país por meio dos recursos disponíveis. Em 2020 somente cerca de 30% da área de vegetação nativa do Cerrado estava localizada nas UCs, desta porcentagem de vegetação localizada em UCs 25% são Unidade de Proteção Integral e 75% são Unidade de Desenvolvimento Sustentável (CNUC, 2020). Infelizmente a proteção ambiental proporcionada pelas UCs só se destaca no bioma Amazônico e na área costeira, sendo os outros biomas muito carentes nesse quesito (CNUC,2020). Portanto, é necessário ser criado mais áreas de proteção ambiental nos outros biomas, pois mesmo o Cerrado sendo o segundo bioma com maior área de UCs, se comparado ao seu tamanho de 200 milhões de hectares (IBRAM, 2018), ter 17.354.800 hectares ainda é pouco, pois é o equivalente a somente 8,7% de sua área (CNUC,2020).

A primeira Unidade de Conservação no Cerrado foi criada em 1949 e foi a partir da década de 1980 que se iniciou uma grande taxa de criação de UCs, atingindo seu pico na década de 2000. Contudo, somente até 1990 que as Unidades criadas eram predominantemente de Proteção Integral, essa característica começou a mudar depois da década de 1990 devido ao aumento da criação de Unidades de Desenvolvimento Sustentável. A maioria dessas UCs de Desenvolvimento Sustentável é classificada como Área de Proteção Ambiental ou Reserva Particular do Patrimônio Natural, e se somada a área ocupada delas dá mais do que a soma das áreas de todas as outras de Desenvolvimento Sustentável ou de Proteção Integral, e é possível notar uma tendência de que as novas UCs criadas serão menores do que as antigas (Santos; Cherem, 2022). Sendo esse um problema porque o efeito de borda sofrido por estas novas UCs será mais intenso do que naquelas criadas antigamente, pois quanto maior o território de uma mesma área protegida menor é o efeito de borda.

5.6 A influência da ocupação humana

Desde 1985 mais de 40% da área do Cerrado foi antropizada, e na maioria dos lugares está acontecendo mais perca de vegetação nativa do que ganho. Essa situação se destacou tanto que mais de 120 municípios tem menos de 20% de vegetação nativa, esse desmatamento descontrolado ocorreu devido ao cultivo de lavouras temporárias — que ocupam aproximadamente 97% da área para agricultura (MAPBIOMAS, 2024) — e à rápida urbanização do Centro-Oeste — com construção de cidades, pavimentação de estradas etc. É esperado que quanto mais próximo de locais que são influenciados pela ação humana maior será a chance de ocorrer incêndios por causa das atividades humanas (TORRES, et al., 2014).

O risco de ter incêndios próximo a estradas pavimentadas é maior do que em locais mais distantes, por causa do maior fluxo de movimento humano (TORRES *et al.*, 2010). Estes ocorrem com maior frequência na época da seca e na maioria dos casos devido às ações antrópicas (INPE, 2019). Portanto, o uso e ocupação do solo é um dos principais fatores que influencia no acontecimento do fogo descontrolado na vegetação nativa, de forma accidental ou não, e à medida que se afasta das estradas e dos eixos urbanos diminui o risco da ocorrência de incêndios, de acordo com uma pesquisa realizada em Viçosa - MG (TORRES *et al.*, 2017).

Os locais que têm maior tendência a ocorrer incêndios são os que estão próximos da região central de um município e contém presença de desenvolvimento de atividades agrícolas, isso acontece em razão da pressão antrópica exercida sobre os recursos naturais (Júnior;

Oliveira, 2024). Desse modo, Torres *et al.* (2014) afirma que se não houver o agente causador, que na maioria dos casos é devido a ação de pessoas, não haverá incêndios e que o risco vai aumentando ao se aproximar de estradas e áreas urbanas. Logo, o mapa de uso e ocupação do solo é uma importante ferramenta para descobrir quais são as áreas mais suscetíveis a incêndios florestais e criar planos para os combater (SOUZA *et al.*, 2021).

É de grande importância a realização do zoneamento de risco de incêndios, no intuito de conseguir subsidiar o seu monitoramento (KOPROSKI *et al.*, 2011) e como é muito difícil um monitoramento contínuo dessas áreas de forma presencial, o uso de softwares de geoprocessamento junto à obtenção de imagens por sensoriamento remoto é imprescindível para que seja feito um bom trabalho (SOUZA *et al.*, 2021).

5.7 O geoprocessamento e o sensoriamento remoto

SIG é uma ferramenta com diversas funções e isso é possível devido à capacidade desses softwares de armazenar, inserir, administrar, analisar e apresentar dados espaciais na forma de mapas, relatórios, gráficos e diagramas. Sendo possível fazer sobreposições de informações e formar mapas, que facilitam a tomada de decisões ao conseguir ter uma visualização óptica de como essas informações influenciam ou se interligam. Essas capacidades são úteis não somente para o estudo de incêndios florestais, mas também para diversos outros fatores ambientais e não ambientais (RIBEIRO; GALIZONI, 2013; RIBEIRO, 2013).

A tecnologia citada teve uma evolução bem mais rápida a partir da guerra Fria, o que tornou possível a representação e o armazenamento de dados cartográficos em ambientes computacionais (FUSHIMI; NUNES, 2016). Logo, o geoprocessamento e a cartografia são importantes ferramentas na identificação e análise de diversos fatores, sendo os softwares mais conhecidos e utilizados o ArcGis e o Qgis. Este último *software* tem sido amplamente utilizado por ser gratuito e de acesso livre, mas no presente estudo, utilizou-se os dois *softwares* de forma complementar, devido às próprias peculiaridades e ferramentas disponíveis para o processamento de dados geoespaciais, o que facilitou fazer alguns tipos de processamentos e aplicação de algoritmos.

Sensoriamento remoto é uma técnica indispensável para a obtenção de dados locais e nele é utilizado recursos que tenham alta resolução espacial e temporal, a fim de obter maior precisão na detecção e extração de dados (CHEN *et al.*, 2021). Uma das principais

características dessas imagens é o pixel e as resoluções espetrais, sendo muito úteis para buscar padrões na variável de interesse (ZHANG *et al.*, 2022).

Além disso, com a evolução tecnológica na área de inteligência artificial é possível fazer essas análises de forma bem mais rápida, o que facilita o agrupamento de dados e o desenvolvimento de um modelo de gestão que iria reduzir o custo e aumentar a eficiência no processo de coleta e manejo dos dados (Pimentel; Frigo, 2024). Todavia, para fazer um monitoramento adequado dessas áreas só o sensoriamento remoto não é o bastante, pois também são necessárias técnicas de geoprocessamento já que estas fazem uma análise mais aprofundada desses dados obtidos por meio daquela técnica (GAUTAM; BREMA, 2020).

6. Materiais e métodos

6.1 Área de estudo

A área de estudo envolve todo o território do bioma Cerrado. Este bioma varia muito em altitude, variando 300 metros, em locais como a Baixada Cuiabana, até 1600 metros, em locais como a Chapada dos Veadeiros (Ribeiro; Walter, 1998). Apresenta alta biodiversidade, incluindo mais de 1500 espécies de plantas vasculares endêmicas (Myers, 2000), devido às características únicas do local e sua área de aproximadamente 2 milhões de quilômetros quadrados. O relevo desse bioma é predominantemente planaltos ou chapadões, com pouquíssimas áreas ultrapassando os 900 metros de altitude (MAPBIOMAS, 2024) e a época com maior preocupação em relação aos incêndios florestais é na estação seca, pois tem uma precipitação muito baixa e uma duração muito longa, que como citada anteriormente é de meados de maio até o início de outubro.

O clima no bioma Cerrado é predominantemente Tropical Sazonal de Inverno Seco, com a estação de verão e de inverno bem definidas. As temperaturas médias anuais ficam em torno de 22-23º C, com pouca variação sazonal, podendo ultrapassar máximas de 40º C. A precipitação média anual neste bioma varia entre 1200 e 1800 mm, a maior parte concentrada no período da primavera e verão, que caracteriza a estação chuvosa da região (Sano *et al.* 2015). Juntos, as características físicas e bióticas, aliado aos aspectos socioeconômicos de uso e ocupação, amplificam a susceptibilidade do bioma Cerrado à ocorrência e propagação do fogo (PRUDENTE, 2016).

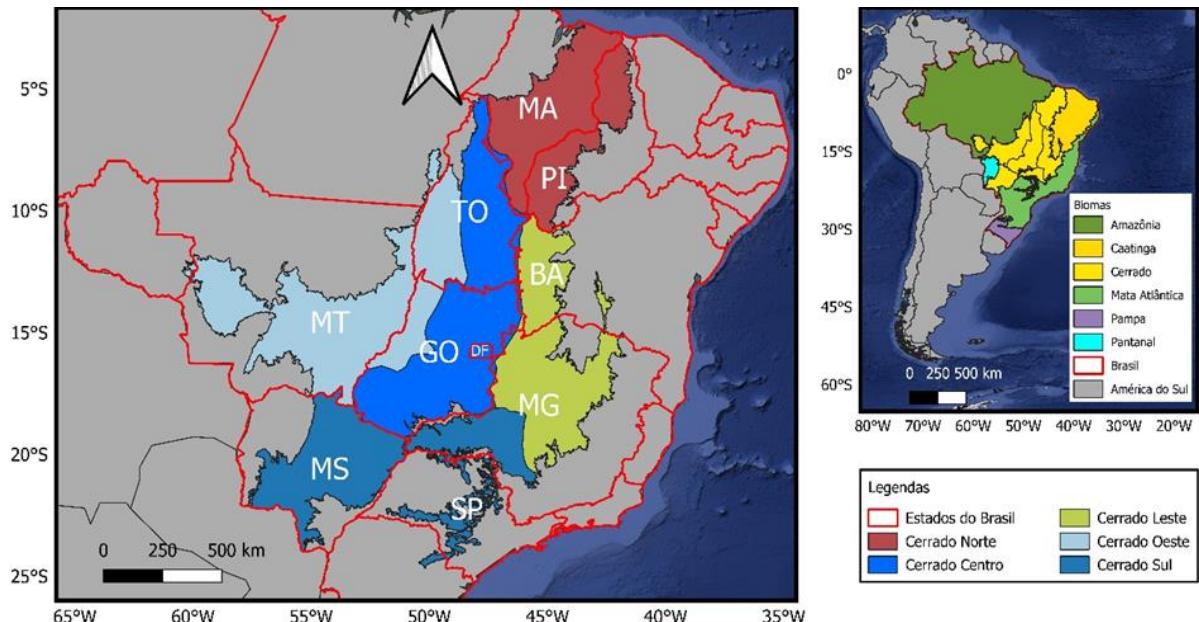


Figura 1. Divisão do bioma Cerrado em cinco regiões de análise, utilizadas neste estudo.
 Fonte: Adaptado de IBGE e MMA (2024).

6.2 Coleta de dados

Os dados foram coletados de diversas fontes diferentes, como do Sistema Geoespacial de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) — estradas rodoviárias federais e estaduais e cidades —, a Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI) — terras indígenas —, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) — terra quilombola —, Cadastro Nacional de Unidade de Conservação (CNUC) — unidades de conservação —, MAPBIOMAS (uso e ocupação do solo e focos de incêndio) e TerraClimate — déficit hídrico climático. Os dados do SNIRH, da FUNAI e do INCRA foram baixados por sites, disponibilizados na bibliografia, e os outros foram por meio de códigos no *Google Earth Engine*. Os que foram coletados por sites são somente um para todos os anos e os que não foram são dados anuais baixados pelo *Google Earth Engine* de 2013 até 2023. A aquisição dos dados foi feita de forma gradativa, pois não foi possível baixar todos os dados em somente uma imagem utilizando a plataforma *Google Earth Engine*, devido ao grande volume de dados requerido para toda a área de estudo.

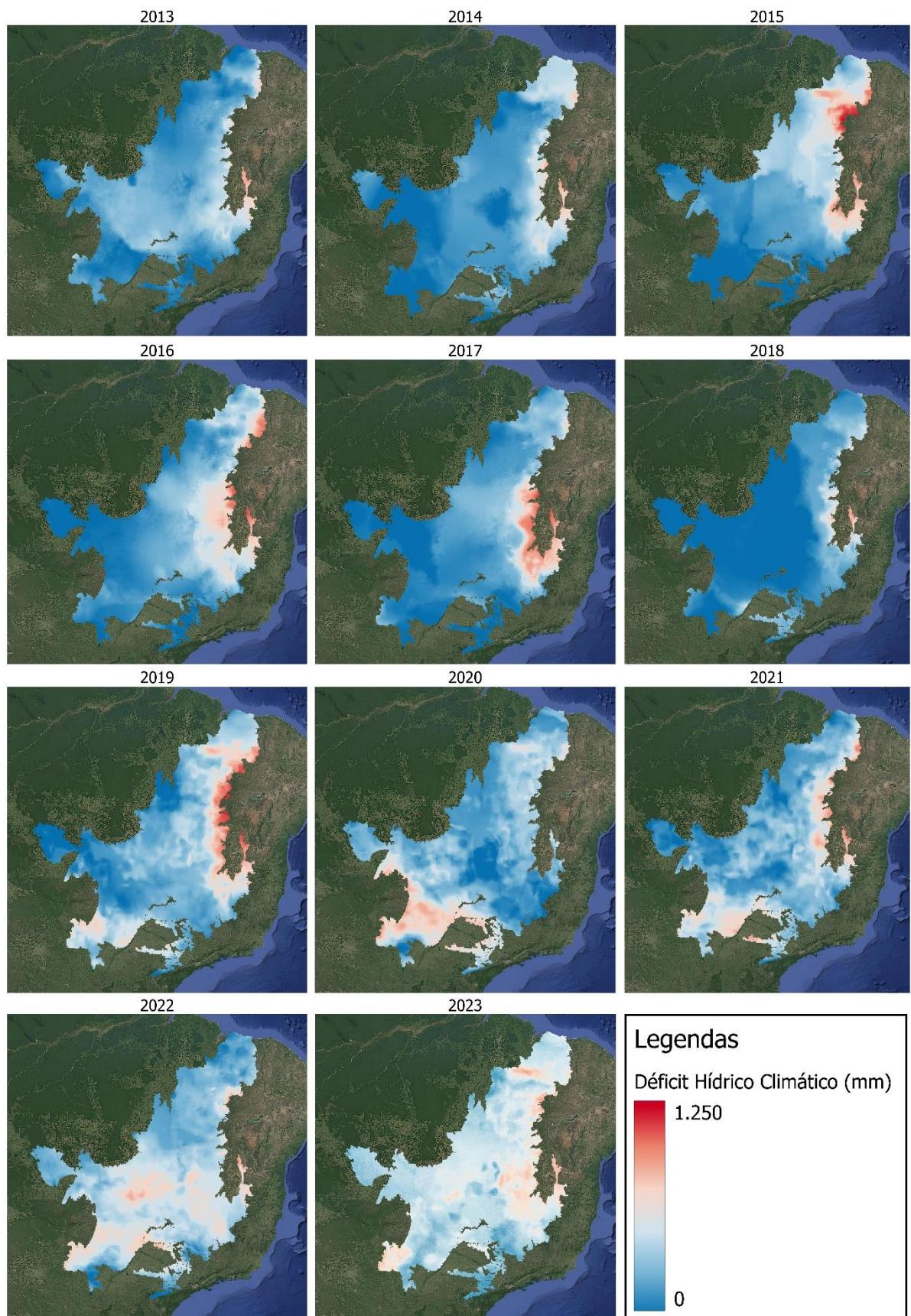


Figura 2. Déficit Hídrico Anual em milímetros no Cerrado.
Fonte: Adaptado do TerraClimate (2025).

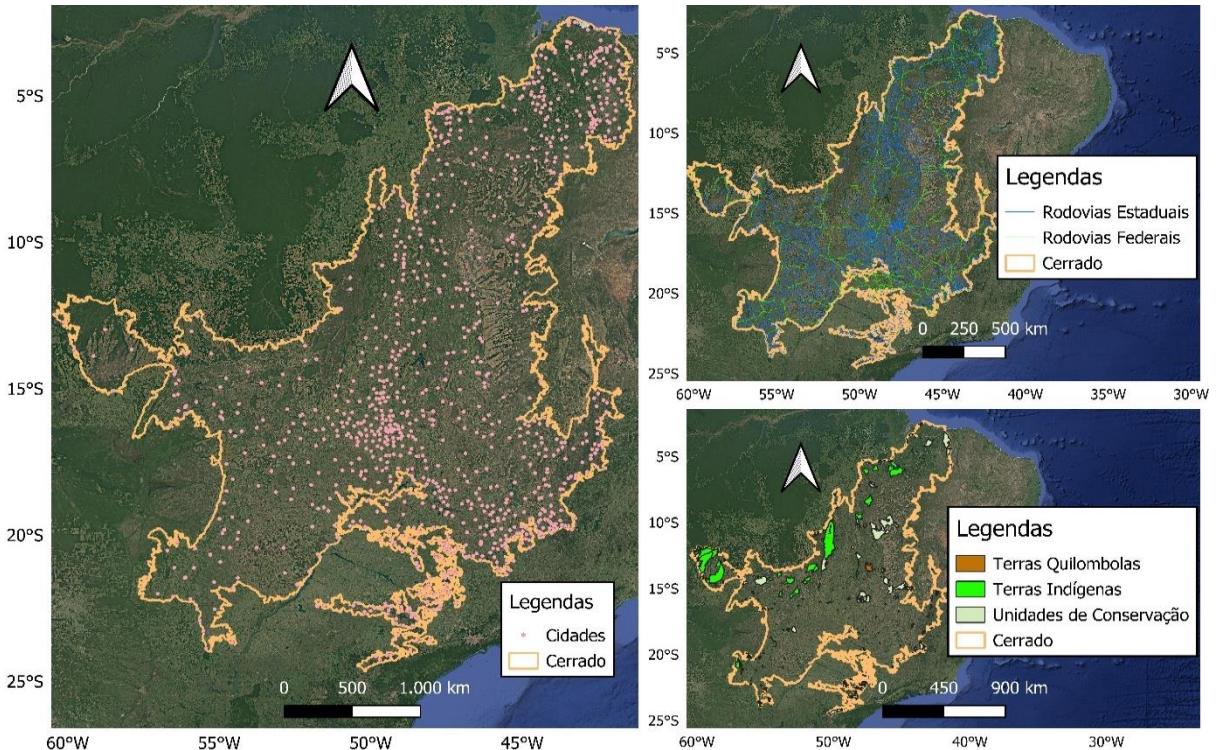


Figura 3. Localização das cidades, áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), Territórios Quilombolas e rede viária no bioma Cerrado.

Fonte: Adaptado do IBGE, SNIRH, FUNAI, INCRA e CNUC.

6.3 Métodos de geoprocessamento

Inicialmente, utilizou-se dados de uso e ocupação do solo. Com a calculadora *raster* do QGIS toda área queimada recebeu o valor 100, que foi somado ao valor original dos pixels do *raster* de uso e ocupação. Assim, obtive pixels com valor 103 para áreas de formação florestal e 104 para as formações savânicas que ocorreram fogo, para cada ano analisado.

Pixels com valor 1 indicaram as áreas desmatadas, enquanto os demais foram desconsiderados na análise. Esse processamento permitiu a comparação entre os dados anuais de uso e ocupação do solo de 2013 e 2023, conforme apresentado na Figura 6, com o objetivo de aplicar posteriormente a análise de distância euclidiana.

Em seguida, foram gerados pontos aleatórios de forma sistemática, com um ponto dentro de cada célula de 15x15 km, cuja distribuição está ilustrada na Figura 5. Esses pontos serviram para identificar onde ocorreu focos de fogo em áreas originalmente classificadas como formações florestais ou savânicas. A extração dos valores dos *rasters* anuais foi realizada no ArcGIS, conforme ilustrado na Figura 4. O mesmo procedimento foi adotado para o processamento dos dados anuais de déficit hídrico climático.

