



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/03.15.12.27-TDI

## **QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM PROJETOS DE ASSENTAMENTO: MODELAGEM E ANÁLISE MULTI-ESCALA DA REGIÃO DO MATOPIBA**

Gisele Milare

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelas Dras. Maria Isabel Sobral Escada, e Angélica Giarolla, aprovada em 08 de março de 2024.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/4ATKS42>>

INPE  
São José dos Campos  
2024

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/03.15.12.27-TDI

## **QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM PROJETOS DE ASSENTAMENTO: MODELAGEM E ANÁLISE MULTI-ESCALA DA REGIÃO DO MATOPIBA**

Gisele Milare

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelas Dras. Maria Isabel Sobral Escada, e Angélica Giarolla, aprovada em 08 de março de 2024.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/4ATKS42>>

INPE  
São José dos Campos  
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Milare, Gisele.

M589q Queimadas e incêndios em projetos de assentamento: modelagem e análise multi-escala da região do MATOPIBA / Gisele Milare. – São José dos Campos : INPE, 2024.

xxii + 217 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/03.15.12.27-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2024.

Orientadoras : Dras. Maria Isabel Sobral Escada, e Angélica Giarolla.

1. Cerrado. 2. Modelo aditivo generalizado. 3. Área queimada. 4. Indicadores ambientais. 5. Sistemas socioambientais. I.Título.

CDU 630\*432:528.8(213.54)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO



## INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

### DEFESA FINAL DE TESE DE GISELE MILARE BANCA Nº 026/2024, REGISTRO 692894/2020

No dia 08 de março de 2024, às 09:00h, por videoconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Doutora em Ciência do Sistema Terrestre, com a exigência de que o trabalho final a ser publicado deverá incorporar as correções sugeridas pela Banca Examinadora, com revisão pelo(s) orientador(es).

**Novo título: “Queimadas e incêndios em projetos de assentamento: modelagem e análise multi-escala da região do MATOPIBA”.**

#### Membros da Banca:

Dra. Silvana Amaral Kampel – Presidente – INPE  
Dra. Maria Isabel Sobral Escada – Orientadora – INPE  
Dra. Angélica Giarolla – Orientadora – INPE  
Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro – Membro Interno – INPE  
Dr. Alfredo da Costa Pereira Júnior – Membro Externo – MDA  
Dra. Tainá Oliveira Assis – Membro Externo – Bayer



Documento assinado eletronicamente por **Angélica Giarolla, Tecnologista**, em 12/03/2024, às 10:16 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Silvana Amaral Kampel, Pesquisadora**, em 12/03/2024, às 11:16 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Miguel Vieira Monteiro, Pesquisador**, em 13/03/2024, às 11:01 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Taina oliveira Assis (E), Usuário Externo**, em 13/03/2024, às 15:34 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alfredo da Costa Pereira Junior (E), Usuário Externo**, em 13/03/2024, às 15:40 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Isabel Sobral Escada, Pesquisadora**, em 18/03/2024, às 09:13 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **11771111** e o código CRC **C3BAEAE2**.

---

Referência: Processo nº 01340.001913/2024-31

SEI nº 11771111

## AGRADECIMENTOS

Cada etapa que culminou nesta tese foi atravessada por desafios e um vasto campo de aprendizado. Essa jornada não teria sido tão enriquecedora se não fosse pela colaboração e convívio com aqueles que compartilharam seu conhecimento e apoio.

Primeiramente, quero agradecer aos meus pais, Elisabeth e Antenor, e minha irmã pelo apoio e incentivo aos estudos que ao longo dos anos formaram a base sobre a qual construí este trabalho, também agradeço pelos momentos de diversão e descanso. Agradeço a Tainá, minha filha, pela paciência, por todos os momentos divertidos e por me acompanhar nos trabalhos de campo. Assim, como também agradeço ao Sebastião.

Agradeço minhas orientadoras Dra. Maria Isabel Sobral Escala e Dra. Angélica Giarella, cuja orientação, apoio e conhecimento foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. A dedicação e disponibilidade de ambas, cada uma a sua maneira, foram fundamentais em cada etapa do processo.

Agradeço aos membros da banca Dra. Silvana Amaral Kampel, Dra. Tainá Oliveira Assis, Dr. Alfredo da Costa Pereira Júnior e Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro pelos apontamentos, correções e sugestões pertinentes.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Investigações em Sistemas Socioambientais (LISS/INPE), em especial ao Bruno, Maíra, Flávia, Mateus e Anielli por toda a disponibilidade para colaboração em revisões, eventos e trabalhos ao longo desses anos de doutorado, bem como compartilhamento de conhecimento e ideias.

Agradeço aos colegas da PGCST/INPE, em especial ao Murilo e à Érica que estiveram juntos desde o início do curso, lembrando prazos, compartilhando experiências e soluções para as demandas do doutorado; à Meiriele, ao Felipe, ao Julian e à Luciana por todas as trocas de ideias, conselhos e momentos de diversão.

Agradeço a todos os professores e funcionários da PGCST, em especial à Angela, por toda ajuda, disponibilidade e paciência.

Agradeço aos funcionários da Biblioteca do INPE, em especial à Simone, pela disponibilidade e atenção.

Agradeço ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) pelo afastamento concedido para dedicação ao doutorado, em especial à Superintendência

Regional do Incra no Estado do Tocantins, aos colegas do Serviço de Meio Ambiente e da Unidade Avançada de Gurupi. Agradeço também as famílias assentadas do PA São Judas Tadeu, PA Loroty e PA Lagoa da Onça pela recepção e auxílio durante os trabalhos de campo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

A região do Matopiba tem enfrentado desafios devido à alta incidência de áreas queimadas, impactando diversas comunidades rurais, incluindo aquelas presentes em projetos de assentamento da reforma agrária. Diante desse cenário, compreender a dinâmica das queimadas nessas áreas torna-se crucial para implementar medidas preventivas. Nesse contexto, o objetivo principal deste estudo foi avaliar e modelar a ocorrência de queimadas e incêndios em projetos de assentamento na região do Matopiba em múltiplas escalas. Para alcançar esse objetivo, inicialmente, em escala regional, foram identificados os fatores associados à ocorrência de queimadas, considerando a presença de projetos de assentamentos como um dos fatores potenciais. Utilizou-se modelo aditivo generalizado em quatro sub-regiões com características homogêneas de 2016 a 2020. Os resultados dessa análise não revelaram um padrão consistente de associação entre áreas queimadas e projetos de assentamento, apresentando variações interanuais e entre sub-regiões. Em seguida, a análise foi direcionada para os projetos de assentamento, onde se analisou a dinâmica temporal e espacial da ocorrência de área queimada, caracterizando sua ocorrência, frequência e tendência. Observou-se que o padrão temporal de ocorrência de queimadas está fortemente associado à estação seca, com variações interanuais. Além disso, foi identificada uma tendência positiva na ocorrência de queimadas no nordeste do Matopiba, alinhada com a tendência regional. A análise focada nas variáveis relacionadas aos projetos de assentamento do sudoeste do Matopiba revelou, via modelo aditivo generalizado, uma associação entre a ocorrência de queimadas e projetos de assentamento mais antigos e com maior proporção de vegetação nativa, incluindo formações campestres, savânicas e florestais. Em uma escala local, foi realizada análise dos lotes para identificar a associação entre tipos de queimada (incêndios e queima controlada) e formas de ocupação definidas via padrões de desmatamento. Os padrões de desmatamento pequenos, associados a agricultura familiar, ou geométricos, associados a agricultura e pastagem com possível uso de mecanização agrícola, estavam associados a uma maior incidência de incêndios em comparação com queimadas controladas. Entretanto, lotes com desmatamento total, associado à presença principalmente de pastagem, não apresentaram diferenças significativas na ocorrência entre incêndios e queimadas controladas, sugerindo um possível uso para o manejo de pastagens. Por fim, considerando os resultados gerais, foi desenvolvido um Indicador de Suscetibilidade às Queimadas aplicado aos Projetos de Assentamento (ISQPA), utilizando método Processo Analítico Hierárquico (AHP) com critérios relacionados ao regime de fogo e aos tipos da vegetação. A implementação do ISQPA resultou em um painel de aplicação web para visualização dos resultados. Este instrumento pode contribuir para a identificação de áreas prioritárias em ações de prevenção e tomada de decisões. Em conclusão, destaca-se importância da abordagem de análise em múltiplas escalas para compreender a heterogeneidade das queimadas nos projetos de assentamento. Num cenário de mudanças climáticas com projeções de aumento de área queimada

nas próximas décadas, uma análise aprofundada e contextualizada das relações entre projetos de assentamento e as queimadas pode orientar ações preventivas e de mitigação de impactos nas comunidades rurais e nos ecossistemas.

Palavras-chave: Cerrado. Modelo aditivo generalizado. Área queimada. Indicadores ambientais. Sistemas socioambientais.

# FIRE OCCURRENCE IN AGRARIAN REFORM SETTLEMENT PROJECTS: MODELING AND MULTI-SCALE ANALYSIS OF THE MATOPIBA REGION

## ABSTRACT

The Matopiba region has a high occurrence of burned areas, impacting various rural communities, including those in agrarian reform settlement projects. Understanding the dynamics of fires in these areas has become important to implement preventive actions. The main objective of this study was to evaluate and model the occurrence of burned area in settlement projects in the Matopiba region at multiple scales. To achieve this, initially, at a regional scale, drivers associated with the occurrence of burned area were identified, including the settlement projects. A generalized additive model was applied to four subregions with homogeneous characteristics from 2016 to 2020. The results indicated that no discernible pattern of association existed between burned areas and settlement projects; however, there were interannual and between-subregion variations. Subsequently, the analysis was directed towards settlement projects, where the temporal and spatial dynamics of the occurrence of burned areas were analyzed, characterizing their occurrence, frequency, and trends. It was observed that the temporal pattern of burned area occurrence is associated with the dry season, exhibiting interannual variations. Furthermore, a positive trend was identified in the northeast of Matopiba, aligning with the regional trend. The analysis focused on settlement projects also revealed, through a generalized additive model, an association between the occurrence of burned area and older settlement projects and with a greater proportion of native vegetation, including grassland, savannah and forest formations. On a local scale, an analysis of the lots was carried out to identify the association between types of burning (fires and controlled burning) and forms of occupation defined via deforestation patterns. Small or geometric deforestation patterns were associated with a higher incidence of fires compared to controlled burns. However, lots with total deforestation did not show significant differences in occurrence between fires and controlled burns, suggesting a potential use for pasture management. Considering the general results, an indicator of susceptibility to wildfire for settlement projects (ISQPA) was developed, using an Analytic Hierarchy Process (AHP) method considering fire regime criteria and vegetation characteristics. The implementation of ISQPA resulted in a web application dashboard for viewing results. This instrument contributes to the identification of priority areas in prevention actions and decision-making. In conclusion, this highlights the importance of the multiscale analysis approach for understanding the heterogeneity of burned areas in settlement projects. In a scenario of climate change with projections of an increase in burned area, an in-depth and contextualized analysis of the relationships between settlement projects and fires can guide preventive actions and mitigate impacts on rural communities and ecosystems.