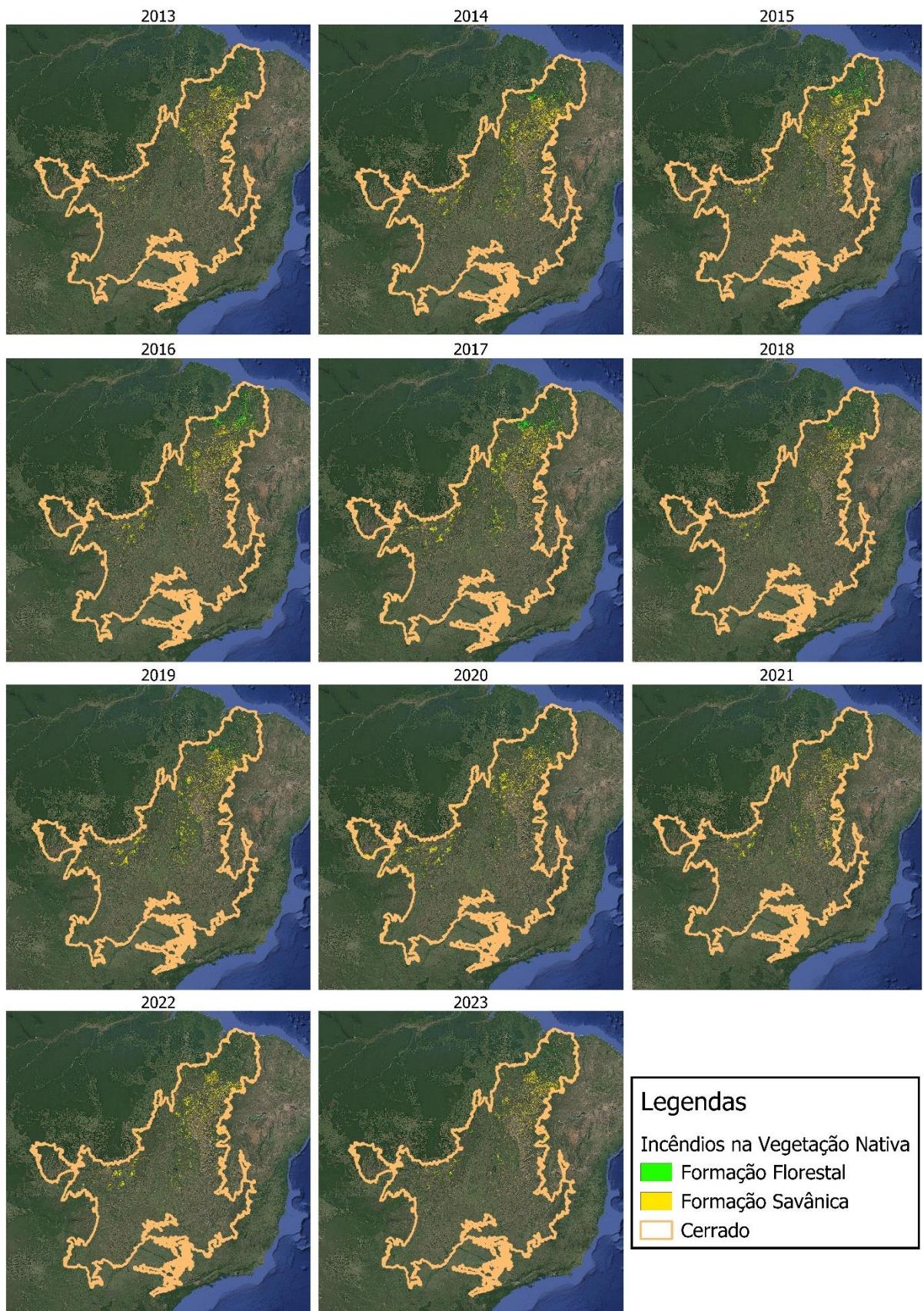


Figura 4. Formações Florestais e formações Savânicas afetada por fogo em cada ano da análise entre 2013 e 2023.

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2025).

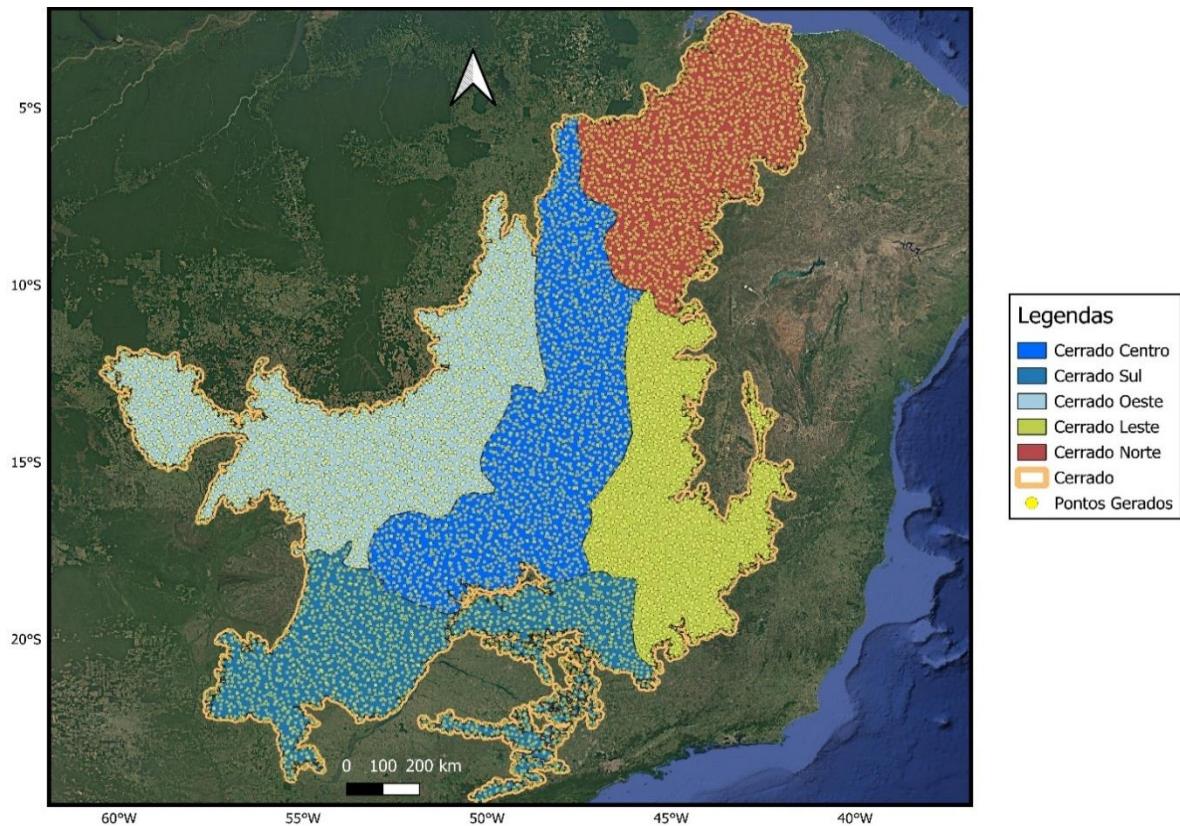


Figura 5. Localização das amostras aleatórios utilizada para coleta de dados para o modelo Probit no bioma Cerrado, dividido em cinco regiões de análise.

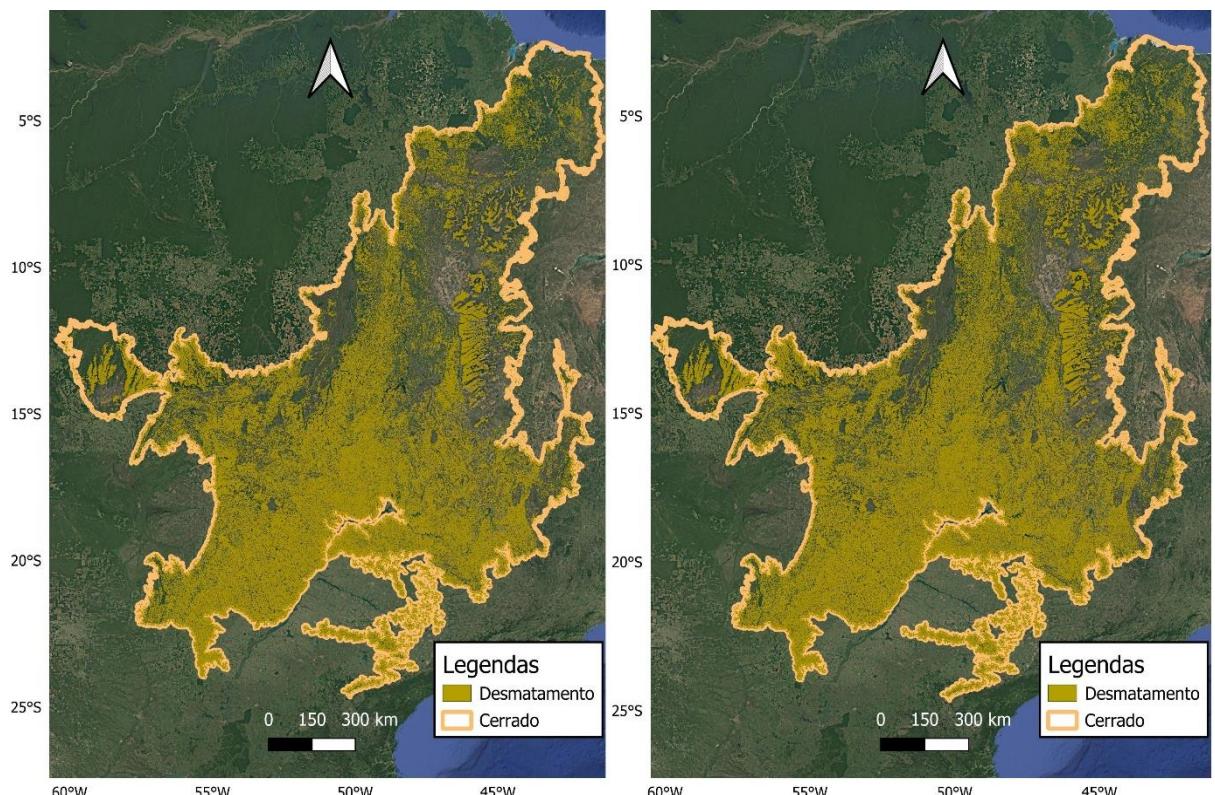


Figura 6. Desmatamento em 2013 e 2023 no bioma Cerrado.

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2025).

A análise de distância euclidiana foi realizada com dados do SNIRH, FUNAI, INCRA e CNUC, utilizando pixels de 100x100 metros (Figura 8). O mesmo procedimento foi aplicado aos dados de desmatamento anual, embora as imagens não tenham sido apresentadas (Figura 6). Neste sentido, ressalta-se apenas que a distância euclidiana máxima observada foi de pouco mais de 24 km.

Todos os *rasters* de distância euclidiana tiveram seus valores extraídos com base nos pontos aleatórios sistemáticos (Figura 5), sendo os resultados utilizados nas análises estatísticas subsequentes.

Para a análise estatística, foram extraídos valores nos mesmos pontos amostrais, considerando tanto as sub-regiões quanto o Cerrado como um todo. Apenas os pontos em que houve ocorrência de incêndios sobre formações florestais ou savânicas foram mantidos, visando identificar qual dessas vegetações é mais suscetível à combustão não intencional e quantificar a área afetada por fogo, por sub-região e no bioma em geral.

O processamento incluiu a contagem de pontos presentes ou ausentes em cada tipo de vegetação ao longo dos anos, para elaborar tabelas no Excel. A partir desses dados foi determinado o número de focos de incêndio por ano em cada tipo de vegetação, separadamente e em conjunto, considerando apenas as áreas sobrepostas entre os pontos amostrais (Figura 5) e os polígonos de formações florestais ou savânicas.

A Figura 7 apresenta os focos de incêndio registrados entre 2013 e 2023 em formações florestais e savânicas, organizados por sub-região do Cerrado, com base na localização dos pontos gerados. Estes são os pontos considerados como valor 1 no modelo Probit, e os outros que não aparecem na figura foram aqueles com valor 0.

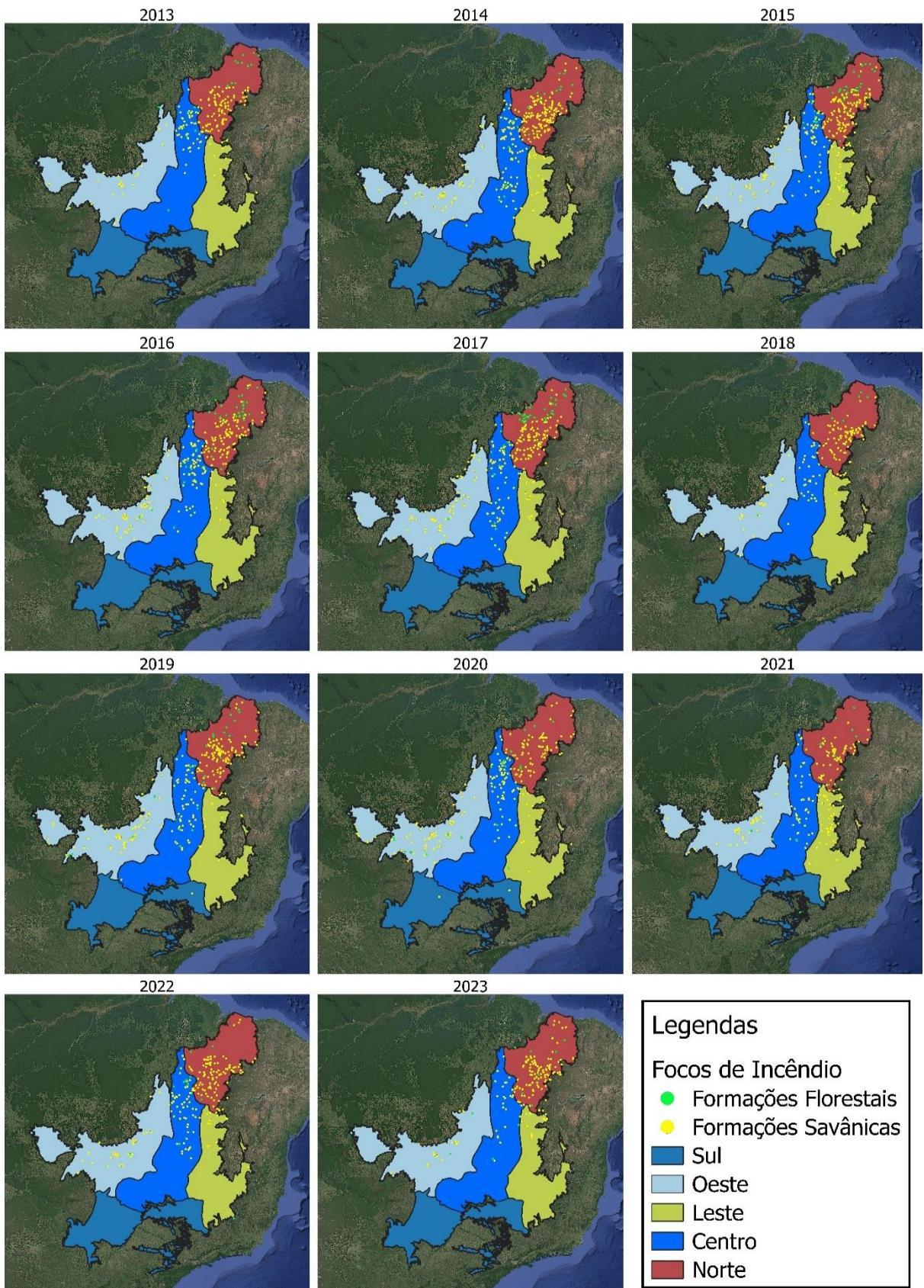


Figura 7. Áreas afetadas por fogo amostradas para o modelo Probit, separado por regiões de análise, anualmente.

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2025).

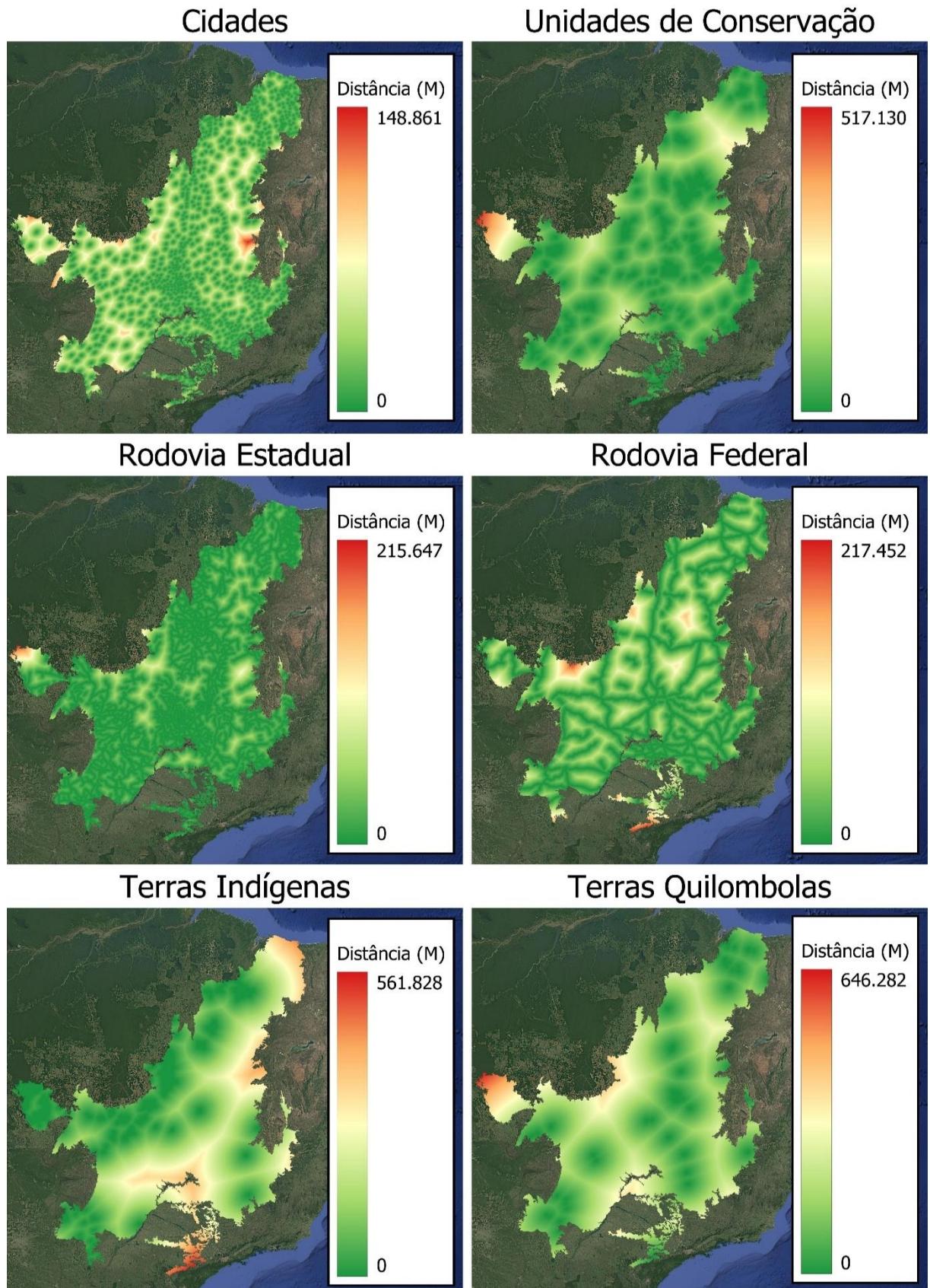


Figura 8. Variáveis espacialmente explícitas utilizadas no modelo Probit, relacionadas à ocorrência do fogo no bioma Cerrado, incluindo: distância euclidiana de rodovias federais e estaduais, cidades, unidades de conservação, terras indígenas e territórios quilombolas.

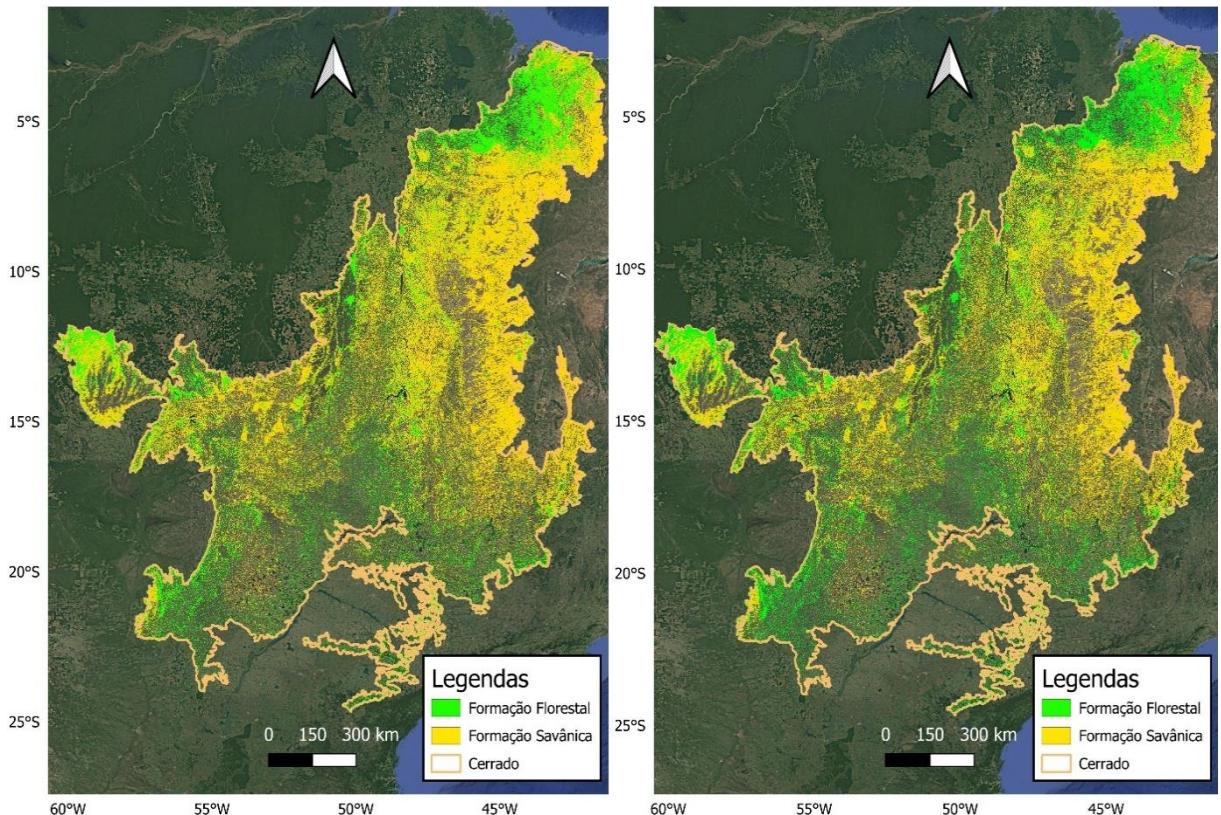


Figura 9. Áreas com formações florestais e savânicas remanescentes em 2013 e 2023.

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2025).

6.4 Estatística descritiva

A maioria dos procedimentos estatísticos foram feitos a partir do software Excel da Microsoft, extraiendo a média aritmética e porcentagem relativa. Estes valores levaram em consideração a quantidade de pontos em toda a área e por sub-região que aconteceram incêndios nas duas vegetações nativas estudadas, em relação à quantidade de pontos totais e por sub-região. Assim, depois de calculado a porcentagem anual das variáveis de interesse, por meio destes dados foi feita a média aritmética da porcentagem durante os 11 anos de estudo de incêndios anuais no Cerrado e por sub-região, considerando separadamente a formação savânica e a formação florestal e os dois em conjunto.

Subsequentemente foi identificado os pontos amostrais que sobreponham áreas atingidas por fogo, bem como qual a formação vegetal nativa atingida, por ano e por sub-região do bioma. Estes dados foram estruturados numa planilha para cada sub-região (Sul, Leste, Oeste, Centro e Norte), conforme os anexos I, II, III, IV, V e VI, respectivamente, no intuito de criar os gráficos necessários para a análise e compreensão dos dados, e para ter uma noção da

velocidade que ocorreu a substituição dessas vegetações nativas por outros usos com o decorrer dos anos.

6.5 Modelo Probabilístico Probit

Para a análise das variáveis espacialmente explícitas, utilizou-se o modelo probabilístico Probit, pois este modelo permite o uso de variáveis binárias com eficiência, para isso foi construída uma malha de 15 km x 15 km recobrindo todo o bioma Cerrado, nessas malhas houve a geração de um ponto em cada quadrícula da malha para coleta dos dados das variáveis espaciais. Desse modo, a variável indicando a ocorrência ou não do fogo (1 para fogo e 0 para não fogo) foi utilizada como variável dependente as demais variáveis foram utilizadas como variáveis independentes do modelo Probit: Distância das áreas desmatadas, distâncias das estradas federais e estaduais, distância das cidades, distância das Terras Indígenas, distância das Terras quilombolas, distância das Unidades de Conservação, valor do déficit hídrico anual, latitude, longitude e o ano de ocorrência ou não do fogo entre 2013 e 2023. As variáveis independentes foram presumidas ter efeitos diretos na probabilidade de ocorrência e propagação do fogo no bioma Cerrado.

De acordo com Wooldridge (2000), o modelo Probit pode ser definido como:

Equação 1. Modelo Probit.

$$y^* = \beta_0 + x\beta + \varepsilon, \quad y = I [y^* > 0], \quad (1)$$

Onde y^* é uma variável latente não observada (neste estudo, um pixel representando ocorrência de incêndio florestal) que satisfaça a distribuição normal e de homoscedasticidade com uma média linear; x é um vetor de variáveis independentes; β é um vetor de coeficientes desconhecidos; e ε é o erro distribuído de forma independente, assumindo ser normal com média zero e variância constante (σ^2). A função indicadora requer que as observações sejam valor **1** se o evento (incêndio florestal) é verdadeiro e **0** se for falso. Baseado nestes princípios, a probabilidade da ocorrência de incêndios na área de estudo pode ser definida de acordo com a equação abaixo:

Equação 2. Probabilidade de ocorrência de incêndios pelo modelo Probit.

$$P(y = 1 | x) = P(y^* > 0 | x) = P(\varepsilon > -x\beta | x) = \Phi(x\beta) \quad (2)$$

A distribuição cumulativa normal é demonstrada por $\Phi (.)$; x é o vetor de variáveis independentes; e β é o vetor de coeficientes desconhecidos.

A partir do design amostral e das variáveis utilizadas, estimou-se as estatísticas dos dados no software Stata, incluindo a significância de cada variável e o coeficiente de influência dos mesmos, tudo por meio da comparação de uma variável temporal omitida (no caso, o ano de 2013). Os dados obtidos foram utilizados como entrada de uma tabela no Excel, observando as variáveis com maior intensidade (efeito) na probabilidade de ocorrência do fogo, elaborando gráficos com as variáveis com efeitos estatísticos significativos na ocorrência do fogo em vegetação nativa do Cerrado.

7. Resultados e discussões

7.1 Ocorrência de fogo no Cerrado

A maior ocorrência de fogo em vegetação nativa acontece em formação savântica. No entanto, em alguns anos, como é o caso de 2015, 2016 e 2017, também ocorrem com muita frequência sobre formações florestais. É provável que houve isso devido às características específicas climáticas daqueles anos, e, por isso não parece ser em razão de fatores usuais que ocorrem anualmente, principalmente quando observado a ocorrência do fogo nas 5 sub-regiões.

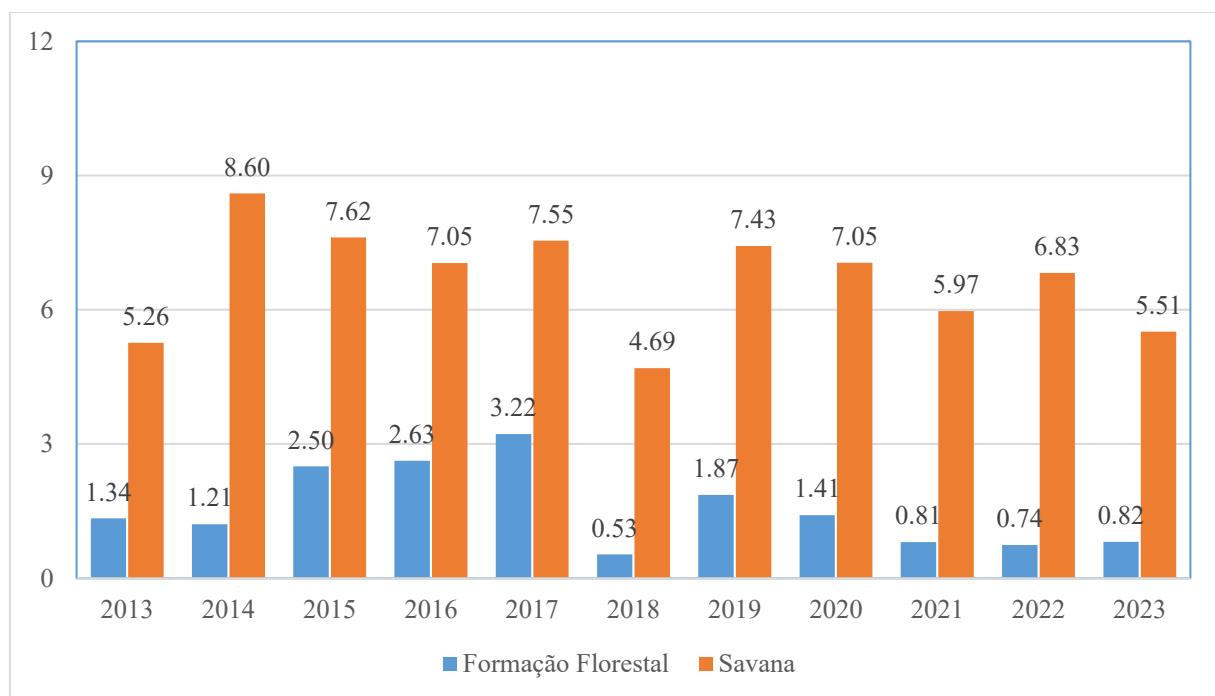


Gráfico 1. Porcentagem de área atingida por fogo de cada tipo de vegetação, em relação ao total de cada vegetação no Cerrado.

De um modo geral, 2013, 2018, 2021 e 2023 foram os anos com menor ocorrência de fogo no Cerrado, como é possível ver pelos gráficos 1 e 2. No caso de 2021 provavelmente teve esse resultado por causa da influência da COVID-19 na população humana, diminuindo bastante os danos causados pelos humanos. Já em 2023 a possível razão disso é a vitória do Luiz Inácio Lula da Silva como Presidente da República do Brasil, pois nos anos em que Jair Messias Bolsonaro estava como chefe de Estado e de governo ele não teve muita preocupação com o meio ambiente, e facilitou que haja danos ambientais ao afrouxar as Leis ambientais que já existiam no momento de sua posse e não fazer novos investimentos nessa área. Contudo, 2018 não teve algum motivo forte para isso, talvez tenha sido devido à implementação de várias

políticas públicas que visavam apoiar as comunidades rurais mais carentes, ser um ano que parte dele foi influenciado pelo evento climático *La Niña* (METSUL, 2018), o que pode ter sido o motivo para ter tido o baixíssimo déficit hídrico em relação aos outros anos, ou à imposição de planos de ação, como o plano de ação e controle de desmatamento e queimadas no Cerrado citado no Decreto N° 11367/2023, que foi um dos privilegiados com a vitória do Presidente da República em 2023 tendo a implementação da 4° fase (BRASIL, 2023). 2013 também foi um ano com poucos incêndios e o motivo disso pode ter sido porque teve mais precipitação que o comum, como é possível ver em várias notícias como a do portal de notícias do grupo Globo G1. Na figura 2 é possível notar que em 2013 também teve pouco déficit hídrico climático em relação aos outros anos.

Os anos de 2014, 2015, 2016, 2017 e 2019 foram aqueles que tiveram maior ocorrência de incêndios, sendo o possível motivo para isso o fato de ter tido um evento forte de *El Niño* entre 2014 a 2016, mesmo com seu pico não tendo sido em 2014 e sim em 2015, como mostrado pelo site CLIMATEMPO em 2015. Outra possível razão para em 2014 ter tido essa quantidade de queimadas foi a estiagem prolongada que atingiu muitos locais, de acordo com o site jornalístico CNN em 2024. Esta estiagem possivelmente aconteceu devido ao ano anterior ter tido mais precipitação do que o usual, prejudicando o período de chuva do ano seguinte. 2017 já não teve uma razão para tal acontecimento, mas o que aconteceu foi que por alguma razão as áreas mais afetadas foram as unidades de conservação, que devido a terem uma grande área preservada ou conservada tem uma tendência a pegar mais fogo em áreas de vegetação nativa. Nesse pensamento, os cientistas acreditam que a razão para isso foi as áreas florestais terem se tornado mais vulneráveis aos incêndios florestais depois de acontecer dois anos consecutivos de estiagem prolongada, de acordo com o jornal diário de notícias brasileiro OGLOBO em 2017 (Carvalho, 2017). No caso de 2019, a redução de políticas de comando e controle ambiental adotadas na administração do Presidente da República Jair Messias Bolsonaro, parece ter contribuído com o aumento da ocorrência de incêndios no bioma Cerrado.

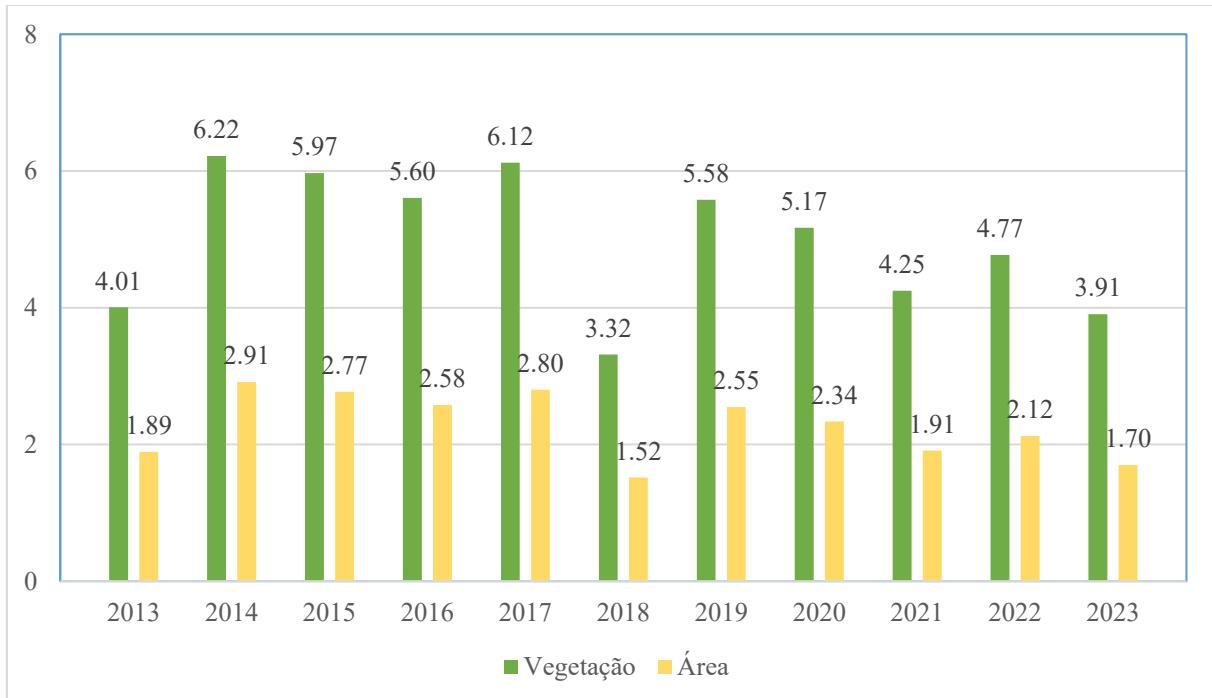


Gráfico 2. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda do Cerrado.

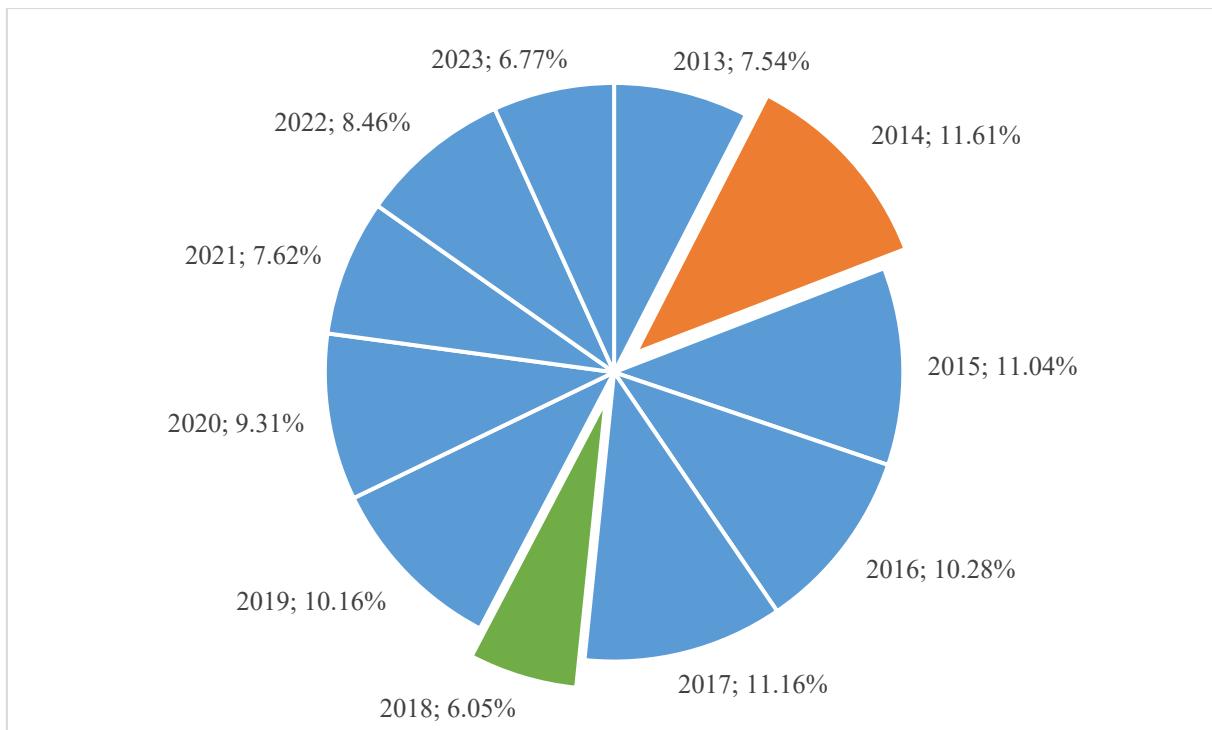


Gráfico 3. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total no Cerrado.

As subdivisões regionais de análise de maior destaque são as sub-regiões Norte, Centro e Oeste na incidência de fogo e as que apresentaram maior ocorrência de incêndios nas formações florestais são somente as sub-regiões Norte e Centro e mesmo assim não teve muitos focos de incêndio, se comparado às formações savânicas. Já na formação savânica é mantido o

pensamento para todo o Cerrado, exceto na área Sul, conforme é mostrado no gráfico 4. As regiões que necessitam de maior preocupação são a Norte e a Centro, a Norte é a que mais precisa quando pensado na proporção, como mostrado no gráfico 5. Isso acontece porque a região Norte do Cerrado é a com mais vegetação nativa preservada atualmente, pois aproximadamente 51% da vegetação nativa do Cerrado está na área MATOPIBA, que se localiza entre o Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MAPBIOMAS, 2024). Logo, por ser uma das poucas áreas com grande parte do território preservado, é necessário manter políticas ambientais mais rígidas. Nesse pensamento, será citado de forma mais aprofunda cada sub-região, na ordem das que tiveram menos focos de incêndio para as que tiveram mais.