Keywords: Cerrado. Generalized additive model. Burned area. Environmental indicators. Socio-environmental system.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Estrutura do documento de tese conforme a escala de análise. . . . .	7
2.1 Triângulo do fogo e condições ecológicas para sua ocorrência em ecossistemas. . . . .	10
2.2 Características dos ecossistemas e os efeitos da ocorrência do fogo natural, planejado e acidental/criminoso. . . . .	13
2.3 Principais fatores que podem influenciar o regime de fogo conforme a escala temporal e espacial. . . . .	14
2.4 Sensibilidade ao fogo pelas diferentes fitofisionomias do Cerrado. . . . .	15
2.5 Uso do fogo nas práticas agropecuárias. . . . .	18
2.6 Relação entre proporção de áreas com degradação do solo em áreas agrícolas e de vegetação nativa e a frequência de fogo. . . . .	19
3.1 Localização da região Matopiba. . . . .	31
3.2 Classes de solo e classes de uso e cobertura da terra da região Matopiba. . . . .	33
3.3 Área queimada no Brasil e na região do Matopiba, em cada ano do período de 2001 a 2011. Gráfico de rosca representando a porcentagem de área queimada na região do Matopiba em relação à área queimada no Brasil. . . . .	35
3.4 Área queimada no Brasil e na região do Matopiba, em cada ano do período de 2012 a 2022. Gráfico de rosca representando a porcentagem de área queimada na região do Matopiba em relação à área queimada no Brasil. . . . .	36
3.5 Número de projetos de assentamentos na região do Matopiba criados por ano. . . . .	38
3.6 Projetos de Assentamento na região Matopiba. . . . .	39
4.1 Etapas da regionalização do Matopiba via <i>skater</i> . . . . .	46
4.2 Delimitação de célula de 2 x 2 km e vinculação de variáveis associadas. . . . .	47
4.3 Sub-regiões delimitadas pelo método <i>skater</i> . . . . .	51
4.4 Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 1. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal. . . . .	53

4.5	Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 2. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal. . . .	54
4.6	Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 3. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal. . . .	55
4.7	Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 4. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal. . . .	56
4.8	<i>Odds ratio</i> de variáveis antropogênicas selecionadas, traços pretos indicam intervalo de confiança (AD = área desmatada, AG = agricultura, ES = estradas, PA = projeto de assentamento, IR = imóvel rural privado, PT = pastagem, PV = povoamentos, TI = terra indígena, TQ = território quilombola, UC = unidade de conservação). As áreas sombreadas de cinza são para facilitar a visualização dos resultados das diferentes variáveis. . . . .	58
4.9	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura por agricultura. (AG = % de cobertura da célula com agricultura, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com área de agricultura). . . . .	59
4.10	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura por pastagem das células (PT = % de cobertura da célula com pastagem, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com área de pastagem). . . . .	60
4.11	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura por área desmatada (AD = % de cobertura da célula com área desmatada, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com área desmatada no ano de ocorrência de queimada). . . . .	61
4.12	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por imóveis rurais privados (IR = % de cobertura da célula com imóveis rurais privados, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com imóveis rurais privados). . . . .	62
4.13	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por projetos de assentamento (PA= % de cobertura da célula com projetos de assentamento, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com projetos de assentamento). . . . .	63

4.14	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por territórios quilombolas (TQ= % de cobertura da célula com territórios quilombolas, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com territórios quilombolas). . . . .	64
4.15	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por terras indígenas (TI= % de cobertura da célula com terras indígenas, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com terras indígenas). . . . .	65
4.16	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por unidades de conservação (UC= % de cobertura da célula com unidades de conservação, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com unidades de conservação). . . . .	66
4.17	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a distância de estradas (ES = distância de estradas, em metros). . . . .	67
4.18	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a distância de povoamentos (PV = distância de povoamentos, em metros). . . . .	68
4.19	<i>Odds ratio</i> de variáveis ambientais selecionadas (CA = campo alagado, DC = declividade, DP = dias sem precipitação, FC = formação campestre, FF = formação florestal, FS = formação savânica). As áreas sombreadas de cinza são para facilitar a visualização dos resultados das diferentes variáveis. . . . .	69
4.20	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por formações florestais (FF= % de cobertura da célula com formações florestais, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com formações florestais). . . . .	70
4.21	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por formações savânicas (FS= % de cobertura da célula com formações savânicas, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com formações savânicas). . . . .	71
4.22	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por formações campestres (FC = % de cobertura da célula com formações campestres, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com formações campestres). . . . .	72
4.23	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por campos alagados (CA= % de cobertura da célula com campos alagados, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com campos alagados). . . . .	73
4.24	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a declividade (DC= declividade, em graus). . . . .	74

4.25	Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme o número de dias sem precipitação no período de queimadas (DP = dias sem precipitação).	75
5.1	Área de estudo.	88
5.2	Fluxograma dos métodos utilizados.	90
5.3	Relação entre precipitação acumulada anual e área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2001 a 2021. A área queimada foi estimada através dos dados do produto MCD64A1 v006 (GALIZIA; RODRIGUES, 2019) e a precipitação através dos dados CHIRPS (FUNK et al., 2015).	93
5.4	Área queimada anual na região do Matopiba e em projetos de assentamento no período de 2001 a 2021.	94
5.5	Variação interanual de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2001 a 2021.	96
5.6	Variação mensal de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2001 a 2010.	97
5.7	Variação mensal de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2011 a 2021.	98
5.8	Classificação dos projetos de assentamento da região do Matopiba conforme área queimada padronizada.	100
5.9	Frequência de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento, de 2001 a 2021, na região do Matopiba.	101
5.10	Projetos de assentamento na região do Matopiba e a frequência de ocorrência de áreas queimadas no período de 2001 a 2021. Utilizou-se o centroide dos projetos de assentamento como localização.	102
5.11	Classificação dos projetos de assentamento da região do Matopiba conforme frequência de área queimada.	104
5.12	Classificação dos projetos de assentamento da região do Matopiba conforme tendência de área queimada.	106
5.13	Proporção de área queimada em projetos de assentamento antes e depois de sua criação.	107
5.14	Classificação final dos projetos de assentamento da região do Matopiba baseados em área queimada padronizada, frequência e tendência de ocorrência de área queimada.	109
5.15	Área queimada em projetos de assentamento da região do Matopiba por uso do solo e classe de cobertura para o período de 2001 a 2021. Valores estimados a partir de dados do Projeto Mapbiomas v.7 (agr: agricultura; alg: campo alagado; cam: formação campestre; flo: formação florestal; pt: pastagem; sav: formação savânica).	111

6.1	Área de estudo. . . . .	119
6.2	Gráfico ds curva AUC/ROC. . . . .	123
6.3	<i>Odds ratio</i> de variáveis selecionadas no modelo, traços pretos indicam intervalo de confiança. . . . .	124
6.4	Probabilidade de ocorrência de queimadas conforme: a) porcentagem de formação florestal (ifl) no projeto de assentamento; b) porcentagem de formação savânica (isv) no projeto de assentamento; c) porcentagem de formação campestre (icm) no projeto de assentamento; d) porcentagem de campo alagado (ial) no projeto de assentamento; e) densidade de famílias assentadas (idf) e; d) idade do projeto de assentamento (gid). . . .	125
7.1	Área de estudo. . . . .	132
7.2	Fluxograma dos métodos utilizados. . . . .	135
7.3	Árvore de decisão para classificação do polígono de área queimada. . . .	136
7.4	Padrões de ocupação de lotes e desmatamento associados a projetos de assentamentos de reforma agrária na região sudoeste do Matopiba. . . . .	138
7.5	Área queimada anual e desmatamento anual nos assentamentos estudados, considerando o período de 2013 a 2019. . . . .	140
7.6	Área queimada (ha) por classe de área queimada e por projeto de assentamento de 2013 a 2019 (cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa; w: incêndio). . . . .	141
7.7	Número de lotes por classe de área queimada e por projeto de assentamento de 2013 a 2019 (cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa; w: incêndio). . . . .	142
7.8	Transições de ocupação de lote nos PA São Judas Tadeu, PA Loroty e PA Lagoa da Onça, entre os anos de 2002 a 2021 (UnO: ocupação indefinida; NoO: lotes sem polígonos de desmatamento; SmO: lote com pequenos polígonos difusos de desmatamento; GeO: lote com polígonos geométricas de desmatamento; Tot: lote totalmente ou quase totalmente desmatado). . . . .	144
7.9	Trajetória de ocupação dos lotes no período de 2002 a 2020: a) todos os lotes, b) PA São Judas Tadeu, c) PA Loroty e d) PA Lagoa da Onça. . . .	146