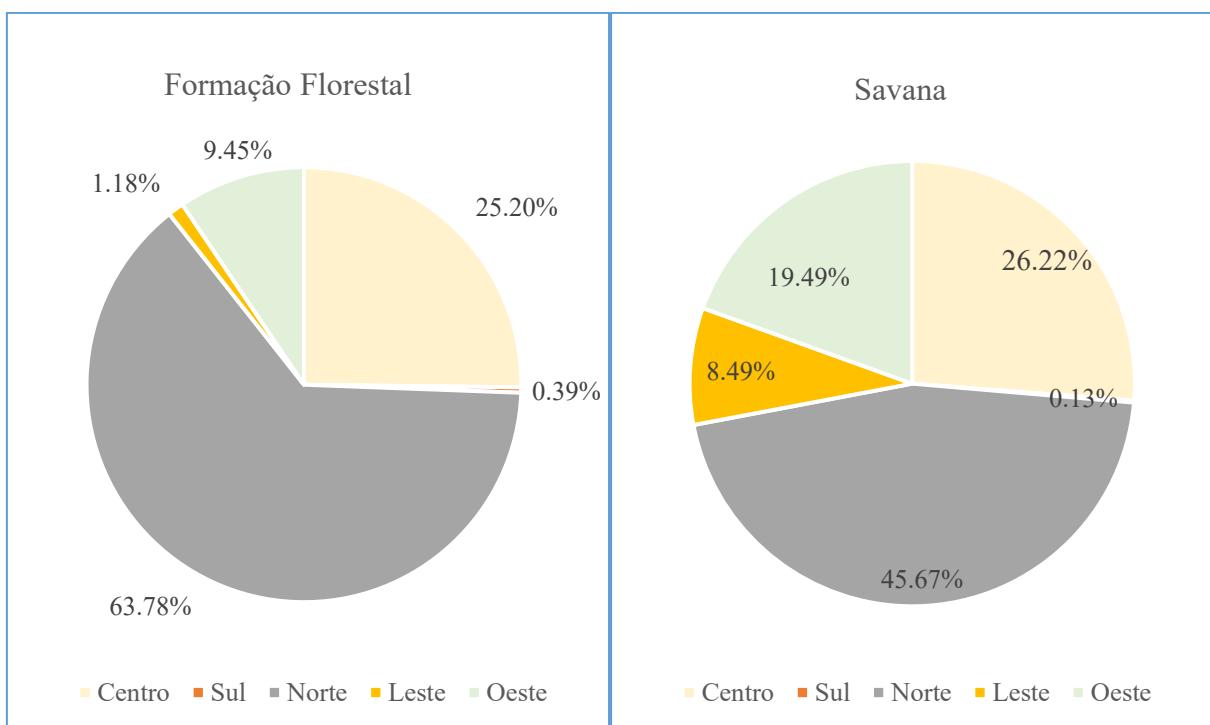


Gráfico 4. Porcentagem de focos de incêndio em cada vegetação nativa em relação à quantidade total no Cerrado, dividido por sub-região.

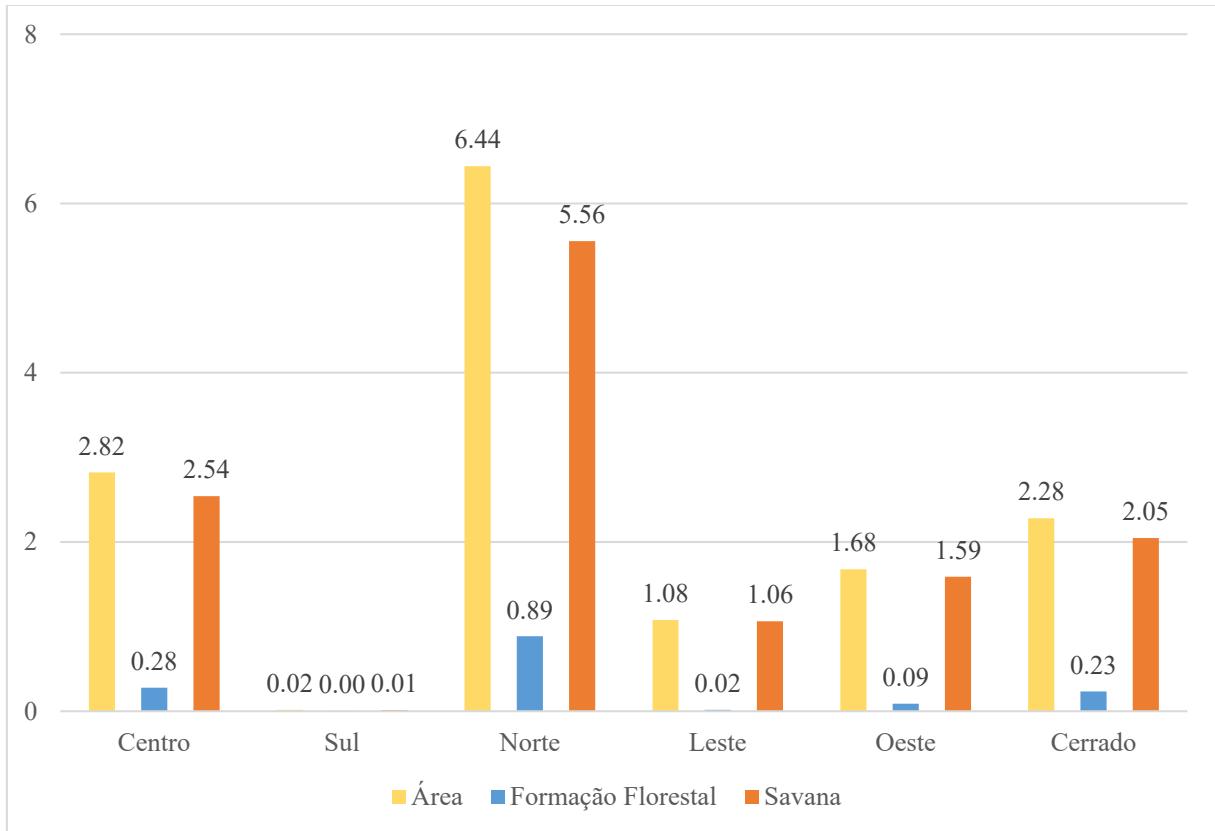


Gráfico 5. Média de área incendiada anualmente, em porcentagem, por área de interesse estudada.

7.2 Ocorrência de fogo na sub-região Sul do Cerrado

Na sub-região Sul não se obteve dados de incêndios em todos os anos e mesmo naqueles que teve algum foram poucos os pontos de incêndios encontrados. Isso aconteceu devido a ser a parte do Cerrado com menor vegetação nativa remanescente, pois por já ter pouca área preservada tem uma tendência a não ter focos de incêndios em vegetação nativa, o que fez com que os resultados obtidos não sejam bons e para ter resultados melhores seria necessária uma maior densidade de pontos, pois assim aumentaria a probabilidade da vegetação nativa incendiada e o ponto gerados ficarem sobrepostos.

Os anos que foram encontrados pontos de formação savânica ou formação florestal que tiveram fogo foram diferentes daqueles de todo o Cerrado que se destacaram por isso e no caso somente 2019 apareceu no gráfico 7, e ainda assim teve somente 1 dos 4 pontos totais. Portanto, dando resultados bem diferentes quando relacionados com a área de todo o Cerrado, pois ao seguir o padrão era esperado que os anos que fossem ter mais focos de incêndio seriam 2014, 2015, 2016 e 2017, e 2019, conforme mostrado no gráfico 3.

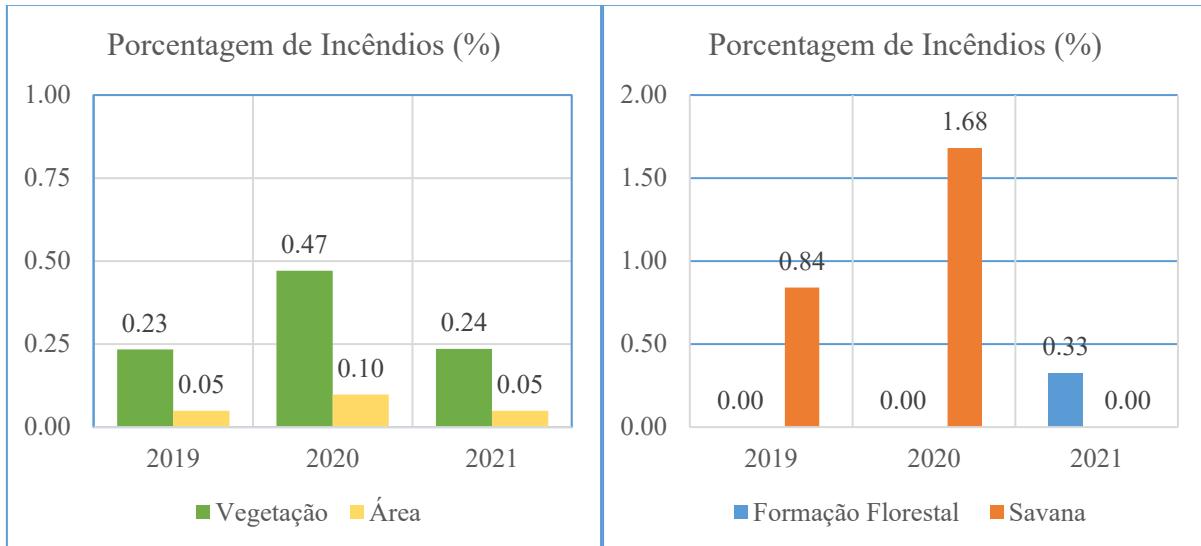


Gráfico 6. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação e de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total, os dois na sub-região Sul do Cerrado.

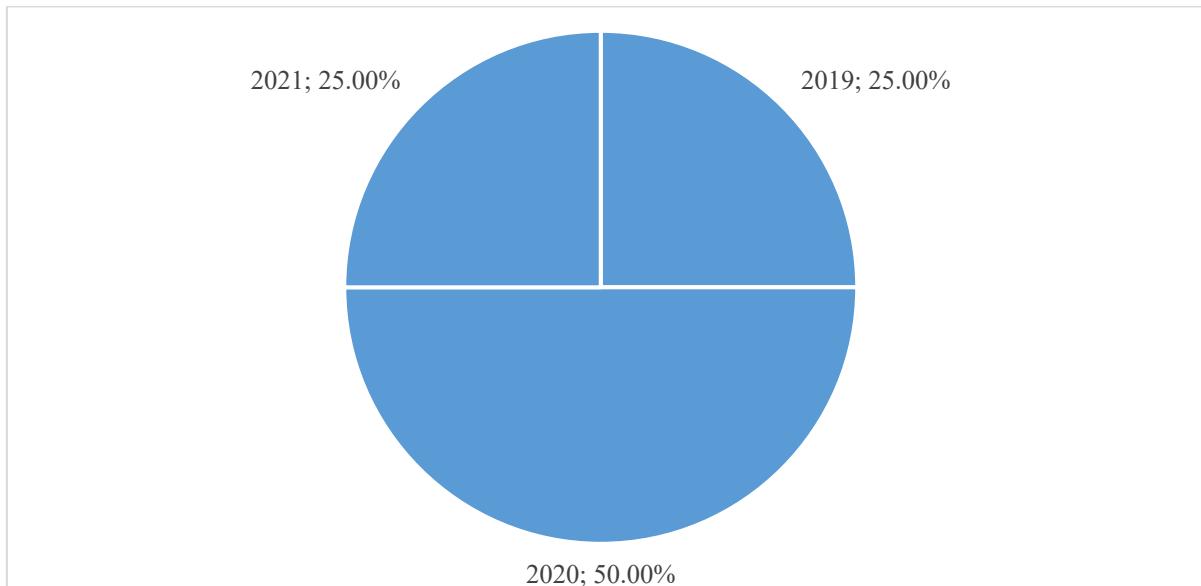


Gráfico 7. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Sul do Cerrado.

7.3 Ocorrência de fogo na sub-região Leste do Cerrado

A segunda sub-região que teve menos incidência de incêndios foi a Leste, mas foi obtido resultados muito melhores do que aqueles da Sul, pois como é possível ver nos gráficos 8 e 9 nessa já foi obtido dados para todos os anos. No entanto, na maioria deles só teve dados da savana, demonstrando que a preocupação com incêndios florestais nas formações florestais não precisa ser muito alta e mesmo na savana não teve tanta área impactada pelo fogo. Esta região merece uma menção ao fato de ter ocorrido pouquíssimos incêndios florestais, pois mostra que as políticas governamentais estão funcionando, principalmente quando parado para pensar que

aproximadamente 50% da área total da sub-região Leste ainda abriga formação savântica ou formação florestal. Os únicos anos que não se destacaram por ter poucos incêndios foram 2015 e 2021, que ao se comparar com os outros teve uma boa diferença. Isso acontece porque em 2021 aconteceu uma seca intensa no sudeste brasileiro e em parte do centro-oeste como citado pelo portal de notícias do grupo Globo G1 em 2021, a intensidade dessa seca é demonstrada pela comparação entre os gráficos das outras sub-regiões, pois esta foi a única que em 2021 teve uma grande ocorrência de fogo. Nessa conjuntura, somente por causa da sub-região Leste que toda a área do Cerrado não levou destaque por baixa ocorrência de queimadas nesse ano. Pois no gráfico 2 é mostrado que somente 4,25% da vegetação nativa do Cerrado foi atingida por fogo em 2021 e se fosse um ano que esta sub-região não tivesse aumentado tanto a porcentagem do bioma provavelmente seria menor do que 4%.

Nos gráficos 9 e 10 é possível visualizar que os anos que tiveram menor incidência de fogo foram 2013, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2023 e que essa área não foi muito afetada pela estiagem prolongada em 2016, que possivelmente chegou a causar impactos no ano seguinte devido ao déficit hídrico consequente.

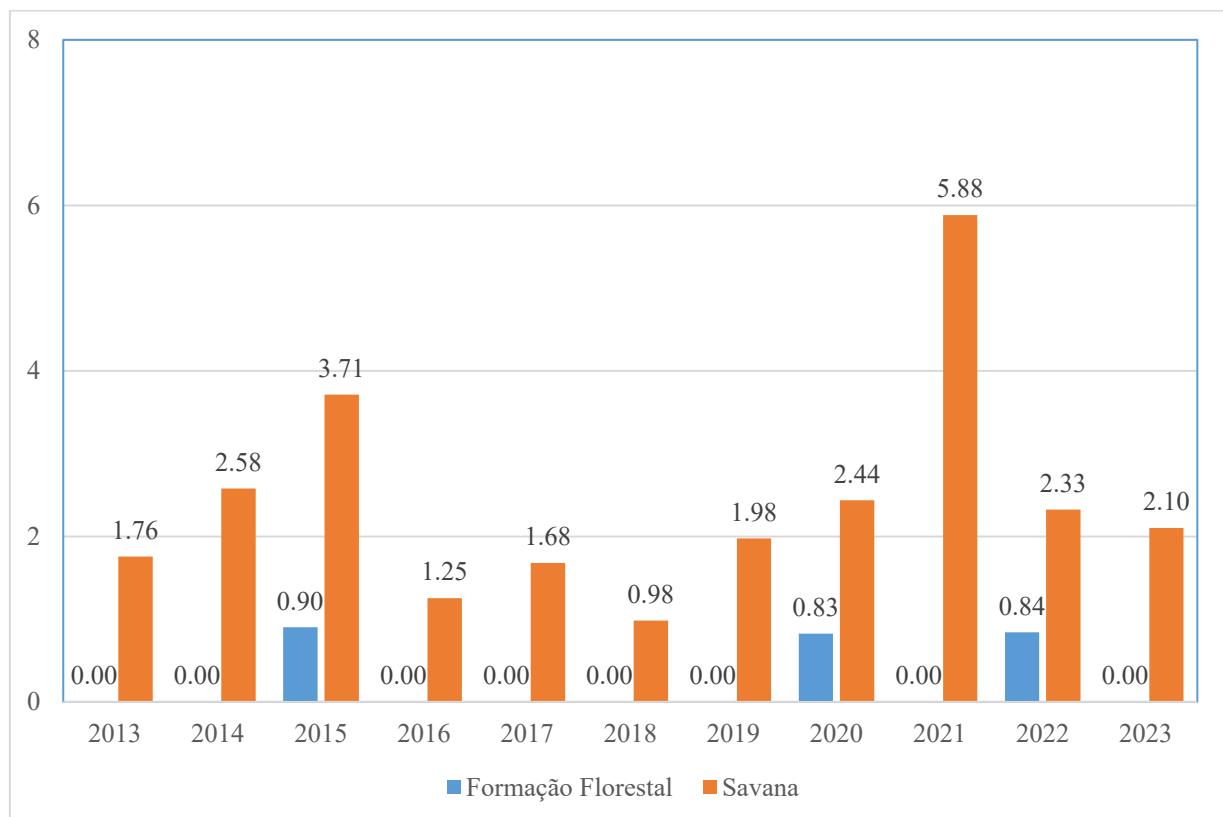


Gráfico 8. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Leste do Cerrado.

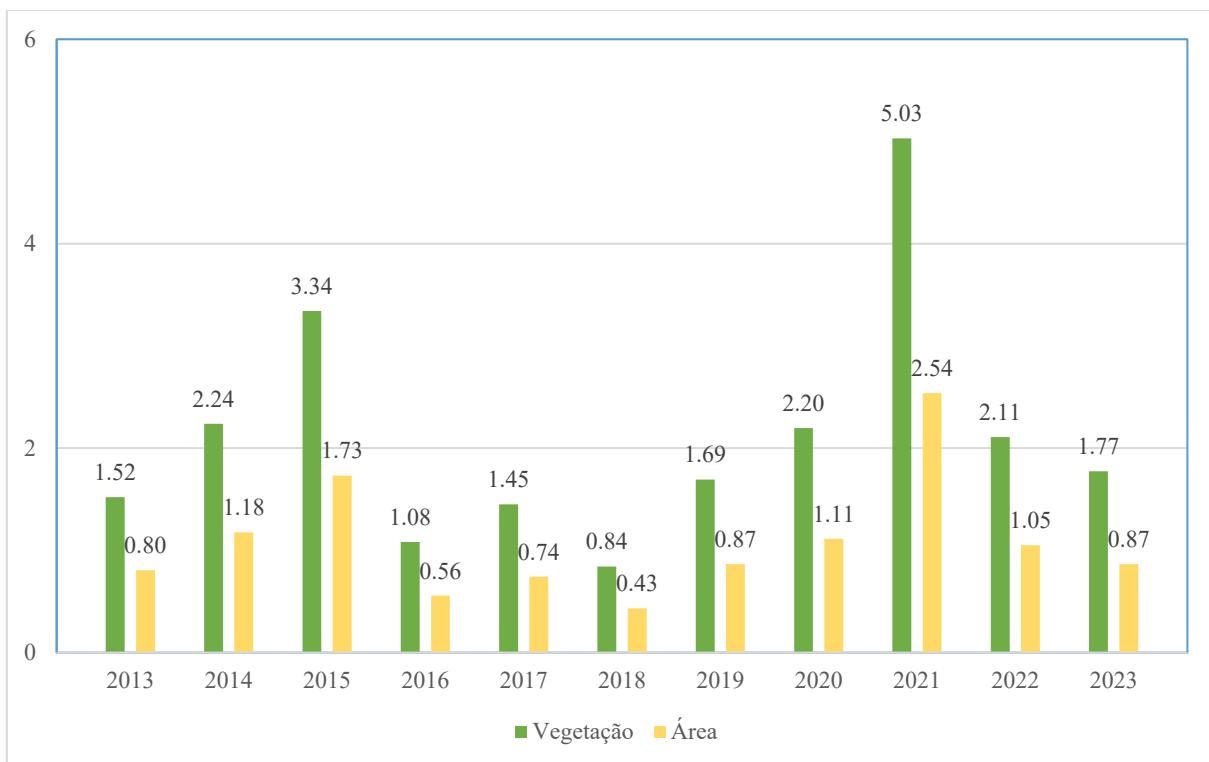


Gráfico 9. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda na sub-região Leste do Cerrado.

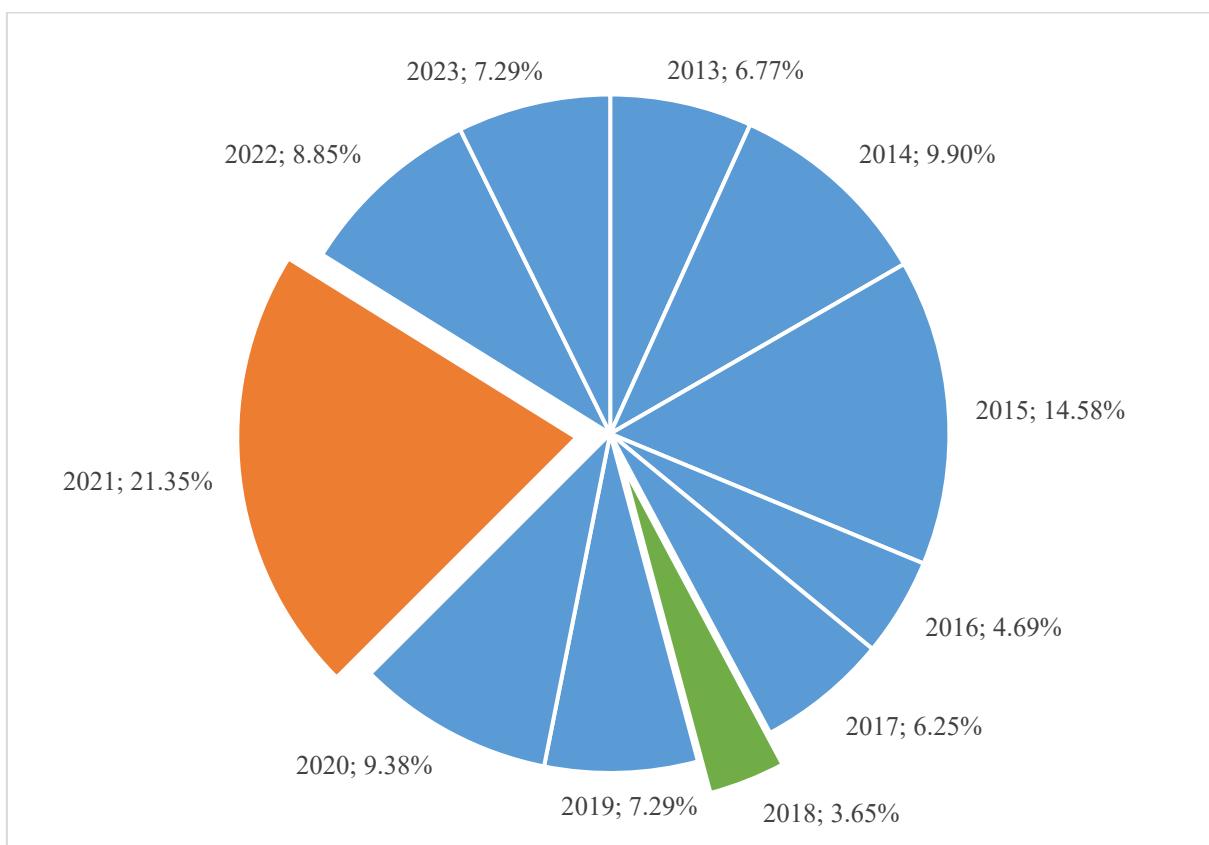


Gráfico 10. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Leste do Cerrado.

7.4 Ocorrência de fogo na sub-região Oeste do Cerrado

Na sub-região Oeste é necessária mais preocupação com a ocorrência de incêndios do que nas duas anteriores, conforme é possível ver no gráfico 11, mas o mais preocupante é a savana, pois não há muitos focos de incêndio em formações florestais, exceto em 2019 e 2020. Nessa sub-região os anos que se destacaram por ter menor incidência de incêndios foram 2013, 2018 e 2023, seguindo o padrão do Cerrado, entretanto 2021 já não foi a mesma situação, pois mesmo sem uma porcentagem muito alta ainda é um valor relativamente maior quando comparado aos outros anos.

Essa é uma sub-região com menor área de vegetação nativa remanescente em comparação com a Leste e mesmo assim proporcionalmente teve maiores porcentagens de território queimado em formações savânicas e formações florestais em todos os anos menos 2021 e 2023. Nessa sub-região é seguido o padrão dos anos de 2017 e 2019 de ter muitas áreas queimadas, contudo, diferente do mostrado no gráfico 2, também teve um destaque em 2020, inclusive foi o ano que teve a maior porcentagem, tendo um valor bem próximo de 2017, como mostrado no gráfico 13. Novamente sendo necessário uma futura pesquisa e desta vez aumentar a densidade de pontos gerados, no intuito de obter resultados mais precisos para os anos de 2014 e 2015, e confirmar aqueles que já foram obtidos.

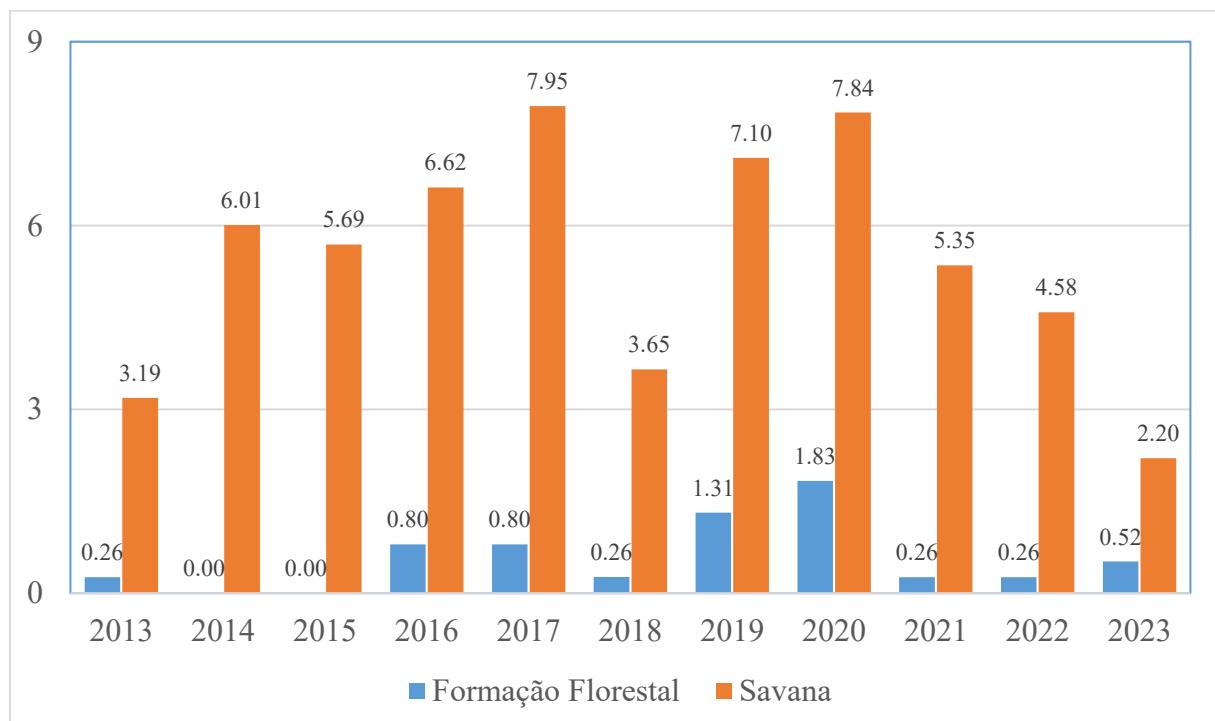
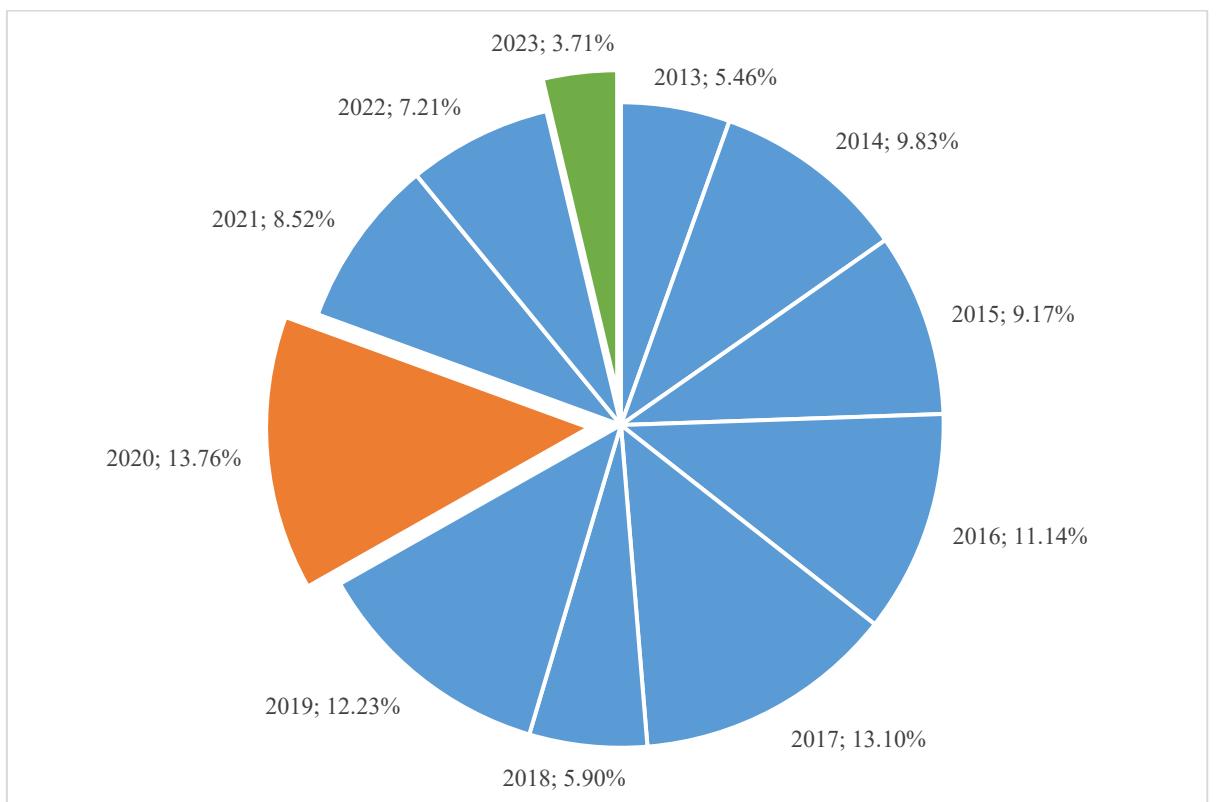
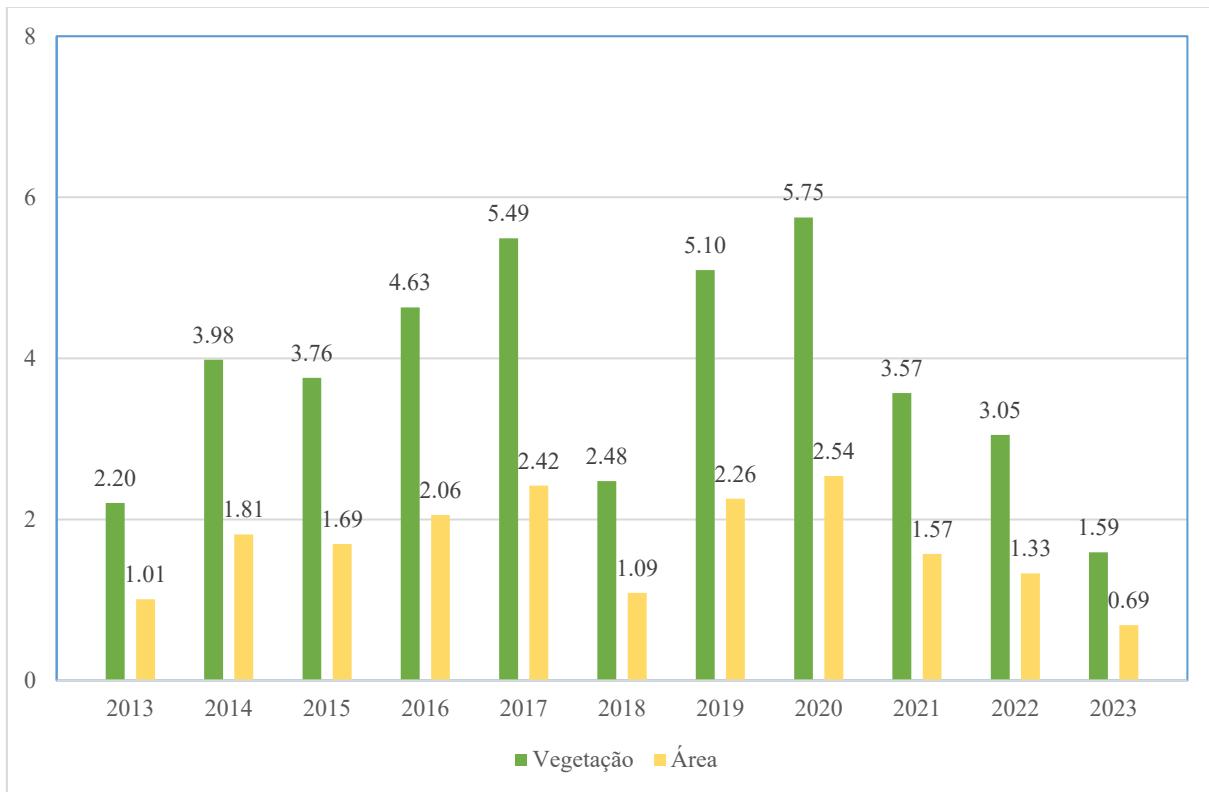


Gráfico 11. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Oeste do Cerrado.



7.5 Ocorrência de fogo na sub-região Centro do Cerrado

A sub-região Centro é a segunda que mais houve incêndios em vegetação nativa e tem uma proporção menor de área não desmatada do que a Oeste, o que já era de se esperar, pois esta fica mais próxima da floresta amazônica. Nessa área os anos que obedeceram ao padrão do Cerrado de ter menor incidência de incêndios foram 2018 e 2023, conforme mostrado no gráfico 15 se comparado com o gráfico 2, também merecendo um destaque 2021, e os que seguiram o padrão de ter maior incidência foram os anos de 2014, 2016 e 2017, merecendo também um destaque para o ano de 2020, pois como citado anteriormente não teve grandes motivos climáticos ou temporais para essa quebra de padrão. Igual em todas as ocasiões anteriores a única vegetação nativa que necessita de mais preocupação no monitoramento é a savana, mas nesta área também é imprescindível a preocupação com as formações florestais pois mostrou uma tendência de que o território ocupado por essa vegetação queime, exceto em 2018, 2021 e 2023. Portanto, na região centro já é importante que sejam feitos planos e políticas de controle e combate aos incêndios florestais mais complexos do que nas sub-regiões citadas anteriormente, principalmente para as formações savânicas.

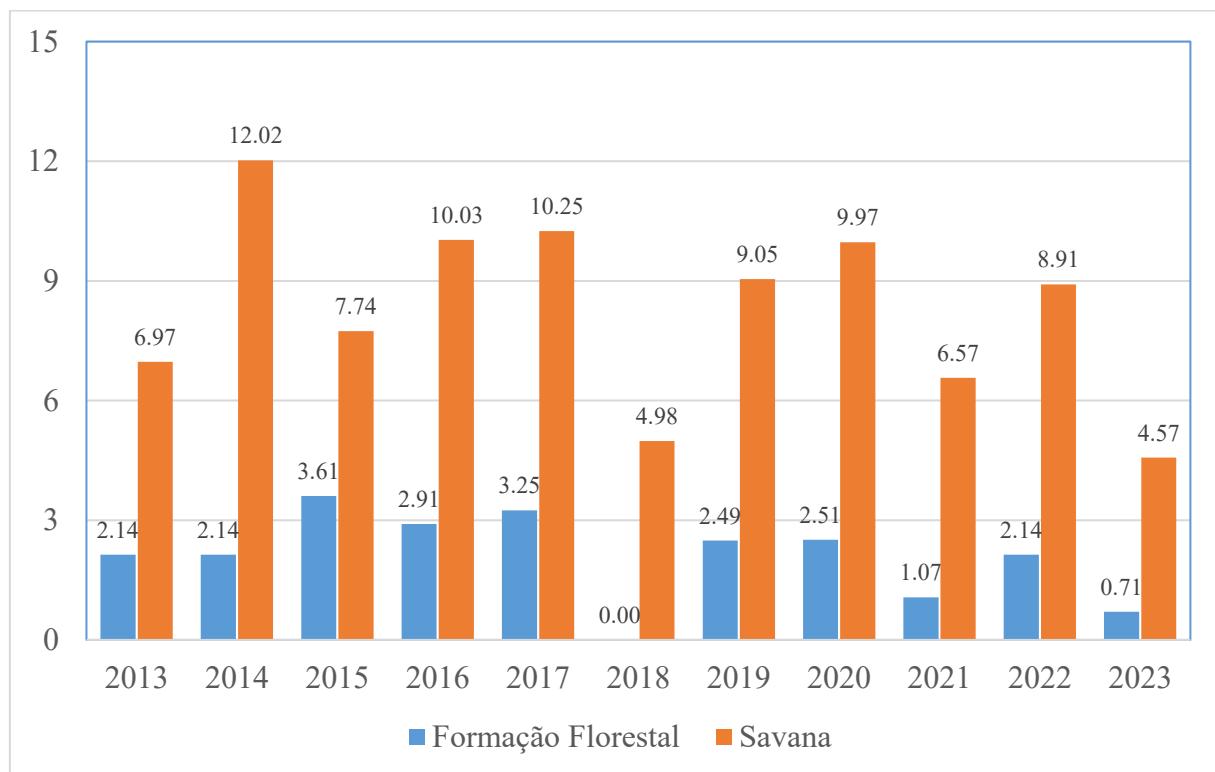


Gráfico 14. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Centro do Cerrado.

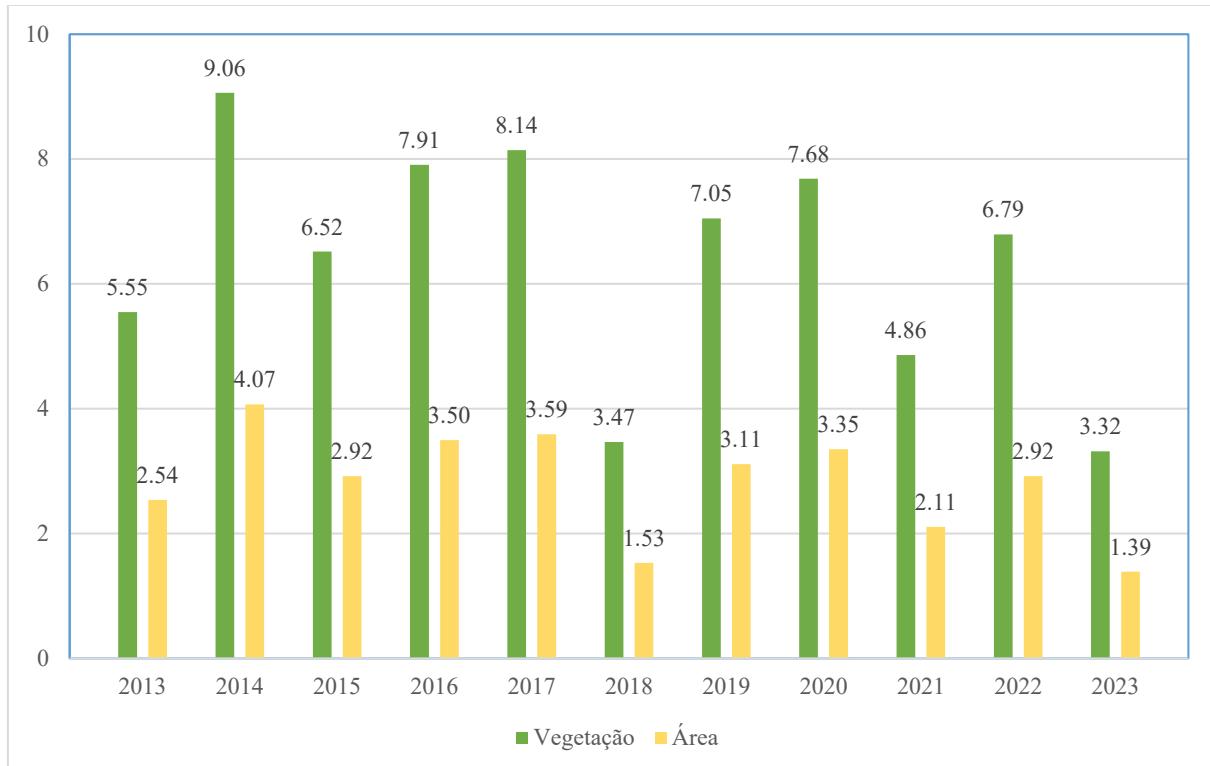


Gráfico 15. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda na sub-região Centro do Cerrado.