7.10	Imagem CBERS-04A resultante de fusão de imagens do sensor WPM (bandas 0,2,3 e 4), passagem em 07 de julho de 2022, da área de estudo mostradas com falsa-cor RGB (Caminho/linha: 211/126). Fotografias tiradas no dia 26 de julho de 2022 durante o trabalho de levantamento de campo: (a) área de pastagem com formação de leiras para queima, (b) área com vegetação nativa queimada; e (c) área desmatada com formação de leiras para queima. . . . .	151
8.1	Área de estudo. . . . .	156
8.2	Gráfico de dispersão entre a diferença interquartil gerado pelo teste de sensibilidade e o ISQPA. . . . .	160
8.3	Mapa do resultado do ISQPA. Utilizou-se o centroide dos projetos da assentamento como localização. . . . .	161
8.4	Visualização do menu "Sobre"do painel ISQPA. . . . .	162
8.5	Visualização do menu "ISQPA"do painel ISQPA. . . . .	163
8.6	Visualização do menu "Assentamento"do painel ISQPA. . . . .	164
A.1	Gráficos da função L da sub-região 1 para cada ano do período de 2016 a 2020. . . . .	192
A.2	Gráficos da função L da sub-região 2 para cada ano do período de 2016 a 2020. . . . .	193
A.3	Gráficos da função L da sub-região 3 para cada ano do período de 2016 a 2020. . . . .	194
A.4	Gráficos da função L da sub-região 4 para cada ano do período de 2016 a 2020. . . . .	195
B.1	Classificação das fases dos projetos de assentamento. . . . .	203
B.2	Gráfico da função L. . . . .	204
C.1	Árvore de decisão. . . . .	209
C.2	Teste de Kruskal-Wallis para valores de $w$ . . . . .	210
C.3	Teste de Kruskal-Wallis para valores de $cbn$ . . . . .	211
C.4	Teste de Kruskal-Wallis para valores de $cba$ . . . . .	212
C.5	Teste de Kruskal-Wallis para valores de $cbd$ . . . . .	213
C.6	Teste de Kruskal-Wallis para valores de $ToT$ . . . . .	214
C.7	Teste de Kruskal-Wallis para valores de $GeO$ . . . . .	215
C.8	Teste de Kruskal-Wallis para valores de $SmO$ . . . . .	216
A.1	Permissão para inclusão da versão final de artigo publicado (Capítulo 5) na Tese. . . . .	217

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1	Conceitos relacionados ao regime de fogo. . . . . 11
2.2	Glossário de conceitos utilizados na presente tese. . . . . 12
2.3	Síntese de estudos de modelagem e fatores associados a ocorrência de fogo no Brasil publicados no período de 2017 a 2023. . . . . 21
4.1	Dados utilizados, ano e fonte dos dados. . . . . 43
4.2	Relação de fatores de cada microrregião utilizados no método <i>skater</i> . . . 45
4.3	Fatores potenciais e variáveis explicativas da ocorrência de queimadas. . . 48
4.4	Caracterização preliminar das sub-regiões correspondentes das classes resultantes da regionalização. . . . . 52
4.5	Modelos selecionados para cada ano de cada sub-região (q = ocorrência de queimadas, x = longitude, y= latitude, DC = declividade, FF = formação florestal, FS = formação savânica, FC = formação campestre, CA = campo alagado, DP = Dias sem precipitação, AG = agricultura, PT = pastagem, AD = área desmatada, IR = imóvel rural privado, PA = projeto de assentamento, TQ = território quilombola, TI = terra indígena, UC = unidade de conservação, ES = estradas, PV = povoamentos). . . . 57
5.1	Descrição da classificação final dos projetos de assentamento da região do Matopiba. . . . . 92
5.2	Número de projetos de assentamento por bioma conforme classificação normalizada de áreas queimadas (A, M e B), frequência (a, m e b) e tendência (+, 0 e -). SQA = sem área queimada. . . . . 108
6.1	Fatores potenciais e variáveis explicativas da ocorrência de queimada. . . 120
6.2	Resumo estatístico do modelo aditivo generalizado gerado (idf = densidade de famílias assentadas; gid = idade; ifl = formação florestal; isv = formação savânica; icm = formação campestre; ial = campo alagado). . . 122
7.1	Descrição dos dados utilizados. . . . . 134
7.2	Ocorrência de classes de área queimada por classes de ocupação do lote, no período de 2013 a 2019. . . . . 147
8.1	Critérios utilizados na construção do indicador de suscetibilidade à queimadas. . . . . 157
8.2	Descrição da escala de valores de importância. . . . . 158

8.3	Pesos atribuídos para cada critério (FRQ = frequência de ocorrência de área queimada; TND = tendência de ocorrência de área queimada; AQN = área queimada padronizada; CAM = Formação campestre e; SAV = formação savânica). . . . .	158
8.4	Pesos derivados (FRQ = frequência de ocorrência de área queimada; TND = tendência de ocorrência de área queimada; AQN = área queimada padronizada; CAM = Formação campestre; SAV = formação savânica; e RC = razão de consistência). . . . .	159
A.1	<i>Odds ratio</i> das variáveis antropogênicas e intervalo de confiança (97,5%).	196
A.2	<i>Odds ratio</i> das variáveis ambientais e intervalo de confiança (97,5%). . . . .	200
C.1	Feições baseadas na área do lote utilizadas na árvore de decisão. . . . .	205
C.2	Matriz de confusão entre amostras de treinamento e amostras de teste utilizadas para classificação de ocupação de lotes em projetos de assentamentos de reforma agrária. . . . .	208

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Objetivos . . . . .	4
1.2 Estrutura da tese . . . . .	5
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>9</b>
2.1 Conceitos gerais . . . . .	9
2.2 Fogo, ecossistemas e fatores antrópicos . . . . .	12
2.3 Uso do fogo em práticas agropecuárias . . . . .	17
2.4 Modelagem de ocorrência de fogo e identificação de fatores associados . . . . .	19
<b>3 ÁREA DE ESTUDO</b> . . . . .	<b>31</b>
3.1 Matopiba . . . . .	31
3.2 Queimadas na região do Matopiba . . . . .	34
3.3 Projetos de assentamento localizados na região do Matopiba . . . . .	37
<b>4 FATORES ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS NA REGIÃO DO MATOPIBA, BRASIL</b> . . . . .	<b>41</b>
4.1 Introdução . . . . .	41
4.2 Material e métodos . . . . .	43
4.2.1 Área de estudo . . . . .	43
4.2.2 Dados utilizados . . . . .	43
4.2.3 Métodos . . . . .	44
4.2.3.1 Delimitação de sub-regiões da Região do Matopiba . . . . .	44
4.2.3.2 Banco de dados espacial de potencial fatores . . . . .	47
4.2.3.3 Modelo aditivo generalizado . . . . .	49
4.3 Resultados . . . . .	50
4.3.1 Regionalização . . . . .	50
4.3.2 Caracterização do período de queimadas . . . . .	53
4.3.3 Fatores associados à ocorrência de área queimada . . . . .	56
4.4 Discussão . . . . .	75
4.5 Considerações finais . . . . .	82

<b>5</b>	<b>OCORRÊNCIA DE ÁREA QUEIMADA EM PROJETOS DE ASSENTAMENTO NA REGIÃO DO MATOPIBA . . . . .</b>	<b>85</b>
5.1	Introdução . . . . .	85
5.2	Material e métodos . . . . .	87
5.2.1	Área de estudo . . . . .	87
5.2.2	Dados utilizados . . . . .	88
5.2.3	Métodos . . . . .	89
5.3	Resultados . . . . .	92
5.3.1	Área queimada em projetos de assentamento . . . . .	92
5.3.2	Frequência . . . . .	101
5.3.3	Tendência . . . . .	105
5.3.4	Categorização . . . . .	107
5.4	Discussão . . . . .	109
5.5	Considerações finais . . . . .	113
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DE FATORES RELACIONADOS AOS PROJETOS DE ASSENTAMENTO NO SUDOESTE DO MATOPIBA ASSOCIADOS A OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS . . . . .</b>	<b>115</b>
6.1	Introdução . . . . .	115
6.2	Material e métodos . . . . .	118
6.2.1	Área de estudo . . . . .	118
6.2.2	Dados e métodos utilizados . . . . .	119
6.3	Resultados . . . . .	122
6.4	Discussões . . . . .	125
6.5	Considerações finais . . . . .	127
<b>7</b>	<b>USO DO FOGO, INCÊNDIOS E OCUPAÇÃO DE LOTES: ANÁLISE DE PROJETOS DE ASSENTAMENTO NO SUDOESTE DO ESTADO DO TOCANTINS . . . . .</b>	<b>129</b>
7.1	Introdução . . . . .	129
7.2	Material e métodos . . . . .	131
7.2.1	Área de estudo . . . . .	131
7.2.2	Dados utilizados . . . . .	133
7.2.3	Métodos . . . . .	134
7.2.3.1	Classificação dos tipos de área queimada . . . . .	135
7.2.3.2	Classificação das formas de ocupação do lote . . . . .	137
7.2.3.3	Análises estatísticas . . . . .	139
7.3	Resultados . . . . .	139

7.3.1	Desmatamento e queimadas . . . . .	139
7.3.2	Classificação das formas de ocupação nos lotes . . . . .	142
7.4	Discussões . . . . .	148
7.4.1	Padrões de desmatamento e ocupação dos lotes . . . . .	148
7.4.2	Conectando classes de área queimada com ocupação dos lotes . . . . .	149
7.5	Conclusões . . . . .	153
<b>8</b>	<b>INDICADOR DE SUSCETIBILIDADE A QUEIMADA APLICADO AOS PROJETOS DE ASSENTAMENTO DA REGIÃO DO MATOPIBA . . . . .</b>	<b>155</b>
8.1	Introdução . . . . .	155
8.2	Material e métodos . . . . .	155
8.3	Resultado e discussão . . . . .	159
8.4	Considerações finais . . . . .	165
<b>9</b>	<b>DISCUSSÃO GERAL . . . . .</b>	<b>167</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>171</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>173</b>
	<b>APÊNDICE A: INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO 4 . . . . .</b>	<b>191</b>
A.1	Dependência espacial . . . . .	191
A.2	<i>Odds ratio</i> . . . . .	196
	<b>APÊNDICE B: INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO 6 . . . . .</b>	<b>203</b>
	<b>APÊNDICE C: INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO 7 . . . . .</b>	<b>205</b>
	<b>ANEXO A. . . . .</b>	<b>217</b>



# 1 INTRODUÇÃO

O fogo influencia processos e padrões das paisagens, incluindo estrutura e distribuição da vegetação, influenciando fortemente os ciclos biogeoquímicos, estando relacionado ao clima e às atividades humanas, sendo um componente fundamental no sistema terrestre (BOWMAN et al., 2009; HARRISON et al., 2010).

No Brasil, a ocorrência de fogo nos biomas tem sido temática recorrente de discussões em função dos impactos ambientais e socioeconômicos gerados. Entre os impactos ambientais da ocorrência de queimadas, está a redução do estoque de carbono na vegetação, aumento da emissão de dióxido de carbono na atmosfera, das taxas de evapotranspiração e da emissão de ondas longas, resultando em aumentos de temperatura, contribuindo para mudanças climáticas (IPCC, 2014).

Andela et al. (2017) reportaram que a área global queimada diminuiu em torno de  $24,3 \pm 8,8\%$  no período de 1998 a 2015, entretanto algumas regiões não acompanharam esse declínio. Em áreas com atividades intensivas de agricultura e pecuária, observa-se menor ocorrência de área queimada, pois o manejo agrícola reduz as cargas de combustível e/ou altera as decisões relativas ao uso e manejo do fogo. Entretanto, no Brasil esse avanço tecnológico na produção agropecuária não foi adotado uniformemente com a mesma intensidade e modalidade em todas as regiões e o fogo ainda persiste atrelado a essas atividades.

Nas práticas agropecuárias, o uso do fogo é realizado, muitas vezes, de forma controlada para atingir os objetivos do manejo, entretanto, quando o fogo sai de controle, ocorrem os incêndios. Tanto o uso do fogo de forma controlada como a ocorrência dos incêndios, em diferentes intensidades, causam impactos de curto a longo prazo, na saúde e bem-estar das populações humanas (CONCEIÇÃO et al., 2020) e causam prejuízos sociais e econômicos (SOARES; PEIXINHO, 2020).

Regiões de fronteiras agrícolas têm se destacado pelas elevadas taxas de desmatamento e ocorrência de fogo. Uma das regiões de fronteira agrícola que tem despondido nos últimos anos no Brasil é a região do Matopiba, onde ocorre principalmente a expansão de cultivo de grãos. Essa região compreende parte dos estados do Maranhão, do Piauí e da Bahia e por todo o território do estado do Tocantins e seu nome é um acrônimo formado pelas siglas dos quatro estados que a compõem.

A região do Matopiba, que ocupa 30% da área total do bioma Cerrado, apresentou 57% da incidência de fogo nesse bioma no período de 2000 a 2018 (SCHMIDT;

ELOY, 2020). O uso do fogo associado ao desmatamento para abertura de áreas para agricultura e ao seu escape para áreas de vegetação nativa, sem manejo do fogo, têm sido apontados como as principais causas. Dessa grande incidência de fogo, as maiores contribuições são dos estados do Tocantins e do Maranhão, representando, em média, 50% e 32% da área queimada no Matopiba no período de 2001 a 2017, respectivamente (SILVA et al., 2020).

Embora a região do Matopiba tenha sido delimitada em função da expansão agrícola altamente tecnificada, é uma região com diversificada formas de ocupação. Além dos imóveis rurais privados, há presença de diferentes categorias fundiárias como unidades de conservação, terras indígenas, territórios quilombolas e projetos de assentamento.

As diferentes categorias fundiárias diferem no tipo de manejo e limitações de uso do fogo. Embora seja potencialmente causador de impactos negativos, o uso do fogo é uma prática cultural realizada por indígenas, comunidades tradicionais e agricultores (PIVELLO, 2011). Também pode ser um componente de regulação da biodiversidade e da estrutura em ecossistemas dependentes do fogo, como o Cerrado (SIMON et al., 2009; SIMON; PENNINGTON, 2012), bioma que representa 86,1% da área do Matopiba. Assim, a proibição irrestrita do uso do fogo pode acarretar em ameaça à segurança alimentar das populações que o utilizam para agricultura de subsistência (ANDERSON et al., 2019) e impactar a biodiversidade. As queimadas prescritas contribuem para evitar incêndios florestais descontrolados, auxiliando na manutenção dos tipos de vegetação aberta e sua biodiversidade como elementos fundamentais que compõem o mosaico de fitofisionomias presentes no Cerrado (DURIGAN et al., 2020). Tais características associadas ao uso e ocorrência de fogo trazem desafios sócio-ambientais e econômicos para estabelecer políticas mais eficazes para o controle e manejo do fogo.

Em projetos de assentamento, que se caracterizam pelos conjuntos de unidades agrícolas (denominadas lotes) destinadas às famílias de produtores rurais sem condições econômicas de adquirir um imóvel rural (INCRA, 2021c), o fogo é utilizado nas práticas agrícolas, como limpeza de área para cultivo e renovação de pastagens (ASSUNÇÃO et al., 2017). Seu uso é permitido desde que autorizado por órgãos ambientais competentes (BRASIL, 2012). Entretanto, o uso descontrolado do fogo dentro e fora dos limites autorizados ocasionam os incêndios, que afetam a vida das pessoas no campo, causando impactos econômicos, sociais e ambientais, ameaçando seus meios de subsistência, saúde e segurança alimentar.

De maneira geral, [Vázquez-Varela et al. \(2022\)](#) apontam haver lacunas existentes nas pesquisas atuais sobre queimadas entre as populações não indígenas. No Cerrado e na Amazônia, alguns estudos registraram a ocorrência de queimadas em projetos de assentamento. [Lazzarini et al. \(2012\)](#) estudaram a distribuição dos focos no estado do Tocantins e identificaram que houve em média 53 focos de queima/km<sup>2</sup> em projetos de assentamento no período de 2002 a 2011, superando demais áreas com intensa utilização humana. [Schneider e Peres \(2015\)](#) compararam a incidência de fogo e as taxas de desmatamento antes e depois da criação dos assentamentos, identificando aumento da incidência nos primeiros anos após a criação. [Silva et al. \(2018\)](#) e [Silva et al. \(2021\)](#) analisaram áreas queimadas no estado do Acre e constataram que, no período de 1984 a 2016, 43% das áreas queimadas ocorreram em projetos de assentamento, e no intervalo de 2016 a 2018, esse número caiu para 31%. Também no estado do Acre, [Anderson et al. \(2017\)](#) fizeram uma análise espaço-temporal da ocorrência de focos de calor entre 2000 a 2014, e identificaram que 34% estavam em projetos de assentamentos. A maioria desses trabalhos não têm como foco principal os projetos de assentamento, mas um contexto estadual de ocorrências de fogo. Existem poucos estudos sobre essa temática, especificamente em projetos de assentamento e na região do Matopiba que se aprofundem nos fatores associados a essa prática e seu padrão espaço-temporal de ocorrência. Além disso, há uma lacuna de trabalhos em escala local que analisam como ocorrem as queimadas ao nível dos lotes de cada família assentada, com o olhar para dentro dos projetos de assentamento.

Assim, a abordagem da presente tese considera uma abordagem multi-escala. A análise restrita a escalas locais não consideraram o fogo que surge fora de seus limites bem como fatores regionais; por outro lado, a análise em escalas regionais não consideraram os padrões locais de variabilidade espacial e temporal, bem como a motivação pelo uso do fogo e por medidas de prevenção e controle. No desafio de compreender a ocorrência de queimadas em projetos de assentamento, a hipótese geral deste trabalho é de que para a identificação de fatores e padrões espaço temporais de ocorrência do fogo em projetos de assentamento no Matopiba é necessário utilizar uma análise através de diferentes escalas. Pois, uma vez que o fogo não respeita limites administrativos e pode se propagar de forma diferenciada conforme os contextos socioambientais e econômicos.

Nesse contexto, a presente tese visa responder as seguintes questões: 1) quais fatores ambientais e antrópicos estão associados a ocorrência de área queimada na região do Matopiba? 2) Há um padrão espacial e temporal de ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamentos? 3) Quais usos e cobertura da terra e quais fatores

relacionados à criação e desenvolvimento dos projetos de assentamentos são associados à ocorrência de área queimada? 4) Como ocorre o processo de ocupação do lote (através de pequenos ou geométricos padrões de desmatamento, ocupação total do lote ou sem ocupação) e onde ocorrem as diferentes classes de área queimada (incêndios e queima controlada) considerando as diferentes classes de ocupação do lote?

Para responder a essas questões, exploramos três escalas de análise: (1) região do Matopiba: onde analisou-se os fatores associados à ocorrência de queimadas, considerando a presença de projetos de assentamentos como um dos fatores potenciais; (2) projetos de assentamento: onde analisou-se a dinâmica espacial e temporal da ocorrência de queimadas; e identificou-se quais usos e cobertura da terra e quais fatores relacionados à criação e desenvolvimento dos projetos de assentamento são associados a esse fenômeno; e (3) lotes dos projetos de assentamento: onde analisou-se padrões de desmatamento como proxy de diferentes tipos de ocupação e sua associação com queimas controladas e incêndios. Por fim, considerando os resultados obtidos nas diferentes escalas de análise, foram selecionados critérios relacionados à ocorrência de área queimada e gerado um indicador de suscetibilidade a queimadas para projetos de assentamento. Posteriormente, um painel com a visualização do indicador foi criado visando dar subsídios para a seleção de projetos de assentamento prioritários para ações de gestão e prevenção de incêndios para região do Matopiba.