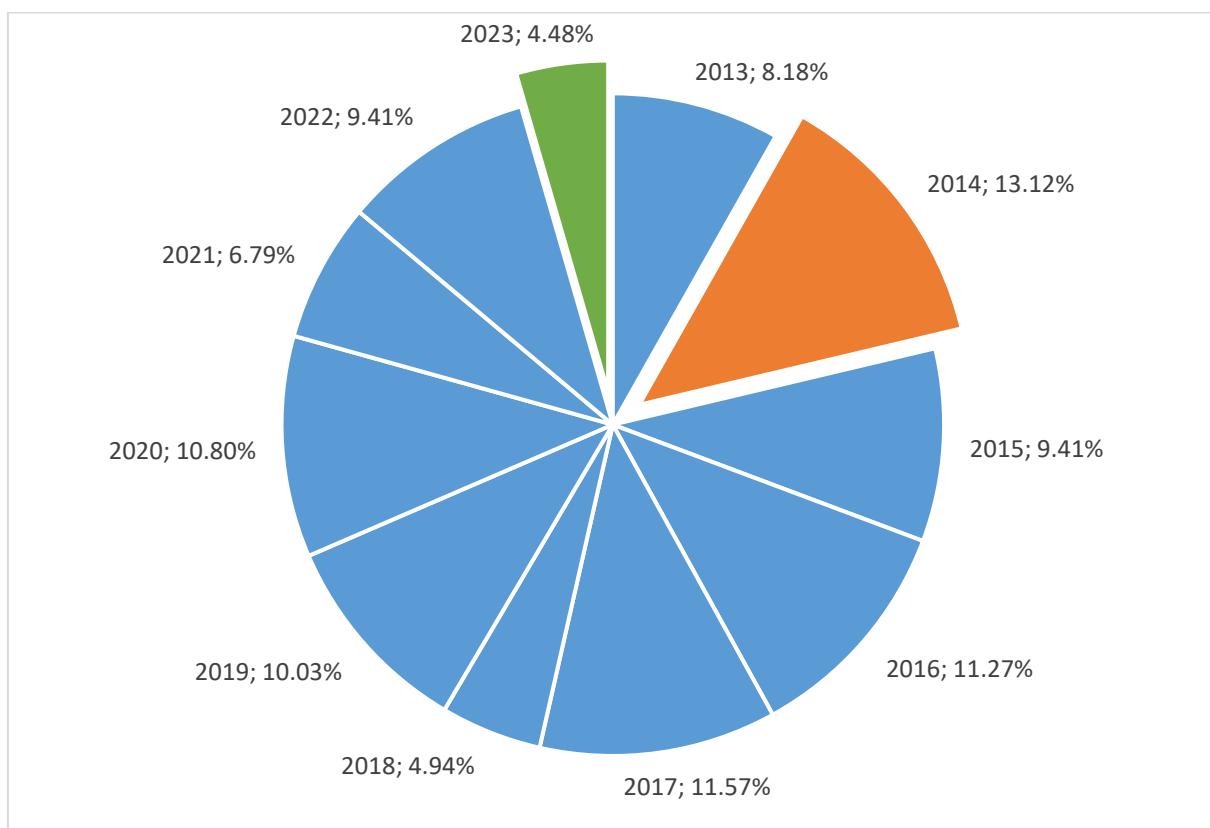


Gráfico 16. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Centro do Cerrado.

7.6 Ocorrência de fogo na sub-região Norte do Cerrado

Na sub-região Norte é perceptível que passa pelos mesmos problemas da Centro, mas de uma forma mais crítica, e por ser a parte do Cerrado com mais vegetação nativa remanescente, ocupando aproximadamente 70% da área dessa região é necessário dar o seu devido valor para a manutenção e preservação do segundo maior bioma brasileiro. Esta é a parte do Cerrado mais seca naturalmente e por isso é importante que seja feito o constante monitoramento dela e que sejam criadas novas políticas governamentais aliado ao aprimoramento daquelas que já existem, para a proteção dela, pois essa característica é a razão de sua maior vulnerabilidade à ocorrência de fogo. Nessa conjuntura, uma melhor aplicação da Lei N° 13153/2015, que institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, seria imprescindível para a melhora dessa condição, pois essa tendência de manter constante a porcentagem de áreas queimadas demonstra que tem uma grande chance do principal motivo disso ser a situação climática local. Também é possível que essa mesma Lei possa amenizar a mesma problemática na parte mais ao norte da sub-região Centro. Esse seria o problema que mais necessitaria do apoio governamental para conseguir reduzir o impacto ambiental causado pelo fogo, pois é mais complexa a resolução de problemas climáticos de fato do que somente a aplicação de Leis que protegem o meio ambiente e seus ecossistemas de forma eficiente, já que necessitaria de mais articulação nacional do que em outros problemas de maior simplicidade.

Neste local a proporção de incêndios em vegetação nativa anual se manteve quase constante, demonstrando que com o passar dos anos tende a ser cometido os mesmos erros. Essa opinião tem como base o fato de que em 2021, ano do auge da pandemia da COVID-19, e 2020, quando se iniciou e estava começando a ser sentido os impactos causados por ela, teve menos focos de incêndio, provavelmente porque não teve muito movimento humano no país. Os dados mostrarem que esses dois anos em específico foram aqueles que tiveram menor incidência de queimadas é um forte indicativo de que o principal motivo para a ocorrência dos mesmos é o fator humano. Logo, é necessário que tanto a população quanto o Estado executem ações nesse quesito, a fim de reduzir o impacto causado pela ação humana e manter a área conhecida como MATOPIBA uma grande referência em área de vegetação nativa remanescente do Cerrado, como é possível ver na figura 9. Mesmo 2013 e 2018 não tenha um valor tão baixo em porcentagem, característica que pode ser visualizada no gráfico 19, ainda vale a pena a

citação de que manteve o padrão mostrado nos gráficos 2 e 3, que também foram anos com baixa incidência de fogo durante esses 11 anos de estudo.

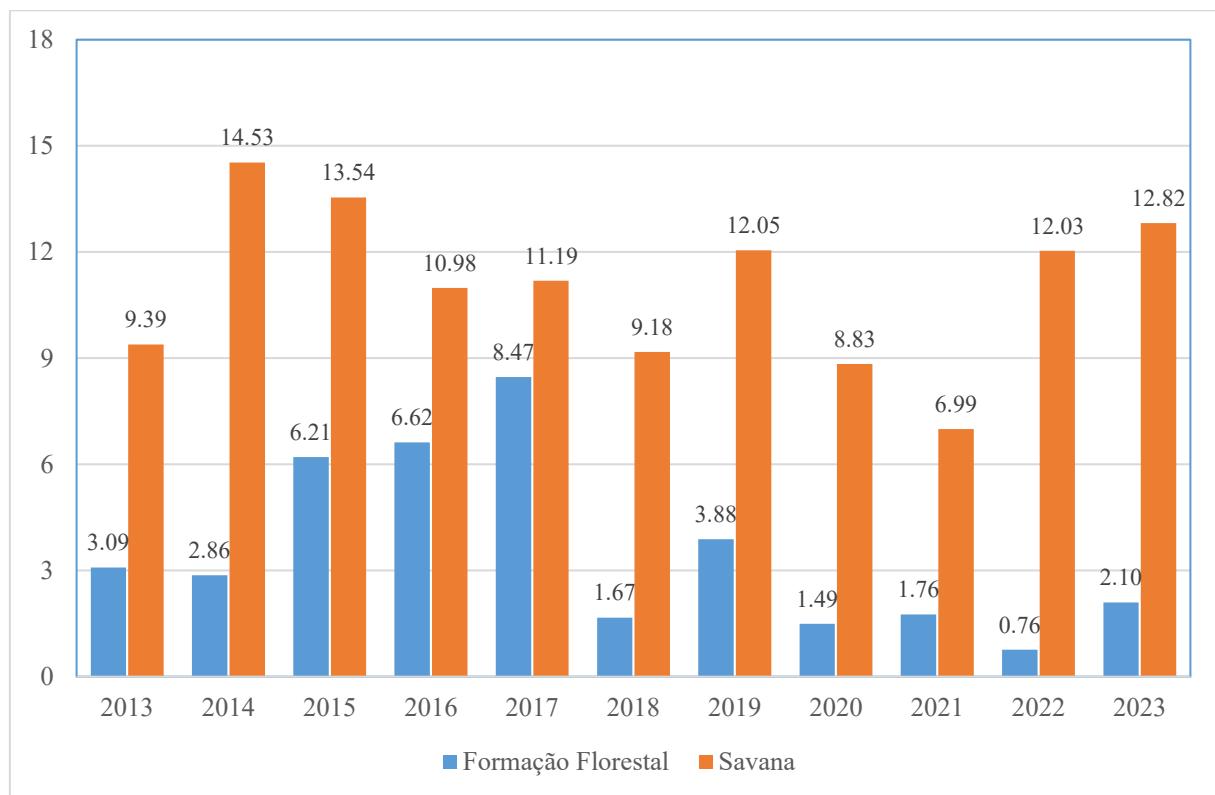


Gráfico 17. Porcentagem de área incendiada em cada vegetação em relação ao total de cada vegetação na sub-região Norte do Cerrado.

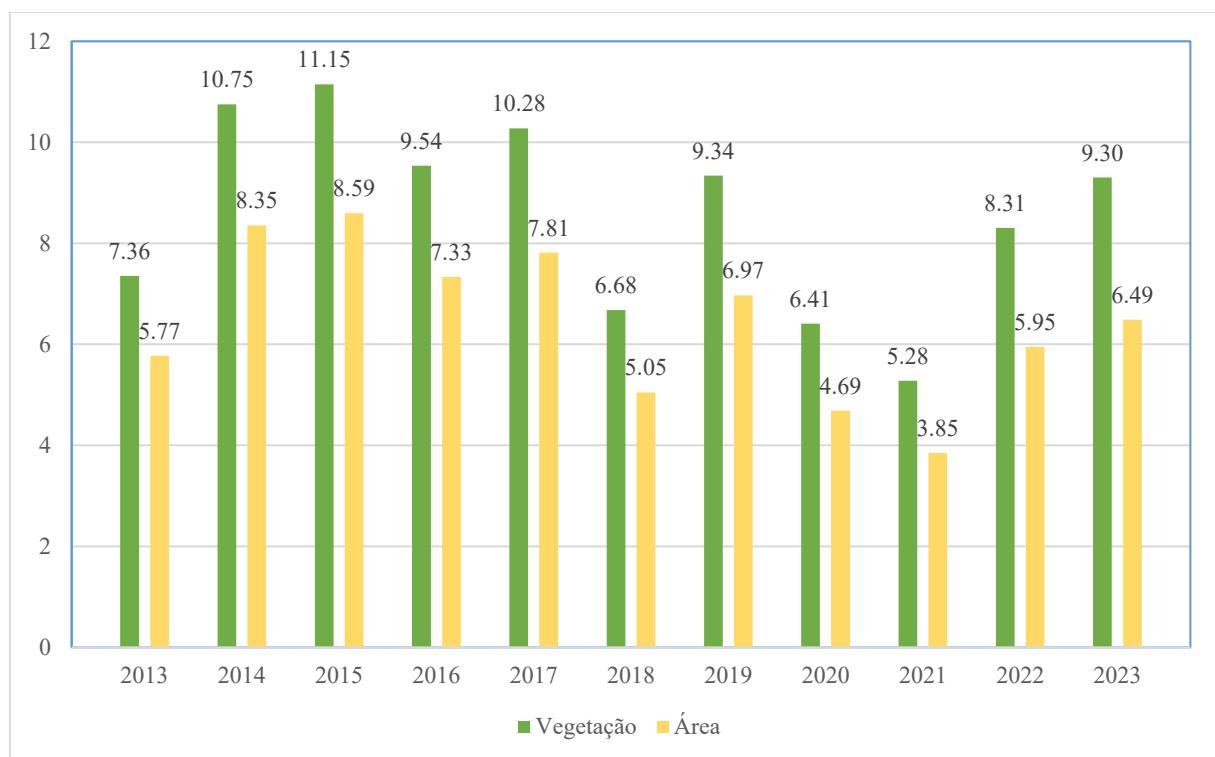


Gráfico 18. Porcentagem de área incendiada na vegetação nativa em relação ao total e à área toda na sub-região Norte do Cerrado.

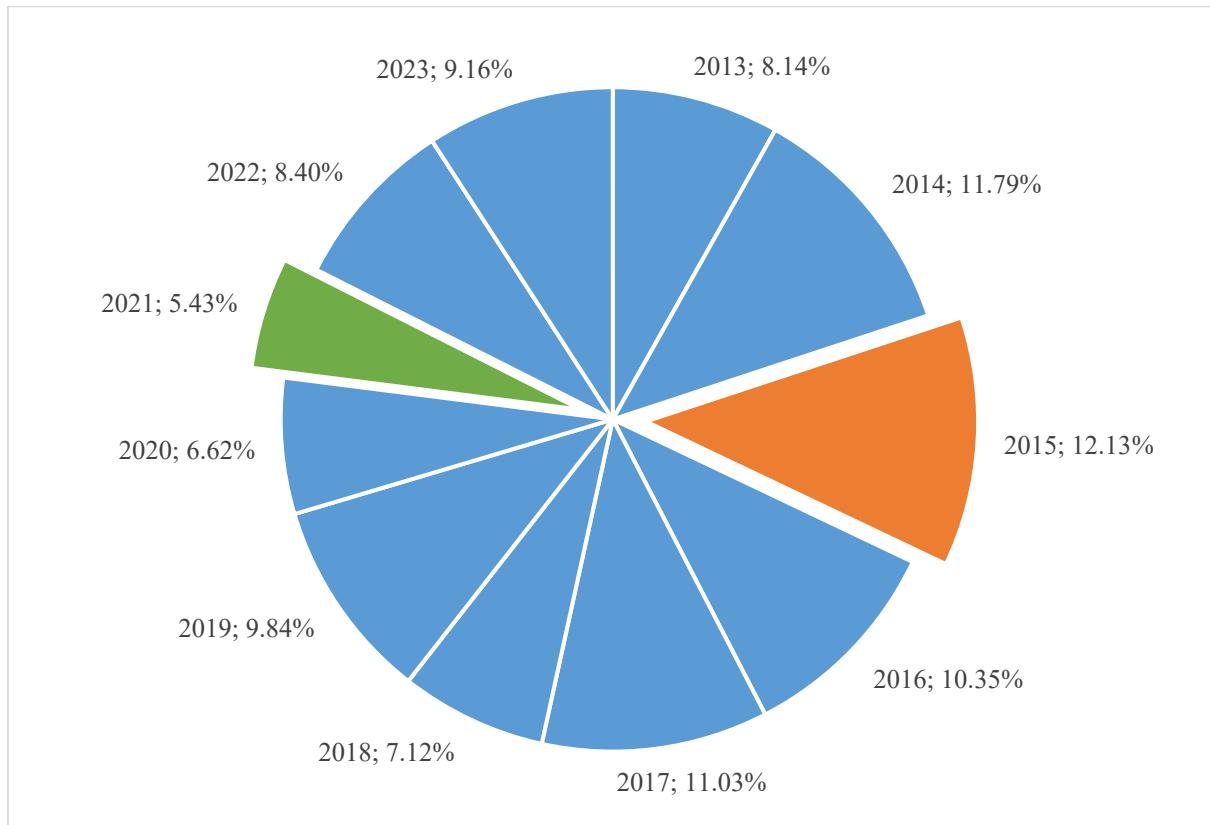


Gráfico 19. Porcentagem de focos de incêndio por ano na vegetação nativa em relação à quantidade total na sub-região Norte do Cerrado.

7.7 **Modelo Probabilístico Probit para a ocorrência do fogo**

A ocorrência de fogo no bioma Cerrado foi estatisticamente significativa (a 99% de probabilidade) em 2014, 2015, 2016, 2017, 2019 e 2020, comparados com 2013 (variável omitida no modelo). Os demais anos não apresentaram ocorrência de fogo significativa comparados com 2013. As demais variáveis significativas estatisticamente (99% de probabilidade) incluem a distância das áreas desmatadas, distância das rodovias federais, a distância de territórios indígenas, a distância de territórios quilombolas, a distância das unidades de conservação, a distância de áreas urbanas e a variação da localização em latitude e longitude (Figura 10).

No caso de áreas protegidas, como os territórios indígenas e os quilombolas, observou-se efeitos significativos com coeficiente negativo da ocorrência do fogo, o que indica que o fogo tende a ocorrer em locais mais próximos destes territórios, pois neles terão maior proporção de vegetação nativa remanescente. A constante pressão antrópica sobre essas áreas que não tem um monitoramento constante, igual ao visto nas Unidade de Conservação, é o

motivo de ter este coeficiente negativo, mas com baixa intensidade. Já nas Unidades de Conservação, observou-se um valor significativo na não ocorrência do fogo em áreas mais próximas quando comparados com as áreas não protegidas, localizadas fora dessas Unidades.

Tabela 1. Resultado obtido após o processamento de dados do modelo Probit, utilizando a ocorrência de incêndios florestais como variável dependente e as demais como variáveis independentes, sendo o ano de 2013 o utilizado como variável temporal omitida.

Variáveis	Coeficiente	Erro padrão	z	P>z	Intervalo de Confiança (95%)
Ano de 2014	0.20106	0.0427889	4.7	0.0000	0.1171999 0.2849295
Ano de 2015	0.16733	0.044973	3.72	0.0000	0.0791808 0.2554717
Ano de 2016	0.14195	0.04403	3.22	0.0010	0.0556576 0.2282519
Ano de 2017	0.18756	0.043102	4.35	0.0000	0.103081 0.2720379
Ano de 2018	-0.08540	0.0479042	-1.78	0.0750	-0.1792904 0.0084905
Ano de 2019	0.14437	0.0448191	3.22	0.0010	0.0565217 0.2322095
Ano de 2020	0.11954	0.0443086	2.7	0.0070	0.0326933 0.2063799
Ano de 2021	0.03834	0.0457182	0.84	0.4020	-0.0512612 0.127951
Ano de 2022	0.06424	0.045626	1.41	0.1590	-0.0251878 0.153663
Ano de 2023	-0.05184	0.0490797	-1.06	0.2910	-0.1480324 0.0443565
Déficit Hídrico Climático	0.00005	0.0000548	0.83	0.4040	-0.0000617 0.0001532
Distância Euclidiana de Desmatamento	0.00007	4.90E-06	14.87	0.0000	0.0000632 0.0000825
Distância Euclidiana de Rodovias Estaduais	-0.00000	5.59E-07	-2.36	0.0180	-2.41E-06 -2.23E-07
Distância Euclidiana de Rodovias Federais	0.00000	3.26E-07	4.1	0.0000	6.98E-07 1.98E-06
Distância Euclidiana de Terras Indígenas	-0.00000	1.07E-07	-17.2	0.0000	-2.05E-06 -1.63E-06
Distância Euclidiana de Terras Quilombolas	-0.00000	1.27E-07	-5	0.0000	-8.84E-07 -3.86E-07
Distância Euclidiana de Unidades de Conservação	0.00000	1.40E-07	8.8	0.0000	9.58E-07 1.51E-06
Distância Euclidiana de Cidades	0.00001	5.00E-07	10.6	0.0000	4.33E-06 6.29E-06
Longitude	0.00000	3.70E-08	12.1	0.0000	3.75E-07 5.20E-07
Latitude	0.00000	2.14E-08	29.2	0.0000	5.84E-07 6.68E-07
Constante	1.04538	1.88E-01	5.56	0.0000	0.6771456 1.413616

No caso da distância euclidiana de UCs, observou-se coeficiente com baixo valor e baixo efeito na probabilidade (0,1 a 0,5%). É presumível que o fogo não ocorre com frequência perto destas áreas protegida por causa de instrumentos previstos na Lei N° 9985 como a zona de amortecimento e maior rigidez para a aprovação de licenças ambientais, além do constante monitoramento e fiscalização das atividades nessas áreas pelos analistas e técnicos ambientais. De forma similar, o fogo tende a ocorrer com maior frequência em locais distantes das áreas desmatadas e das estradas principais porque a maior parte das áreas de vegetação nativas conservadas estão distantes das áreas mais antropizadas (Figura 10).