## 1.1 Objetivos

Esta tese teve como objetivo avaliar e modelar a ocorrência de queimadas e incêndios em projetos de assentamento localizados no Matopiba por meio de estudo multi-escala de fatores ambientais e socioeconômicos. Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- identificar os fatores ambientais e antropogênicos associados à ocorrência de área queimadas na região do Matopiba;
- analisar a dinâmica espaço-temporal da ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamentos de reforma agrária na região do Matopiba;
- avaliar quais usos e cobertura da terra e quais fatores relacionados à criação e desenvolvimento dos projetos de assentamento são associados à ocorrência de área queimada;
- identificar e classificar as áreas queimadas, que ocorrem nos lotes, em in-

cêndios e queimadas controladas;

- classificar os lotes de três projetos de assentamento conforme formas de ocupação (através de pequenos ou geométricos padrões de desmatamento, ocupação total do lote ou sem ocupação);
- avaliar associação entre tipos de queimada e formas de ocupação nos lotes de projetos de assentamento;
- construir um indicador de suscetibilidade às queimadas para projetos de assentamento;
- construir um painel para visualização do indicador de suscetibilidade às queimadas para monitoramento de projetos de assentamento.

## 1.2 Estrutura da tese

A presente tese está estruturada da seguinte maneira: após a introdução (Capítulo 1), no Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica, que discorrerá sobre os conceitos relacionados ao fogo, sua relação com os ecossistemas e atividades agrícolas, e por fim, uma revisão bibliográfica sobre o uso de modelagem de ocorrência de fogo. No Capítulo 3, a área de estudo é descrita com informações gerais sobre a região do Matopiba, sobre as queimadas e sobre os projetos de assentamento localizados nessa região.

Os demais capítulos estão organizados conforme a escala de análise, partindo da escala regional do Matopiba (Capítulo 4), passando pela análise dos projetos de assentamento (Capítulos 5, 6 e 8) e posterior análise, em escala local, dentro de projetos de assentamento, nos lotes e sua ocupação (Capítulo 7). Sendo organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 4: uso de modelos aditivos generalizados para identificar fatores associados à área queimada para a região do Matopiba;
- Capítulo 5: análise espaço-temporal da ocorrência de área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba;
- Capítulo 6: uso de modelos aditivos generalizados para identificar fatores relacionados aos projetos de assentamento associados à área queimada;

- Capítulo 7: extração e análise de padrões de desmatamento como *proxy* de formas de ocupação e classificação dos lotes; classificação de áreas queimadas, que ocorrem nos lotes, em incêndios e queimas controladas; e análise da associação entre as classes de queimadas e as formas de ocupação nos lotes;
- Capítulo 8: proposta de um indicador de suscetibilidade à queimadas aplicado a projetos de assentamento da região do Matopiba; e a apresentação de um painel em aplicação web para visualização e seleção de áreas prioritárias.

Nos Capítulos 9 e 10 são apresentadas, respectivamente, as discussões gerais e as conclusões obtidas.

A estrutura da tese está esquematizada na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Estrutura do documento de tese conforme a escala de análise.





## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

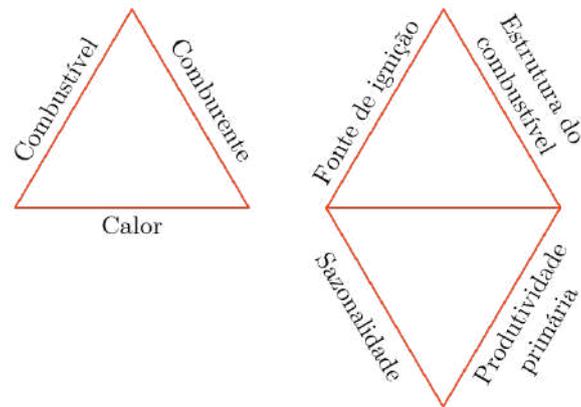
As queimadas e incêndios que ocorrem em projetos de assentamento de reforma agrária são a temática principal da presente tese que visa compreender os aspectos relacionados ao fogo. Nesta seção são apresentados os principais conceitos relacionados à ocorrência de fogo e sua relação com os ecossistemas, atividades humanas e os principais usos agropecuários. Também é apresentada uma revisão da literatura sobre modelagem de ocorrência de fogo no Brasil e os principais fatores ambientais e socioeconômicos associados a essa ocorrência.

### 2.1 Conceitos gerais

O uso do fogo para fins agropecuários visa uma área específica e, em geral, pressupõe-se, em seu uso, o controle da queimada. Entretanto, pode sair do controle e atingir a vegetação nativa de forma mais intensa, causando incêndios. Os incêndios não se limitam às áreas de vegetação nativa, podendo se propagar e atingir áreas com cultivos agrícolas, pastagens, infraestruturas e demais áreas inflamáveis. Os incêndios não se restringem somente ao escape do fogo devido ao uso agrícola, podendo ser resultantes de ações de incendiários, atividades recreativas, práticas de caça, entre outros (SANT'ANNA et al., 2001). Já a queima prescrita, que ocorre principalmente em unidades de conservação e terras indígenas, também é feita de forma controlada, é utilizada com objetivo de conservação da biodiversidade em ecossistemas dependentes do fogo.

Para ocorrência de fogo são necessários três elementos que formam o chamado “triângulo do fogo”: comburente, combustível e calor. Adicionalmente, Pausas e Keeley (2009) definem condições ecológicas necessárias para a ocorrência de incêndios que envolvem quatro parâmetros específicos (Figura 2.1): (1) produtividade primária, que corresponde à produção de combustível necessária para a propagação do fogo; (2) sazonalidade climática, requerida para converter combustível potencial para combustível disponível, podendo ocorrer em ciclos anuais, bianuais ou em mais anos com condições de seca; (3) frequência de ignição; e pela (4) estrutura do ecossistema que influenciará os tipos de incêndios que podem ocorrer.

Figura 2.1 - Triângulo do fogo e condições ecológicas para sua ocorrência em ecossistemas.



Fonte: Adaptado de Pausas e Keeley (2009).

O termo regime de fogo é usado para descrever múltiplas características da ocorrência do fogo, essas características estão descritas na Tabela 2.1. A estrutura e composição da vegetação, as características do combustível como quantidade, tipo, teor de umidade e continuidade, bem como as condições climáticas e meteorológicas, deficit hídrico sazonal e topografia afetam as características e o regime de fogo.

Tabela 2.1 - Conceitos relacionados ao regime de fogo.

<b>Conceito</b>	<b>Descrição</b>
1. Consumo de combustível e propagação do fogo	Taxa de queima de combustível que pode ser lenta ou rápida conforme o tipo de incêndio, sendo influenciada pela flamabilidade da vegetação e da quantidade de biomassa.
2. Intensidade	Liberação de energia medida pela extensão da chama e pela taxa de propagação.
3. Severidade	Medida de impacto no ecossistema, podendo ser medido pela mortalidade de árvores ou quantidade de biomassa consumida pelo fogo.
4. Frequência	Número de ocorrência de incêndio em determinada área durante determinado período. O intervalo de retorno de fogo é o tempo entre incêndios em determinado local.
5. Estação ou período do ano	Estação ou período do ano em que ocorrem as ignições.

Fonte: Adaptado de [Bond e Keeley \(2005\)](#).

Alterações no regime de fogo vem causando impactos negativos aos sistemas sociais e ecológicos. As atividades antrópicas alteram o regime de fogo de várias maneiras, modificando o uso e cobertura da terra, modificando a estrutura e a continuidade das áreas de vegetação, sendo responsável pela ignição de poucos ou muitos focos de queima em diferentes estações do ano sob diversas condições climáticas ([BOWMAN et al., 2011](#)).

A definição de um regime ideal é complexa e há uma dificuldade em definir um regime de fogo dito 'natural' sem a influência de atividades antrópicas, devido à dificuldade de estabelecer qual paisagem de fato não sofre interferência humana ([PAUSAS; KEELEY, 2009](#)).

De forma sintetizada, a Tabela 2.1 apresenta os principais conceitos utilizados na presente tese.

Tabela 2.2 - Glossário de conceitos utilizados na presente tese.

Conceito	Descrição
1. Área queimada/queimadas	Área que teve a passagem do fogo, independente de se tratar de queimadas controladas ou prescritas, ou de incêndios.
2. Queima controlada	Uso do fogo para fins agropecuários visa uma área específica e, em geral, pressupõe-se, em seu uso, o controle da queimada.
3. Queima prescrita	Uso do fogo de forma controlada utilizado com objetivo de conservação da biodiversidade em ecossistemas dependentes do fogo.
4. Incêndios	Fogo fora de controle que pode atingir áreas de vegetação nativa, podendo se propagar e atingir áreas com cultivos agrícolas, pastagens, infraestruturas e demais áreas inflamáveis.
5. Foco de calor (ou de queima)	Indicação da existência de fogo determinadas por sensores remotos, mas a correspondência entre o foco e a ocorrência de queimadas não é direta, já que considera dados de temperatura.

## 2.2 Fogo, ecossistemas e fatores antrópicos

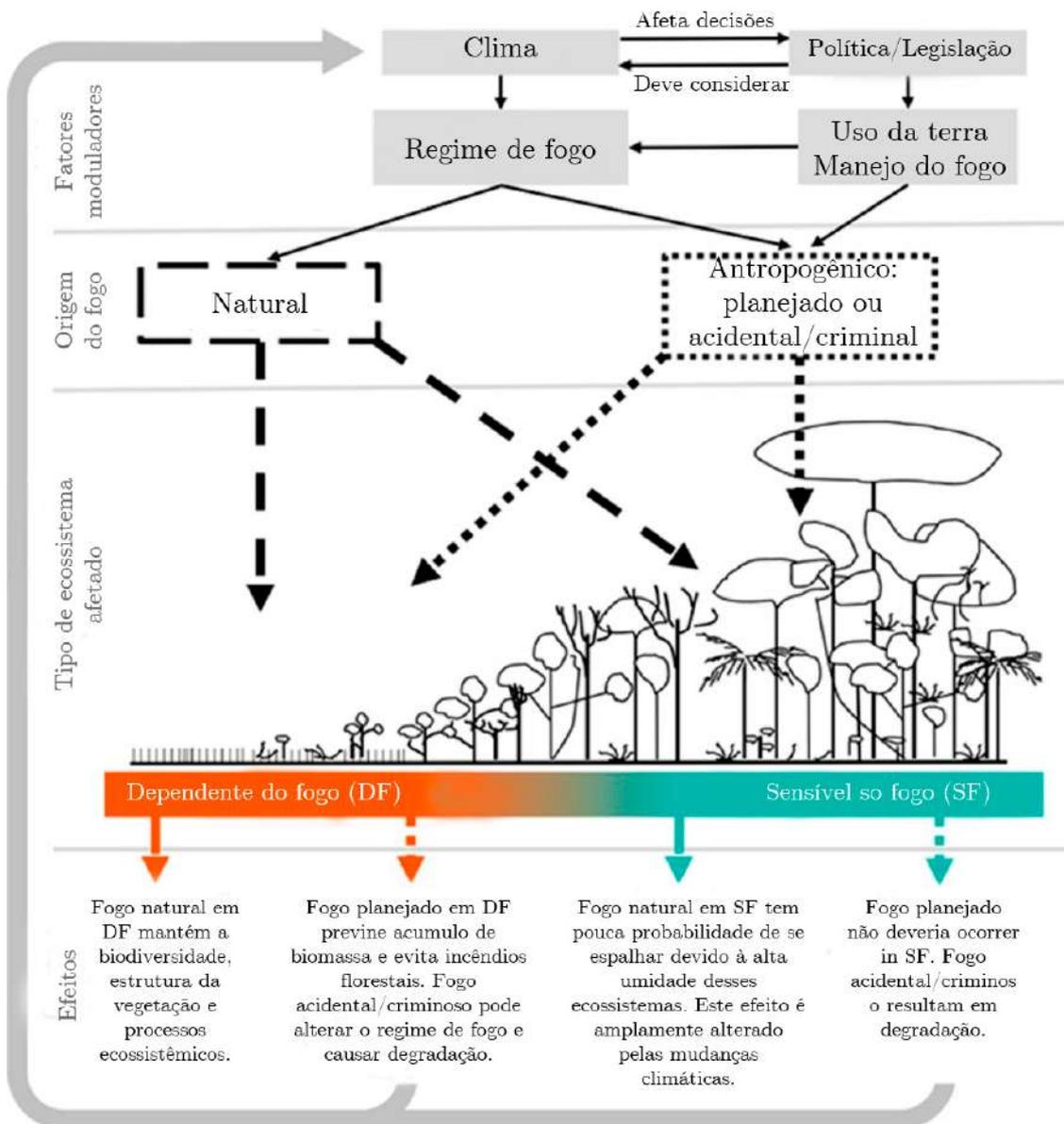
Como exposto na seção anterior, os diferentes ecossistemas apresentam diferentes relações com o fogo, sendo definidos por [Hardesty et al. \(2005\)](#) como: (1) dependentes/influenciados pelo fogo: são os ecossistemas que evoluíram com o fogo, apresentando espécies com capacidade de resiliência e recuperação com a passagem do fogo; (2) sensíveis ao fogo: em que a vegetação não possui mecanismos de adaptação ao fogo; e (3) independentes do fogo: são os locais onde o fogo raramente ocorre em função de condições climáticas desfavoráveis, ou de não apresentarem material combustível disponível, ou suficiente para queima. A Figura 2.2 apresenta os principais efeitos da ocorrência de fogo natural, planejado e acidental/criminoso nos ecossistemas.

De maneira geral, entre os biomas brasileiros, o Cerrado, o Pantanal e o Pampa são classificados como dependentes/influenciados pelo fogo, a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica, como sensíveis ao fogo, e a Caatinga, como independente do fogo.

Cada bioma apresenta diferentes padrões de incidência de fogo em função de suas características ecossistêmicas, pelas condições climáticas e pelos tipos de uso da terra presentes ([ALVES; ALVARADO, 2019](#)), sendo influenciados por diferentes fatores

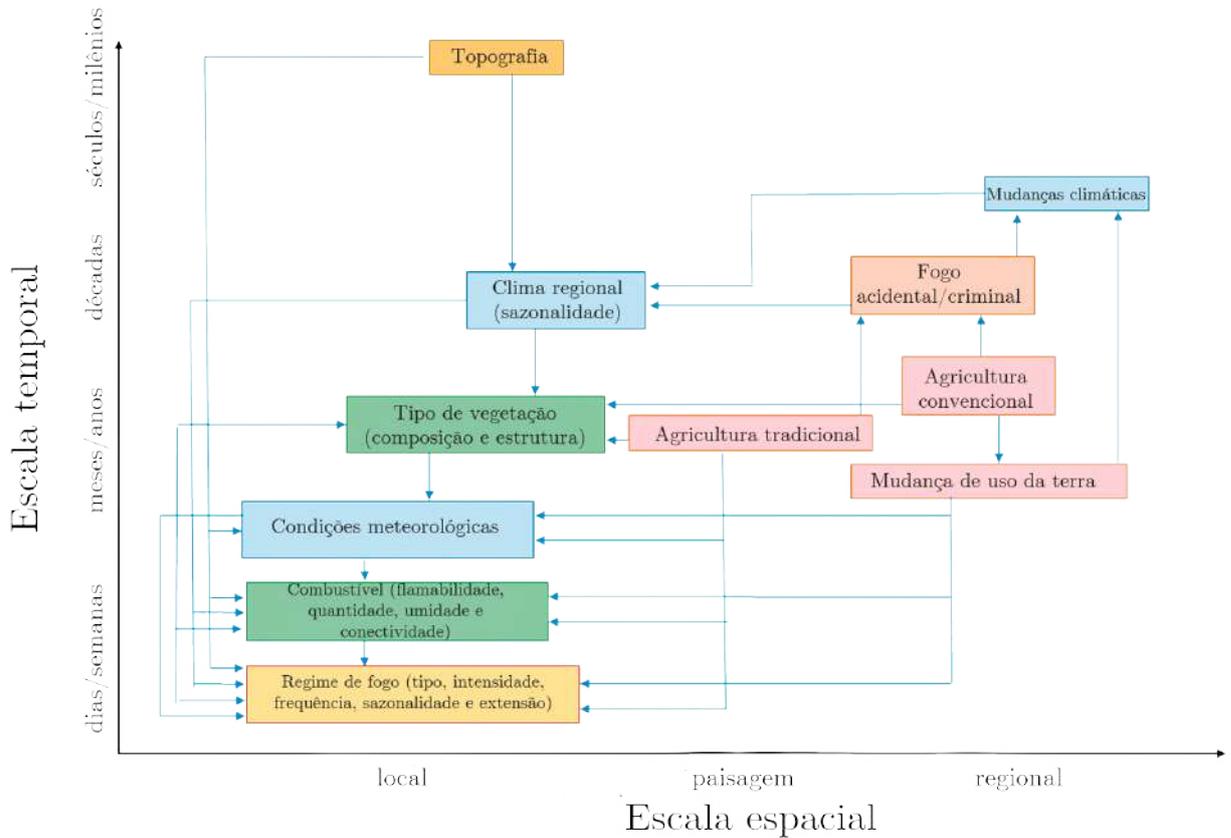
em diferentes escalas (Figura 2.3).

Figura 2.2 - Características dos ecossistemas e os efeitos da ocorrência do fogo natural, planejado e acidental/criminoso.



Fonte: Adaptado de Pivello et al. (2021).

Figura 2.3 - Principais fatores que podem influenciar o regime de fogo conforme a escala temporal e espacial.



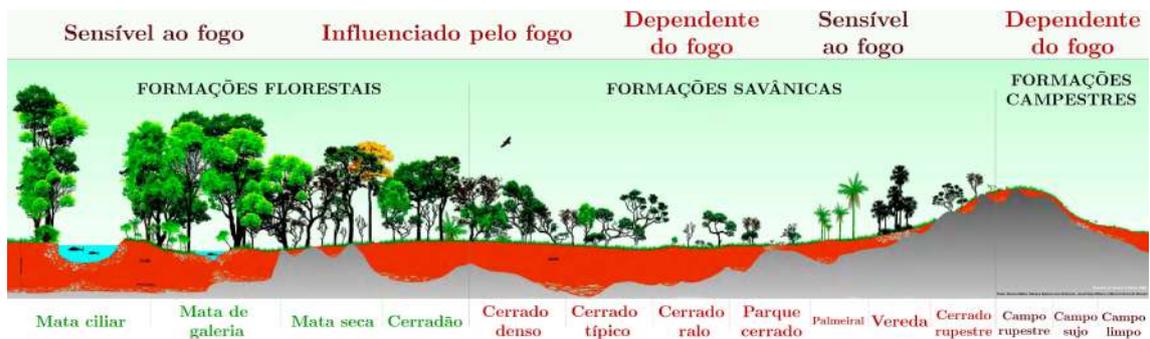
Fonte: Adaptado de Pivello et al. (2021).

Classificado como dependente/influenciado pelo fogo, o bioma Cerrado evoluiu associado ao fogo, sendo um bioma formado por um mosaico de fitofisionomias caracterizadas por uma diversidade de flora e fauna resultantes, dentre outros fatores, da ocorrência de queimadas (SIMON et al., 2009; SIMON; PENNINGTON, 2012). As queimadas de origem natural são causadas por raios como fonte de ignição, mas a grande maioria das ignições são causadas por atividades humanas (PIVELLO, 2011).

A classificação em relação à sensibilidade ao fogo ao nível de bioma é realizada com base no tipo de vegetação predominante, entretanto, em um mesmo bioma há di-

ferentes tipos de vegetação com diferentes sensibilidades ao fogo, como ocorre com as fitofisionomias do Cerrado (Figura 2.4). Os ecossistemas mais inflamáveis têm abundância de combustível fino, de fácil ignição, próximo ao solo e muito seco, característico das formações campestres e savânicas que estão sujeitas a secas sazonais. Por outro lado, nas formações florestais, a maior densidade das árvores desfavorece a presença de gramíneas, e conseqüentemente, diminui o sucesso da ignição, a taxa de propagação, a intensidade da linha de fogo e a altura da chama (NEWBERRY et al., 2020).

Figura 2.4 - Sensibilidade ao fogo pelas diferentes fitofisionomias do Cerrado.



Fonte: Adaptado de Ribeiro e Walter (2008), Berlinck e Lima (2021).