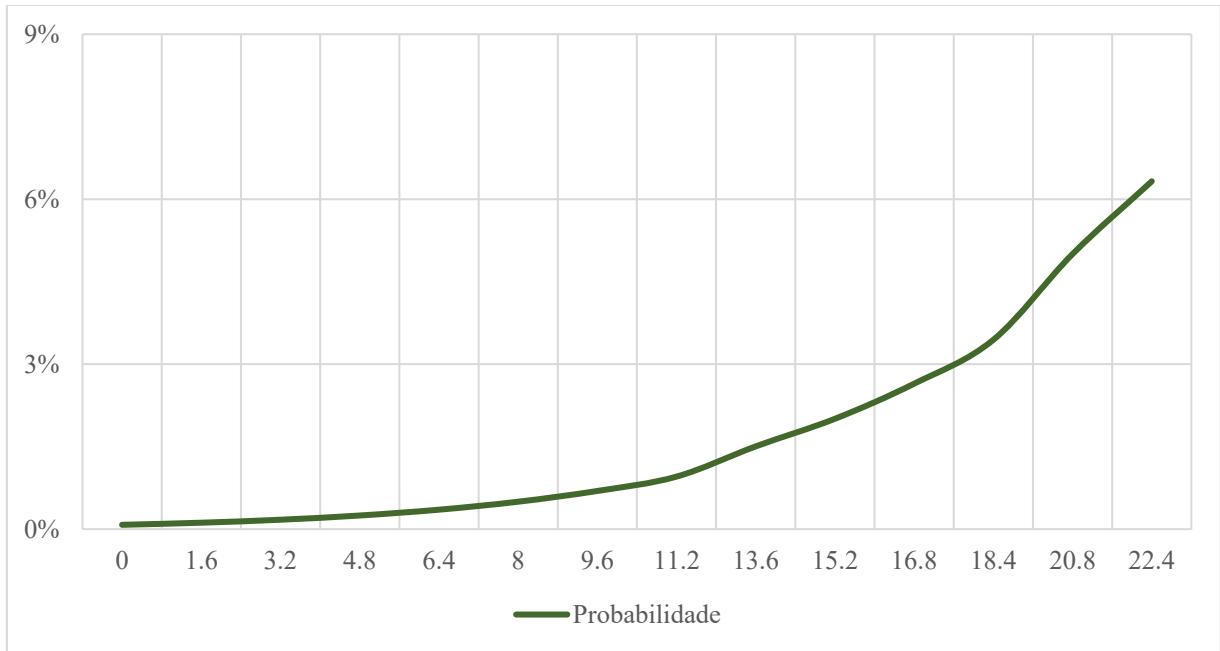


Figura 10. Influência da distância euclidiana do desmatamento, em quilômetros, na probabilidade de haver incêndios em formações florestais ou formações savânicas.

No caso da variação em latitude e longitude, observou-se que a probabilidade da ocorrência de fogo aumenta com o aumento da latitude e da longitude, ou seja, ocorrendo mais na porção Norte e Oeste do bioma Cerrado, onde contém a maior parte da vegetação nativa remanescente do bioma. Contudo, a latitude tem maior intensidade e a longitude tem baixíssima intensidade na influência de ocorrer incêndios em vegetação nativa e por isso foi feito o gráfico somente da latitude (Figura 11).

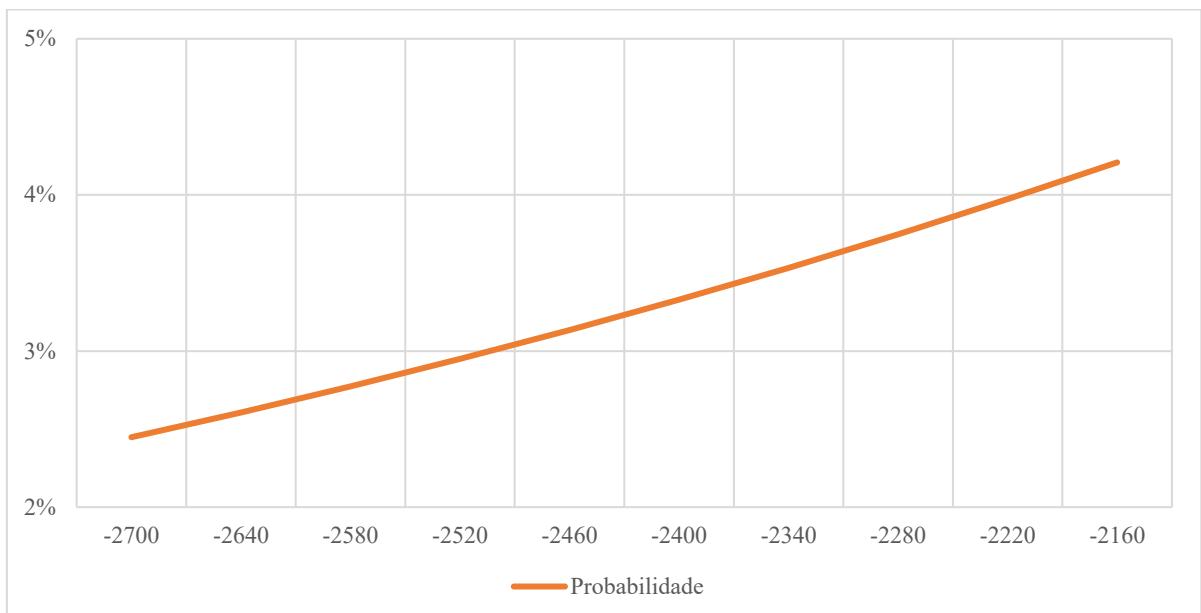


Figura 11. Influência da latitude, em quilômetros, na probabilidade de haver incêndios em formações florestais ou formações savânicas.

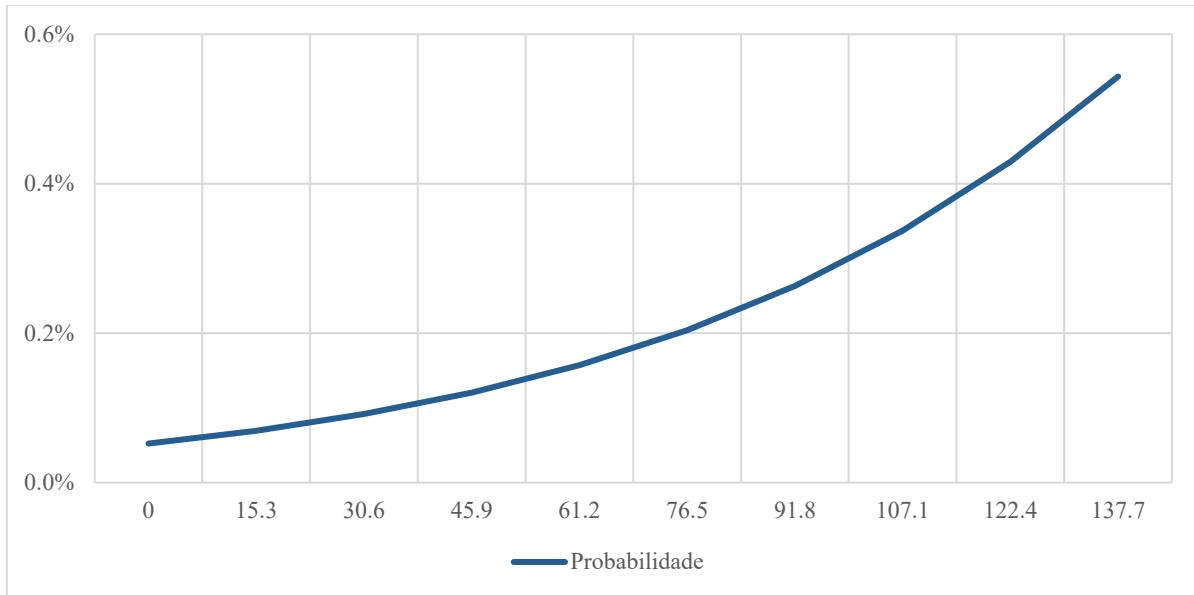


Figura 12. Influência da distância euclidiana de cidades, em quilômetros, na probabilidade de haver incêndios em formações florestais ou formações savânicas.

Pela distância euclidiana de cidades, observou-se que a probabilidade da ocorrência de fogo em vegetação nativa aumenta conforme se aumenta a distância das cidades. De fato, as áreas de vegetação nativa remanescente estão, em geral, localizadas mais distantes das áreas urbanas no bioma Cerrado.

O déficit hídrico climático anual e a distância euclidiana de rodovias estaduais não foram variáveis significativas estatisticamente a 99% de probabilidade. No primeiro caso, é provável que outras variáveis como o número de dias sem chuvas, evapotranspiração potencial ou precipitação sejam mais relevantes na influência da ocorrência de fogo que o déficit propriamente dito. No caso da distância das rodovias estaduais, é provável que tenham o mesmo efeito das rodovias federais, que normalmente estão localizadas em áreas mais antropogênicas, com menor quantidade de vegetação nativa, que foi o principal objeto da análise da ocorrência do fogo. E por isso a influência das rodovias federais provavelmente ofuscou a influência que poderia ser demonstrada pelas rodovias estaduais.

Logo, os fatores mais importantes para o acontecimento de incêndios, na vegetação nativa do Cerrado são desmatamento e latitude, como é possível ver nas figuras 10 e 11. Pois estes foram os únicos que tiveram uma influência maior do que 1% na probabilidade de ocorrer incêndios no Cerrado.

8. Conclusão

Os resultados deste estudo indicam que a ocorrência de incêndios em vegetação nativa é muito variável do ponto de vista espacial e temporal no bioma Cerrado. Entretanto, observou-se que as variáveis mais significativas que influenciam na ocorrência e propagação de fogo no Cerrado incluem a distância do desmatamento, a localização em latitude e a distância de cidades. Observou-se também que em anos com menor déficit hídrico, houve menor incidência de incêndios, exceto em 2023, que teve comportamento fora deste padrão. Entretanto, o déficit hídrico anual não apresentou efeitos significativos estatisticamente na variável ocorrência de fogo. É provável que em áreas menores, o déficit hídrico possa ter efeitos mais significativos sobre a ocorrência de fogo em vegetação nativa do Cerrado.

A probabilidade incondicional de ocorrência de fogo no Cerrado foi baixa devido à grande extensão do Bioma comparado com a área atingida pelo fogo. Porém, é preciso ter em mente que as áreas nativas afetadas por este são fortemente impactadas do ponto de vista socioambiental e, portanto, são de grande relevância para o entendimento científico.

Para aprimorar o monitoramento dos incêndios, seria necessário aumentar a densidade de pontos amostrais, utilizando menores áreas nas análises, aplicando testes estatísticos específicos para cada região. Essa abordagem proporcionaria resultados mais precisos na identificação de áreas críticas que exigem maior atenção e monitoramento, nesse monitoramento será de grande relevância saber que as sub-regiões mais afetadas pelo fogo são a Norte, a Centro e a Oeste respectivamente, tanto em formações savânicas quanto em formações florestais.

Com isso, seria possível elaborar um mapa classificando as áreas de vegetação nativa segundo a probabilidade de ocorrência de incêndios — uma técnica aplicável não apenas ao Cerrado, mas a outros biomas também. Idealmente, o Cerrado deveria ser subdividido por Estado, permitindo que cada ente federativo exerça seu papel na proteção ambiental, apoiando os municípios sempre que necessário, conforme prevê a Constituição Federal de 1988.

9. Considerações Finais

Para obter maior sucesso em resultados em estudos futuros, recomenda-se trabalhar com áreas menores, preferencialmente por Estado, realizando uma análise separada para cada ente

federativo que compõe o bioma Cerrado. Isso porque, devido à grande extensão da área estudada, mesmo os dados com maior probabilidade de ocorrência de incêndios, apresentaram valores baixos. Esse resultado provavelmente se deve à alta aleatoriedade na distribuição das queimadas ao longo do bioma e dos anos estudados.

Deste modo, a presente pesquisa obteve como resultado apenas informações gerais, que servem como orientação inicial, para entender o fenômeno de forma macro e para indicar as regiões que devem ser priorizadas no monitoramento e na prevenção do alastramento do fogo. Neste sentido, recomenda-se aumentar a densidade de pontos analisados por Estado, incluir diferentes tipos de vegetação nativa e adicionar variáveis, como altitude, declividade, evapotranspiração potencial anual e precipitação anual. Sugere-se também a remoção de variáveis menos relevantes, conforme resultados estatísticos observados para cada série de dados.

Assumindo que a análise seria feita em áreas menores, com mais variáveis consideradas, os dados obtidos poderão ser mais precisos e apresentariam maior sensibilidade para identificar áreas com maior probabilidade de incêndios. Isso facilitará a identificação de locais prioritários para ações de monitoramento e prevenção do fogo.

Com os recortes aqui propostos, cada Estado abrigará parcelas de vegetação nativa remanescentes do Cerrado, que irá favorecer a assumir a responsabilidade pelos investimentos necessários à sua proteção. Afinal, a Constituição Federal de 1988 estabelece que a proteção do meio ambiente é competência comum entre a União e os entes federados.

10. Bibliografia

Abatzoglou, J.T., S.Z. Dobrowski, S.A. Parks, K.C. Hegewisch, 2018, Terraclimate, *a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015*, *Scientific Data* 5:170191, [doi:10.1038/sdata.2017.191](https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191).

Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X. & Martin, D. (2012). *Fire and soils: Key concepts and recent advances*. *Geoderma*, 19, 3–13.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.004>.

Berço das Águas. Disponível em: <https://ispn.org.br/biomas/cerrado/berco-das-aguas/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

Biomass | IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html?=&t=downloads>. Acesso em: 18 jun. 2025.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. Decreto Nº 4.887, de 20 de novembro de 2003. **Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que trata o art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias**. 2003.

BRASIL. Decreto Nº 5758, de 13 de abril de 2006. **Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas**, 2006.

BRASIL. Decreto Nº 6040, de 7 de fevereiro de 2007. **Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais**, 2007.

BRASIL. Decreto Nº 7747, de 5 de junho de 2012. **Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas**, 2012.

BRASIL. Decreto Nº 11367, de 1º de janeiro de 2023. **Institui a Comissão Interministerial Permanente de Prevenção e Controle do Desmatamento, restabelece o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm e dispõe sobre**

os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado, na Mata Atlântica, na Caatinga, no Pampa e no Pantanal, 2023.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Áreas territoriais do Brasil**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761>. Acesso em: 27 abr. 2025.

BRASIL. Lei N° 6938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**, 1981.

BRASIL. Lei N° 9985, de 18 de julho de 2000. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**, 2000.

BRASIL. Lei N° 13153, de 30 de julho de 2015. **Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**, 2015.

BRASIL. Lei N° 14944, de 31 de julho de 2024. **Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo**, 2024.

BRASIL, Lucas Rodrigues. **Detecção automática de áreas atingidas por fogo no estado do Pará usando a plataforma Google Earth Engine**. 2019. 61 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/25362>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC). **Unidades de conservação federais e estaduais**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/dados-complementares/225-sistema-nacional-de-unidades-de-conservacao-tabelas-e-graficos>. Acesso em: 27 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC). **Unidades de conservação federais e estaduais**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043>. Acesso em: 27 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Investimento Florestal: Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado – PPCerrado – 4ª fase (2023 a 2027)**. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/controle-ao-desmatamento-queimadas-e->

ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/ppcerrado/ppcerrado_4fase.pdf. Acesso em: 09 maio. 2025.

BRASIL. Serviço Geoespacial Nacional de Informações de Recursos Hídricos. Metadados – Sistema de Informações de Recursos Hídricos. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ff37f924-e88d-4ee4-82e7-14a3e5efe0fd>. Acesso em: 04 de maio de 2025.

BRASIL. Serviço Geoespacial Nacional de Informações de Recursos Hídricos. Metadados - Sistema de Informações de Recursos Hídricos. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/8db5549f-2b94-40f0-b968-6f940bad68fa>. Acesso em: 04 de maio de 2025.

CARVALHO, C. Brasil termina 2017 com número recorde de queimadas desde 1999. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/politica/brasil-termina-2017-com-numero-recorde-de-queimadas-desde-1999-22204556>. Acesso em: 10 maio. 2025.

Caon, L., Vallejo, V., Coen, R. & Geissen, V. (2014). *Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems.* Earth-Science Reviews, 139, 47–58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.09.001>.

CHEN, Q.; CHENG, Q.; WANG, J.; DU, M.; ZHOU, L., LIU, Y. *Identification and Evaluation of Urban Construction Waste with VHR Remote Sensing Using Multi-Feature Analysis and a Hierarchical Segmentation Method.* Remote Sensing, v. 13, p. 1-32, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13010158>.

CLIMATEMPO. O Legado do El Niño 2015. Disponível em: <https://www.climatetempo.com.br/noticia/2016/09/22/o-legado-do-el-nino-2015-0199>. Acesso em: 10 maio. 2025.

CNM. Dia do Cerrado: CNM ressalta importância de preservar a vegetação, conhecida como berço das águas, 2024. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/dia-do-cerrado-cnm-ressalta-importancia-de-preservar-a-vegetacao-conhecida-como-berco-das-aguas>. Acesso em: 20 abr. 2025.

CNNBRASIL. O Brasil está seco. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/blogs/pedro-cortes/nacional/o-brasil-esta-seco/>. Acesso em: 10 maio. 2025.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum.** 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

Diakakis, M., Nikolopoulos, E., Mavroulis, S., Vassilakis, E. & Korakaki, E. (2017). *Observational evidence on the effects of mega-fires on the frequency of hydrogeomorphic hazards. The case of the Peloponnese fires of 2007 in Greece. Science of the Total Environment*, 592, 262–276.

DI GIULIO, Gabriela Marques; GRESSE, Eduardo Gonçalves; JACOBI, Pedro Roberto. **Emergência climática, eventos extremos e as experiências no contexto brasileiro.** Diálogos Socioambientais, [S. l.], v. 7, n. 19, p. 6–12, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/article/view/1061>. Acesso em: 26 abr. 2025.

FERREIRA, Damile de Jesus; PROFICE, Christiana Cabicieri. **Áreas Protegidas e populações humanas: valor ambiental e manejo sustentável em uma comunidade rural do sul da Bahia, Brasil.** Desenvolvimento e Meio ambiente, v. 52, p. 217-234, 2019.

FIDALGO, A.; FERNANDES, A. S. **Efeito dos incêndios florestais no ecossistema: revisão integrativa.** *Territorium Revista Portuguesa de riscos prevenção e segurança*, n. 30(II), p. 5–13, 25 out. 2023.

Filipe, M. & Serralha, M. (2015, Jul). **Os impactos e consequências dos incêndios florestais.** Disponível em <https://dica.madeira.gov.pt/index.php/outras-temas/florestas/1154-os-impactos-e-consequencias-dos-incendios-florestais>. Acesso em: 20 abril. 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS INDÍGENAS (FUNAI). **Geoprocessamento e mapas de terras indígenas.** Brasília: Governo Federal, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Acesso em: 04 de maio de 2025.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. **Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva do pensamento da complexidade.** NEMAD, v. 1, n. 11, p. 167-182, mai/2016.

GAUTAM, S.; BREMA, J.; DHASARATHAN, R. *Spatial-Temporal Estimates of Solid Waste Disposal in an Urban City of India: A Remote Sensing and GIS Approach.*

Environmental Technology & Innovation, v. 16, p. 1-12, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100650>.

GUERRA, A. M. C. *et al.* **Cicatrizes da escravização: Psicanálise em diálogo.** Vitória, ES: Edufes, 2023. v. 40. ISBN 978-85-7772-522-9.

G1. Ondas de calor, frio e seca ao longo das estações em 2021: causa é o aquecimento global? Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2021/09/22/entenda-relacao-ondas-de-calor-frio-e-seca-ao-longo-das-estacoes-em-2021-o-aquecimento-global.ghtml>. Acesso em: 10 maio. 2025.

IBGE. **Censo agropecuário 2017: resultados preliminares.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:

https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em: 30 dez. 2024.

IBRAM. **Bioma Cerrado**, 2018. Disponível em: <https://www.ibram.df.gov.br/bioma-cerrado/>.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Quilombos-INCRA.zip.** 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-shapefile/quilombos-incra.zip/view>. Acesso em: 04 maio. 2025.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil.** Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 10 jan. 2025.

Júnior, L. S. M.; Oliveira, E. K. B. **Zoneamento do risco de incêndios florestais no município de Itinga, Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil.** *Scientia Naturalis*, v. 6, n. 1, 1 jan. 2024.

Lourenço, L. (1990). **Impacte ambiental dos incêndios florestais.** Disponível em https://www.uc.pt/fluc/nicif/Publicacoes/Colectaneas_Cindinicas/Download/Colecao_IV/Artigo_III.pdf. Acesso em: 05 abr. 2025.

IPAM. **“Seca impactou nas chuvas criando situação de alto risco para incêndios florestais”**, 2024. Disponível em: <https://ipam.org.br/seca-impactou-nas-chuvas-criando-situacao-de-alto-risco-para-incendios-florestais/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

MAPBIOMAS. AMAZÔNIA JÁ PERDEU 17% DA SUA COBERTURA, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/08/09/amazonia-ja-perdeu-17-de-sua-cobertura-nativa/>. Acesso em: 05 abr. 2025.

MAPBIOMAS. Área queimada no Brasil cresce 79% em 2024 e supera os 30 milhões de hectares, 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2025/01/22/area-queimada-no-brasil-cresce-79-em-2024-e-supera-os-30-milhoes-de-hectares/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

MAPBIOMAS. Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 9, 2024. 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: 03 maio. 2025.

MAPBIOMAS. PERDA DE VEGETAÇÃO NATIVA NO BRASIL ACELEROU NA ÚLTIMA DÉCADA, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/08/31/perda-de-vegetacao-nativa-no-brasil-acelerou-na-ultima-decada/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/be7ced42d3314e88a4559e76336c289f>. Acesso em: 20 abr. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass - Mapeamento das áreas queimadas no Brasil entre 1985 a 2023 - Coleção 3, acessado em 20 de novembro de 2024. Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkit-fire.js>. Acesso em: 18 abr. 2025.

Meneses, B. (2013, SET). **O Impacto Dos Incêndios Florestais Na Perda De Solo Por Erosão Hídrica Na Serra De Santa Helena.** Revista Geográfica de América Central, 51, 215–232.

METSUL. **La Niña acabou! E agora?** Disponível em: <https://metsul.com/la-nina-acabou-e-agora/>. Acesso em: 10 maio. 2025.

MYERS, N. et al. ***Biodiversity hotspots for conservation priorities.*** *Nature*, v. 403, p. 853–858, 2000.

Pausas, J. P. & Keeley, J. E. (2019). ***Wildfires as an ecosystem service.*** *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289–295. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2044>.

Pimentel, J. de O. C., & Frigo, J. P. (2024). **Sensoriamento remoto aplicado na sustentabilidade ambiental e sua relação com os ODS visando a gestão dos resíduos sólidos: uma revisão.** Revista Do Departamento De Geografia, 44, e217530. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2024.217530>.

PRUDENTE, Tatiana Diniz. Risco integrado de incêndio florestal em áreas de cerrado : contribuições metodológicas. 2016. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2016.45>.

RIBEIRO, E. M.; GALIZONI, F.M. **Jequitinhonha: terra, lavoura e migração no Alto Jequitinhonha.** Porto Alegre: Ed. UFRGZ, 2013. p. 25-44.

RIBEIRO, E. M. **Sete estudos sobre a agricultura familiar do Vale do Jequitinhonha.** Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS, 2013. 192 p.

RIBEIRO, J. F., WALTER, B. M. T. 1998. **Fitofisionomias do bioma Cerrado.** p. 89-166. In: SANO, S. M., ALMEIDA, S. P. de. (ed.) Cerrado: ambiente e flora. Embrapa-CPAC: Planaltina. xii + 556p.

Ribeiro, J. F & Walter, 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, L.; KOPROSKI, L. P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR).** Floresta, v. 38, n. 3, 2008.

SANO, E. E. et al. **Características gerais da paisagem do Cerrado. Dinâmica agrícola no Cerrado: análises e projeções,** n. May, p. 21-37, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1121716/1/LVDINAMICAAGRICOLACERRADO2020.pdf>. Acessado em: 20 mar. 2025.

SANO, E.E.; ALMEIDA, C.M.; AGUIAR, A.P.D. de; BARBOSA, M.R.V. (orgs.). Monitoramento da cobertura e uso da terra do bioma Cerrado: projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: Embrapa, INPE, 2015.

SANTOS, S. A.; CHEREM, L. F. S. **Estrutura espacial e temporal das Unidades de Conservação no Cerrado: heterogeneidade combinada em prol da conservação.** Sociedade & Natureza, v. 35, n. 1, 13 dez. 2022.

SAUER, S. **Questão eco-agrária: extrativismo agrário, mudanças climáticas e desmatamento no Brasil / Eco-Agrarian Question: agrarian extractivism, climate change and deforestation in Brazil / Cuestión eco-agraria: extractivismo agrario, cambio climático y deforestación en Brasil.** REVISTA NERA, v. 27, n. 2, 22 abr. 2024.

Scabin, D. (2024). **Conferências Ambientais.** Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/conferencias-ambientais/>. Acesso em: 01 abr. 2025.

SOUSA, K. H. S.; COELHO, S. C. B.; PEREIRA, M. A. **Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça – MG.** *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 4, p. 39536-39557, 2021.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. **Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG.** Revista Árvore, v. 34, n. 2, p. 297-303, 2010.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. **Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG.** Revista Árvore, v. 38, n. 5, p. 811- 817, 2014.

TORRES, F. T. P.; ROQUE, M. P. B.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; FARIA, A. L. L. **Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento.** Floresta e Ambiente, v. 24, e00025615, 2017.

Vergani, C., Werlen, M., Conedera, M., Cohen, D. & Schwarz, M. (2017). **Investigation of root reinforcement decay after a forest fire in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) protection forest.** *Forest Ecology and Management*, 400, 339–352.

WEATHERSPARK. **Clima, condições meteorológicas e temperatura média por mês de Brasília (Distrito Federal, Brasil).** Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30238/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bras%C3%ADlia-Distrito-Federal-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 28 jan. 2025.

Wooldridge, J. M. (2000). *Introductory Econometrics: A modern approach.*, South-Western College Publishing.

ZHANG, C. Q.; ZHOU, L.; DU, M. Y.; YANG, K.; LUO, T. *A Cross-Channel Multi-Scale Gated Fusion Network for Recognizing Construction and Demolition Waste from High-Resolution Remote Sensing Images. International Journal of Remote Sensing*, v. 43, p. 4541-4568, 2022. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2022.2115864>

ANEXOS

Anexo I. Dados utilizados para preparar os gráficos relativos à porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, do Cerrado.

Incêndios			Com e sem incêndios		Porcentagem de incêndios		Vegetação Remanescente					
Ano	Vegetação	Quantidade	Total	Pontos em Vegetação	Pontos total	Vegetação	Total	Cerrado	Vegetação	Total		
2013	Formação Florestal	20	187	1496	4669	1.34	4.01	1.89	15.13	47.22		
	Formação Savânica	167		3173		5.26			32.09			
2014	Formação Florestal	18	288	1490	4630	1.21	6.22	2.91	15.07	46.82		
	Formação Savânica	270		3140		8.60			31.76			
2015	Formação Florestal	37	274	1480	4591	2.50	5.97	2.77	14.97	46.43		
	Formação Savânica	237		3111		7.62			31.46			
2016	Formação Florestal	39	255	1485	4550	2.63	5.60	2.58	15.02	46.02		
	Formação Savânica	216		3065		7.05			31.00			
2017	Formação Florestal	48	277	1490	4525	3.22	6.12	2.80	15.07	45.76		
	Formação Savânica	229		3035		7.55			30.69			
2018	Formação Florestal	8	150	1498	4523	0.53	3.32	1.52	15.15	45.74		
	Formação Savânica	142		3025		4.69			30.59			
2019	Formação Florestal	28	252	1501	4517	1.87	5.58	2.55	15.18	45.68		
	Formação Savânica	224		3016		7.43			30.50			
2020	Formação Florestal	21	231	1490	4468	1.41	5.17	2.34	15.07	45.19		
	Formação Savânica	210		2978		7.05			30.12			
2021	Formação Florestal	12	189	1486	4450	0.81	4.25	1.91	15.03	45.00		
	Formação Savânica	177		2964		5.97			29.98			
2022	Formação Florestal	11	210	1486	4401	0.74	4.77	2.12	15.03	44.51		
	Formação Savânica	199		2915		6.83			29.48			
2023	Formação Florestal	12	168	1472	4302	0.82	3.91	1.70	14.89	43.51		
	Formação Savânica	156		2830		5.51			28.62			
Pontos Totais	9888		Total	2481	49626		Média	1.55	4.99	2.28		
								6.69				
Média de incêndios em todo o Cerrado			225.55	Porcentagem de Incêndio na área como um todo			2.28	%	Cerrado			
Média de incêndios na formação florestal			23.09	Porcentagem de incêndio na formação florestal			0.23					
Média de incêndios na formação savânica			202.45	Porcentagem de incêndio na formação savânica			2.05					

Anexo II. Dados utilizados para preparar os gráficos relativos à porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Sul do Cerrado.

Incêndios				Com e sem incêndios		Porcentagem de incêndios			Vegetação Remanescente				
Ano	Vegetação	Quantidade	Total	Pontos em Vegetação	Pontos total	Vegetação	Total	Cerrado	Vegetação	Total			
2013	Formação Florestal	0	0	298	420	0.00	0.00	0.00	14.62	20.60			
	Formação Savânica	0		122		0.00	0.00	0.00	5.98				
2014	Formação Florestal	0	0	297	420	0.00	0.00	0.00	14.57	20.60			
	Formação Savânica	0		123		0.00	0.00	0.00	6.03				
2015	Formação Florestal	0	0	293	416	0.00	0.00	0.00	14.37	20.40			
	Formação Savânica	0		123		0.00	0.00	0.00	6.03				
2016	Formação Florestal	0	0	297	415	0.00	0.00	0.00	14.57	20.35			
	Formação Savânica	0		118		0.00	0.00	0.00	5.79				
2017	Formação Florestal	0	0	299	418	0.00	0.00	0.00	14.66	20.50			
	Formação Savânica	0		119		0.00	0.00	0.00	5.84				
2018	Formação Florestal	0	0	303	422	0.00	0.00	0.00	14.86	20.70			
	Formação Savânica	0		119		0.00	0.00	0.00	5.84				
2019	Formação Florestal	0	1	308	427	0.00	0.23	0.05	15.11	20.94			
	Formação Savânica	1		119		0.84	0.84	0.05	5.84				
2020	Formação Florestal	0	2	306	425	0.00	0.47	0.10	15.01	20.84			
	Formação Savânica	2		119		1.68	1.68	0.10	5.84				
2021	Formação Florestal	1	1	306	424	0.33	0.24	0.05	15.01	20.79			
	Formação Savânica	0		118		0.00	0.24	0.05	5.79				
2022	Formação Florestal	0	0	307	421	0.00	0.00	0.00	15.06	20.65			
	Formação Savânica	0		114		0.00	0.00	0.00	5.59				
2023	Formação Florestal	0	0	298	410	0.00	0.00	0.00	14.62	20.11			
	Formação Savânica	0		112		0.00	0.00	0.00	5.49				
Pontos Totais	2039		Total	4	4618		Média	0.03	0.09	0.02			
								0.23					
Média de incêndios na área como um todo				0.36	Porcentagem de Incêndio na área como um todo			0.02	%	Sul			
Média de incêndios na formação florestal				0.09	Porcentagem de incêndio na formação florestal			0.00					
Média de incêndios na formação savânica				0.27	Porcentagem de incêndio na formação savânica			0.01					

Anexo III. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos à porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Leste do Cerrado.

Incêndios			Com e sem incêndios			Porcentagem de incêndios			Vegetação Remanescente			
Ano	Vegetação	Quantidade	Total	Pontos em Vegetação	Pontos total	Vegetação	Total	Cerrado	Vegetação	Total		
2013	Formação Florestal	0	13	115	855	0.00	1.52	0.80	7.12	52.91		
	Formação Savânica	13		740		1.76			45.79			
2014	Formação Florestal	0	19	112	849	0.00	2.24	1.18	6.93	52.54		
	Formação Savânica	19		737		2.58			45.61			
2015	Formação Florestal	1	28	111	838	0.90	3.34	1.73	6.87	51.86		
	Formação Savânica	27		727		3.71			44.99			
2016	Formação Florestal	0	9	114	832	0.00	1.08	0.56	7.05	51.49		
	Formação Savânica	9		718		1.25			44.43			
2017	Formação Florestal	0	12	113	828	0.00	1.45	0.74	6.99	51.24		
	Formação Savânica	12		715		1.68			44.25			
2018	Formação Florestal	0	7	117	830	0.00	0.84	0.43	7.24	51.36		
	Formação Savânica	7		713		0.98			44.12			
2019	Formação Florestal	0	14	119	827	0.00	1.69	0.87	7.36	51.18		
	Formação Savânica	14		708		1.98			43.81			
2020	Formação Florestal	1	18	121	819	0.83	2.20	1.11	7.49	50.68		
	Formação Savânica	17		698		2.44			43.19			
2021	Formação Florestal	0	41	118	815	0.00	5.03	2.54	7.30	50.43		
	Formação Savânica	41		697		5.88			43.13			
2022	Formação Florestal	1	17	119	807	0.84	2.11	1.05	7.36	49.94		
	Formação Savânica	16		688		2.33			42.57			
2023	Formação Florestal	0	14	123	789	0.00	1.77	0.87	7.61	48.82		
	Formação Savânica	14		666		2.10			41.21			
Pontos Totais	1616		Total	192	Pontos total	Média	0.23	2.12	1.08	%		
							2.43					
Média de incêndios na área como um todo			17.45	Porcentagem de Incêndio na área como um todo			1.08	%	Leste			
Média de incêndios na formação florestal			0.27	Porcentagem de incêndio na formação florestal			0.02					
Média de incêndios na formação savânica			17.18	Porcentagem de incêndio na formação savânica			1.06					

Anexo IV. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos a porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Oeste do Cerrado.

Incêndios			Com e sem incêndios		Porcentagem de incêndios		Vegetação Remanescente						
Ano	Vegetação	Quantidade	Total	Pontos em Vegetação	Pontos total	Vegetação	Total	Cerrado	Vegetação	Total			
2013	Formação Florestal	1	25	381	1134	0.26	2.20	1.01	15.36	45.71			
	Formação Savânica	24		753		3.19			30.35				
2014	Formação Florestal	0	45	381	1130	0.00	3.98	1.81	15.36	45.55			
	Formação Savânica	45		749		6.01			30.19				
2015	Formação Florestal	0	42	380	1118	0.00	3.76	1.69	15.32	45.06			
	Formação Savânica	42		738		5.69			29.75				
2016	Formação Florestal	3	51	376	1101	0.80	4.63	2.06	15.16	44.38			
	Formação Savânica	48		725		6.62			29.22				
2017	Formação Florestal	3	60	376	1093	0.80	5.49	2.42	15.16	44.05			
	Formação Savânica	57		717		7.95			28.90				
2018	Formação Florestal	1	27	378	1090	0.26	2.48	1.09	15.24	43.93			
	Formação Savânica	26		712		3.65			28.70				
2019	Formação Florestal	5	56	381	1099	1.31	5.10	2.26	15.36	44.30			
	Formação Savânica	51		718		7.10			28.94				
2020	Formação Florestal	7	63	382	1096	1.83	5.75	2.54	15.40	44.18			
	Formação Savânica	56		714		7.84			28.78				
2021	Formação Florestal	1	39	383	1093	0.26	3.57	1.57	15.44	44.05			
	Formação Savânica	38		710		5.35			28.62				
2022	Formação Florestal	1	33	385	1083	0.26	3.05	1.33	15.52	43.65			
	Formação Savânica	32		698		4.58			28.13				
2023	Formação Florestal	2	17	387	1068	0.52	1.59	0.69	15.60	43.05			
	Formação Savânica	15		681		2.20			27.45				
Pontos Totais	2481		458	12105		Média	0.57	1.68	%				
							5.47						
Média de incêndios na área como um todo			41.64	Porcentagem de Incêndio na área como um todo			1.68	%	Oeste				
Média de incêndios na formação florestal			2.18	Porcentagem de incêndio na formação florestal			0.09						
Média de incêndios na formação savânica			39.45	Porcentagem de incêndio na formação savânica			1.59						

Anexo V. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos a porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Centro do Cerrado.

Incêndios			Com e sem incêndios			Porcentagem de incêndios			Vegetação Remanescente				
Ano	Vegetação	Quantidade	Total	Pontos em Vegetação	Pontos total	Vegetação	Total	Cerrado	Vegetação	Total			
2013	Formação Florestal	6	53	281	955	2.14	5.55	2.54	13.46	45.74			
	Savana	47		674		6.97			32.28				
2014	Floresta	6	85	281	938	2.14	9.06	4.07	13.46	44.92			
	Savana	79		657		12.02			31.47				
2015	Floresta	10	61	277	936	3.61	6.52	2.92	13.27	44.83			
	Savana	51		659		7.74			31.56				
2016	Floresta	8	73	275	923	2.91	7.91	3.50	13.17	44.20			
	Savana	65		648		10.03			31.03				
2017	Floresta	9	75	277	921	3.25	8.14	3.59	13.27	44.11			
	Savana	66		644		10.25			30.84				
2018	Floresta	0	32	281	923	0.00	3.47	1.53	13.46	44.20			
	Savana	32		642		4.98			30.75				
2019	Floresta	7	65	281	922	2.49	7.05	3.11	13.46	44.16			
	Savana	58		641		9.05			30.70				
2020	Floresta	7	70	279	911	2.51	7.68	3.35	13.36	43.63			
	Savana	63		632		9.97			30.27				
2021	Floresta	3	44	281	905	1.07	4.86	2.11	13.46	43.34			
	Savana	41		624		6.57			29.89				
2022	Floresta	6	61	281	898	2.14	6.79	2.92	13.46	43.01			
	Savana	55		617		8.91			29.55				
2023	Floresta	2	29	283	874	0.71	3.32	1.39	13.55	41.86			
	Savana	27		591		4.57			28.30				
Pontos Totais	2088		Total	648	10106	Média	2.09	6.40	2.82	%			
							8.28						
Média de incêndios na área como um todo			58.91	Porcentagem de Incêndio na área como um todo			2.82	%	Centro				
Média de incêndios na formação florestal			5.82	Porcentagem de incêndio na formação florestal			0.28						
Média de incêndios na formação savânica			53.09	Porcentagem de incêndio na formação savânica			2.54						

Anexo VI. Dados utilizados para fazer os gráficos relativos a porcentagem de incêndios por vegetação e em conjunto, anualmente, da sub-região Norte do Cerrado

Incêndios				Com e sem incêndios		Porcentagem de incêndios			Vegetação Remanescente				
Ano	Vegetação	Quantidade	Total	Pontos em Vegetação	Pontos total	Vegetação	Total	Cerrado	Vegetação	Total			
2013	Formação Florestal	13	96	421	1305	3.09	7.36	5.77	25.30	78.43			
	Formação Savânica	83		884		9.39			53.13				
2014	Formação Florestal	12	139	419	1293	2.86	10.75	8.35	25.18	77.70			
	Formação Savânica	127		874		14.53			52.52				
2015	Formação Florestal	26	143	419	1283	6.21	11.15	8.59	25.18	77.10			
	Formação Savânica	117		864		13.54			51.92				
2016	Formação Florestal	28	122	423	1279	6.62	9.54	7.33	25.42	76.86			
	Formação Savânica	94		856		10.98			51.44				
2017	Formação Florestal	36	130	425	1265	8.47	10.28	7.81	25.54	76.02			
	Formação Savânica	94		840		11.19			50.48				
2018	Formação Florestal	7	84	419	1258	1.67	6.68	5.05	25.18	75.60			
	Formação Savânica	77		839		9.18			50.42				
2019	Formação Florestal	16	116	412	1242	3.88	9.34	6.97	24.76	74.64			
	Formação Savânica	100		830		12.05			49.88				
2020	Formação Florestal	6	78	402	1217	1.49	6.41	4.69	24.16	73.14			
	Formação Savânica	72		815		8.83			48.98				
2021	Formação Florestal	7	64	398	1213	1.76	5.28	3.85	23.92	72.90			
	Formação Savânica	57		815		6.99			48.98				
2022	Formação Florestal	3	99	394	1192	0.76	8.31	5.95	23.68	71.63			
	Formação Savânica	96		798		12.03			47.96				
2023	Formação Florestal	8	108	381	1161	2.10	9.30	6.49	22.90	69.77			
	Formação Savânica	100		780		12.82			46.88				
Pontos Totais	1664		Total	1179	13708	Média	3.54	8.58	6.44	%			
							11.05						
Média de incêndios na área como um todo				107.18	Porcentagem de Incêndio na área como um todo			6.44	%	Norte			
Média de incêndios na formação florestal				14.73	Porcentagem de incêndio na formação florestal			0.89					
Média de incêndios na formação savânica				92.45	Porcentagem de incêndio na formação savânica			5.56					