Nos últimos 50 anos, os incêndios no bioma Cerrado se concentraram no final da estação seca e passaram a ocorrer com maior frequência, a cada dois ou três anos, causando sérios danos à vegetação sensível ao fogo (SCHMIDT; ELOY, 2020), reduzindo a possibilidade de controle. As queimadas realizadas no final da estação seca apresentam maior intensidade, maior calor liberado, maior fator de combustão e maior altura da chama conforme queimas experimentais realizadas no meio e no final da estação seca na região do Jalapão, Estado do Tocantins (SANTOS et al., 2021).

No final da estação seca, os incêndios causam maior mortalidade de árvores (MIRANDA et al., 2010), degradação do solo e perda geral de biodiversidade (PIVELLO, 2011). Diversas espécies se reproduzem nessa época e a ocorrência do fogo reduz a capacidade do ecossistema de fornecer recursos para polinizadores e dispersores de sementes (BERLINCK; BATISTA, 2020).

Incêndios sucessivos podem ocasionar menor disponibilidade de combustível e com isso controlar os efeitos do vento, da temperatura do ar e da própria carga de combustível. Entretanto, pequenos aumentos nesses fatores podem impulsionar a rápida propagação do fogo (SANTOS et al., 2021). A redução de combustível com queima anual pode servir para evitar o fogo perto de assentamentos humanos, entretanto impactam negativamente a vegetação nativa e o solo (RODRIGUES et al., 2021).

Por outro lado, a exclusão do fogo nos biomas que dependem dele, como o Cerrado, pode trazer impactos negativos para a biodiversidade e contribuir para o acúmulo de biomassa que torna a vegetação mais suscetível a incêndios mais intensos (FIDELIS et al., 2018; BERLINCK; BATISTA, 2020; FIDELIS, 2020; DURIGAN; RATTER, 2016; DURIGAN, 2020). Nesse contexto, a utilização de queima prescrita visando conservação ambiental apresenta resultados positivos com a alta resiliência da biota do Cerrado ao fogo, não impactando a biodiversidade de fauna e flora (DURIGAN et al., 2020). Da mesma forma, o manejo de pasto nativo com fogo que cria padrões de mosaico, com pequenas áreas queimadas em diferentes tipos de vegetação é realizado em diferentes períodos. Este tipo de manejo, além da renovação do pasto, contribui para conservação da biodiversidade e auxilia na prevenção de incêndios florestais (ELOY et al., 2019).

No bioma amazônico, por definição uma floresta úmida, a ocorrência de queimadas e incêndios florestais é dificultada por características ecológicas e fisionômicas da floresta que coloca naturalmente uma barreira ao fogo, sendo as duas principais: (1) estrutura arbórea, pois o material combustível localizado nos caules lenhosos demandam mais tempo de contato com o fogo para queimar do que as folhas secas; e (2) microclima úmido e sombreado, dificultando a ignição pela umidade do material (NEPSTAD et al., 1999).

Entretanto, três condições invertem essa ordem natural do bioma (ALENCAR et al., 2020): (1) combustível: material seco no chão da floresta, como ocorre em florestas próximas a áreas desmatadas, que faz com que a vegetação próxima à borda perca a umidade, em vários metros mata adentro, tornando a floresta mais vulnerável a incêndios; (2) condições climáticas: em épocas de seca as florestas perdem mais folhas aumentando o material combustível no chão e diminuindo a cobertura do dossel, propiciando alterações no microclima; (3) fontes de ignição: através do uso do fogo associado ao desmatamento, manutenção de pastagem e limpeza de área agrícola, que podem sair do controle e atingir áreas mais vulneráveis da floresta.

Em um bioma classificado como independente do fogo como a Caatinga, a ocorrência

de fogo é associada à agricultura de pequena escala e tem, comparativamente com os demais biomas brasileiros, apresentando menores ocorrências de áreas queimadas. Em análise de dados de área queimada, com base no produto MCD64A1 v006 <sup>1</sup>, no período de 2001 a 2018, [Alves e Alvarado \(2019\)](#) identificaram que a Caatinga registrou 2,25% do total de área queimada entre os biomas brasileiros.

Na presente tese, os capítulos que analisam a região do Matopiba

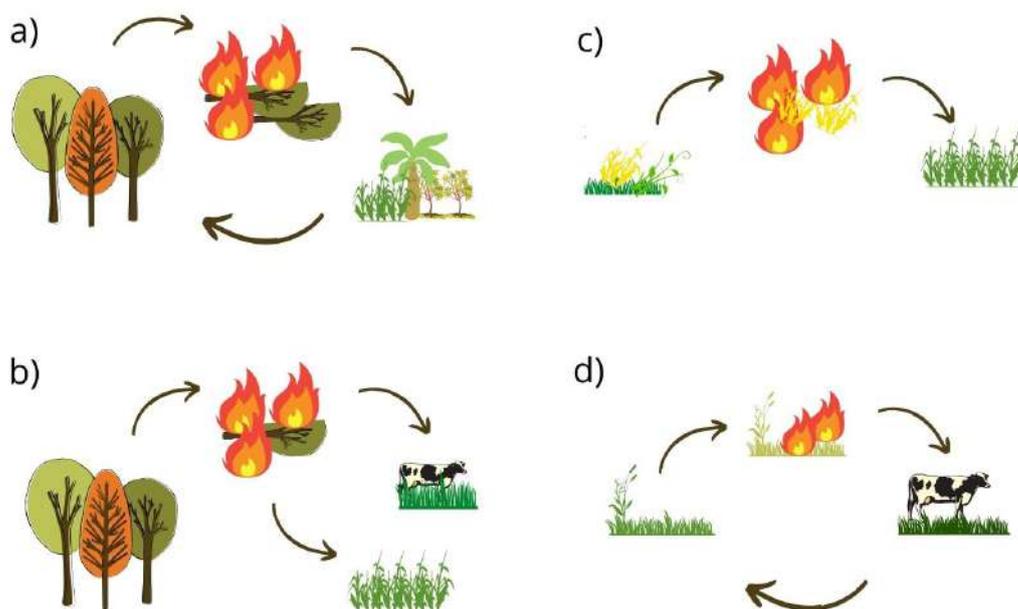
### **2.3 Uso do fogo em práticas agropecuárias**

O fogo tem sido utilizado por produtores rurais devido ao seu baixo custo, disponibilidade e possibilidade de aplicação em grandes extensões de área ([MISTRY, 1998](#); [LARA et al., 2007](#); [RODRIGUES et al., 2016](#)). As principais práticas agropecuárias que utilizam o fogo no bioma Cerrado são (Figura 2.5): limpeza de área com queima de resíduos de vegetação nativa em sistema de pousio; queima associada ao desmatamento, com a queima de resíduos como troncos, galhos e folhas para preparação do terreno para cultivo; estímulo da rebrota de gramíneas nativas para alimentação de gado; e queima de resíduos de cultivos e limpeza de pasto.

---

<sup>1</sup>produto de áreas queimadas da série MODIS com resolução espacial de 500m.

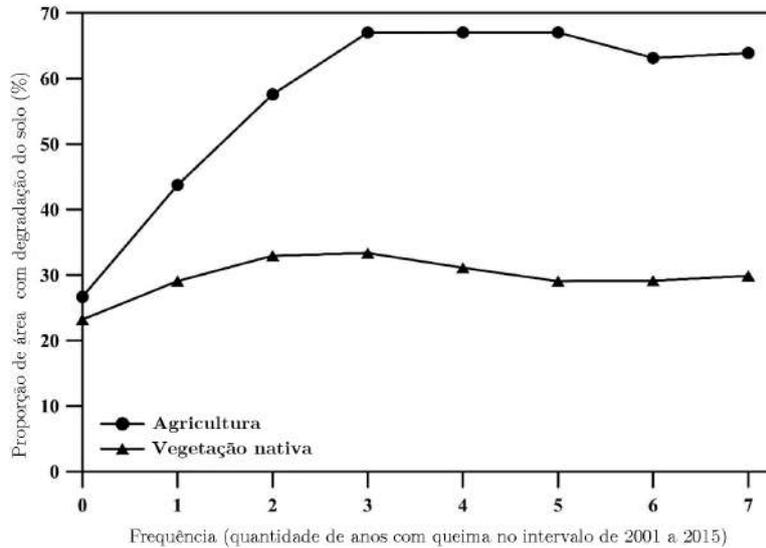
Figura 2.5 - Uso do fogo nas práticas agropecuárias.



a) Uso do fogo para queima da vegetação nativa para implantação de cultivos agrícolas em sistema de pousio; b) Após desmatamento, o fogo é utilizado para limpeza de área visando implantação de pastagem ou monocultura; c) Uso do fogo para queima de resíduos de cultivo e limpeza de área para novo plantio; e d) Manejo de pastagem com uso do fogo para estímulo de rebrota de gramíneas.

A frequência de utilização do fogo em áreas agrícolas, embora possa parecer trazer efeitos benéficos a curto prazo, pode ocasionar a degradação do solo a longo prazo. Em estudo realizado no sudoeste do Estado do Piauí (SOUZA et al., 2020a), foi observado aumento da proporção de áreas com degradação do solo com o aumento da frequência de fogo em áreas agrícolas, o que não foi observado em áreas de vegetação nativa que apresentaram uma proporção menor (Figura 2.6).

Figura 2.6 - Relação entre proporção de áreas com degradação do solo em áreas agrícolas e de vegetação nativa e a frequência de fogo.



Fonte: Adaptado de Souza et al. (2020a).

## 2.4 Modelagem de ocorrência de fogo e identificação de fatores associados

A preocupação com os impactos negativos dos incêndios florestais desencadeou o desenvolvimento de modelos de predição e de identificação de fatores associados à sua ocorrência. Sendo a modelagem, um procedimento que envolve um conjunto de técnicas de modo a compor um quadro simplificado via representações do mundo real (CHRISTOFOLETTI, 1999). Costafreda-Aumedes et al. (2017) realizaram um levantamento dos principais modelos utilizados em estudos de modelagem de ocorrência de fogo no mundo, sendo os principais: (1) regressão logística, para variáveis respostas binárias; (2) regressão de Poisson, para variáveis resposta de contagem; e (3) regressão linear múltipla.

Para compreender os principais modelos utilizados para identificação de fatores associados a queimadas, foi realizada busca na plataforma *Scopus* de artigos publicados entre 2017 a 2023. A busca considerou a seguinte expressão no campo de busca para títulos, abstract e palavra-chave.: "model\*"and "fire"and "brasil OR brazil". A busca retornou inicialmente 198 documentos. Após desconsiderar artigos que não faziam

referência explícita à modelagem e a identificação de fatores associados, foram selecionados 21 artigos para revisão. Os principais modelos utilizados, seus objetivos e os fatores associados ao fogo são descritos na Tabela 2.3

Dos artigos analisados, 43% realizaram análises em escala ao nível estadual, seguido por 24% ao nível de unidade de conservação ou terras indígenas. A maioria dos estudos teve como principal objetivo a identificação de fatores associados ao fogo (67%), e os demais estudos (33%) tiveram como objetivo principal a construção de modelos preditivos de ocorrência de fogo ou comparação entre modelos. Vários modelos foram utilizados, entre a abordagem de aprendizado de máquina, sendo os mais utilizados floresta aleatória (*Randon Forest*) com 24%, seguido por Entropia Máxima (MaxEnt) com 14%, e entre as abordagens estatísticas foram regressão linear com 24% e modelos lineares generalizados com 19%. Entre os principais fatores ambientais associados à ocorrência de queimadas apontados pelos artigos analisados estão: anomalias climáticas, com maior duração da estação seca, menor volume de precipitação e altas temperaturas. Também foram apontadas áreas com maior altitude e presença de vegetação inflamável, como em vegetação campestre, áreas alagadas e vegetação secundária. Para áreas com floresta, a relação é inversa, com menor ocorrência de queimadas. Entre os fatores antropogênicos estão a proximidade a estrada e as áreas urbanas, áreas com pastagens, áreas agrícolas e áreas recém desmatadas. Também apontam áreas de projetos de assentamento e regiões com valores maiores de Índice de Gini e de Índice de Desenvolvimento Humano como associados às queimadas. Unidades de conservação e terras indígenas nesses estudos apresentam relação inversa, com menor ocorrência de queimadas.

Considerando os estudos realizados no bioma Cerrado, foram 10 (48%) estudos. Os modelos mais utilizados foram floresta aleatória (*Randon Forest*) (3 estudos), modelo linear generalizado (2 estudos) e regressão linear (2 estudos). Os principais fatores ambientais apontados como associados a queimadas foram a precipitação (5 estudos) e a altitude (3). Já para fatores antropogênicos, a presença de pastagem foi apontado em 3 estudos.

Tabela 2.3 - Síntese de estudos de modelagem e fatores associados a ocorrência de fogo no Brasil publicados no período de 2017 a 2023.

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área /Período de estudo	Fatores/resultados principais	Referência
Avaliar a relação entre área queimada e índices meteorológicos de risco de fogo nos biomas brasileiros	Modelo linear generalizado	<b>Área de estudo:</b> Biomas brasileiros; <b>Período de estudo:</b> 2002 a 2011	<b>Fatores ambientais:</b> relação positiva entre a seca, identificada através de índices meteorológicos, e o aumento de área queimada. Quanto maior o período sem chuvas, maior ocorrência de área queimada. A relação entre a sazonalidade das chuvas e área queimada ocorre com maior acurácia na Amazônia e no Cerrado, e com menor acurácia na Caatinga e na Mata Atlântica.	Nogueira et al. (2017)
Avaliar a variação e distribuição interanual de área queimada e sua associação com fatores climáticos e tipo de vegetação	Regressão linear	<b>Área de estudo:</b> Parque Nacional da Serra do Cipó e Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, Estado de Minas Gerais; <b>Período de estudo:</b> 1984 a 2014	<b>Fatores ambientais:</b> duração da época seca e distribuição de chuva na época seca foram associadas à ocorrência de fogo. Quanto maior período de seca e com menos chuva, a ocorrência de focos de queimadas é maior.	Alvarado et al. (2017)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
Construir um modelo de probabilidade de incêndio com fatores climáticos e antropogênicos	Entropia Máxima (MaxEnt)	Estado de Roraima; <b>Período de estudo:</b> 2015 a 2016	<b>Fatores ambientais:</b> anomalias climáticas, como a ocorrência do <i>El niño</i> , tem relação positiva com a ocorrência de focos de queimadas; <b>Fatores antropogênicos:</b> a distância de estradas teve relação negativa devido à proximidade de estradas permitirem o acesso, influenciando na ocorrência de ignição de origem antropogênica; e a vegetação secundária teve relação positiva com a ocorrência de focos de queimada, pois é caracterizada por copa baixa e aberta, sendo mais propensas ao fogo, principalmente nos anos iniciais e em anos mais secos.	Fonseca et al. (2017)
Identificar qual categoria fundiária está associada a maior ocorrência de focos de calor e qual a tendência da ocorrência de focos de calor nas diferentes categorias	Regressão múltipla	linear <b>Área de estudo:</b> Estado do Acre; <b>Período de estudo:</b> 2000 a 2014	<b>Fatores antropogênicos:</b> 39% do total de focos de calor detectados estavam localizados em projetos de assentamentos, 26% em áreas particulares, 16% em áreas discriminadas, 10% em unidades de conservação e menos 2% em terras indígenas. Todas as categorias apresentaram significância na tendência de aumento de focos de incêndios.	Anderson et al. (2017)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
Comparar dois modelos e estimar o risco de ocorrência de área queimada	Regressão logística e rede neural artificial	<b>Área de estudo:</b> Distrito Federal; <b>Período de estudo:</b> 2010 a 2015	<b>Fatores ambientais:</b> relação positiva entre áreas localizadas em maiores altitudes com área queimada, podendo ser atribuída ao aumento da quantidade de horas de sol e pelo aumento da incidência de raios que torna a vegetação mais seca. <b>Fatores antropogênicos:</b> o uso do solo teve relação positiva com a área queimada, como as áreas com pastagens que possuem vegetação mais susceptível ao fogo, e as zonas urbanas, que influenciam diretamente o risco de incêndio nas áreas vizinhas.	Bem et al. (2018)
Avaliar a influência da temperatura e da precipitação na ocorrência de focos de queimadas	Modelo de regressão de Poisson	<b>Área de estudo:</b> Bacia Amazônica; <b>Período de estudo:</b> 1998 a 2013	<b>Fatores ambientais:</b> temperatura e contagem de focos de queimada no mês anterior tem relação positiva com a ocorrência de foco de queimadas, podendo ser um indicador do teor de umidade do combustível. A precipitação apresentou relação negativa com a ocorrência de focos de queimadas.	Lima et al. (2018)
Avaliar o efeito do clima e de mudanças de uso da terra na probabilidade de fogo	Entropia Máxima (MaxEnt)	<b>Área de estudo:</b> Amazônia Legal Brasileira; <b>Período de estudo:</b> 2003 a 2015	<b>Fatores ambientais:</b> precipitação mínima teve relação negativa com a probabilidade de fogo. <b>Fatores antropogênicos:</b> O uso agrícola da terra aumenta a probabilidade de ocorrência de focos de incêndios, o mesmo ocorre com a vegetação secundária, sendo associados ao uso do fogo durante o processo de desmatamento e no manejo de pastagens.	Fonseca et al. (2019)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
Avaliar a influência de plantações de eucalipto na ocorrência de focos de queima	Floresta aleatória ( <i>Random Forest</i> )	<b>Área de estudo:</b> Municípios do Mato Grosso do Sul, Bioma Cerrado; <b>Período de estudo:</b> 2010 a 2016	<b>Fatores antropogênicos:</b> a proximidade de mosaico de agricultura e de pastagem, de áreas urbanas, de estradas pavimentadas e áreas com culturas perenes tiveram maior contribuição para o aumento da ocorrência de focos de queimadas.	Galizia e Rodrigues (2019)
Avaliar a relação entre fatores antrópicos, ambientais e meteorológicos com focos de queima	Modelo linear generalizado	<b>Área de estudo:</b> Estado de Alagoas; <b>Período de estudo:</b> 2000 a 2017	<b>Fatores antropogênicos:</b> A maior porcentagem de ocorrência de focos de queimadas está diretamente associada aos maiores valores do índice de Gini e do Índice de Desenvolvimento Humano.	Oliveira-Júnior et al. (2020)
Ajustar um modelo de predição de ocorrência de focos de queima	Floresta aleatória ( <i>Random Forest</i> )	<b>Área de estudo:</b> Estado de Minas Gerais; <b>Período de estudo:</b> 2010	<b>Fatores ambientais:</b> volume de precipitação com relação negativa com a ocorrência de área queimada; altitude e vegetação de campo rupestre apresentaram relação positiva com a ocorrência de fogo, devido à característica desse tipo de vegetação que possui alta flamabilidade. <b>Fatores antropogênicos:</b> relação negativa com a distância de rodovias, em função do acesso facilitar a ignição.	Santos et al. (2020)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
Avaliar o papel do clima e das mudanças de uso e cobertura da terra no padrão temporal e espacial de área queimada	Regressão linear simples	<b>Área de estudo:</b> Bioma Cerrado da região do Matopiba; <b>Período de estudo:</b> 2001 a 2017	<b>Fatores ambientais:</b> Os efeitos do clima, avaliado através do <i>Canadian Forest Fire Weather Index</i> (FWI), apresentaram relação linear positiva para todas as microrregiões do Matopiba. <b>Fatores antropogênicos:</b> O uso do solo não provou ser um fator relevante na grande maioria das microrregiões do Matopiba, sugerindo que outros fatores relativos à atividade humana devem ser avaliados.	Silva et al. (2020)
Identificar as variáveis que melhor explicam os padrões de ocorrência de focos de queima	Floresta aleatória ( <i>Random Forest</i> )	<b>Área de estudo:</b> Estado do Rio de Janeiro; <b>Período de estudo:</b> 2000 a 2019	<b>Fatores ambientais:</b> O aumento da ocorrência de focos de incêndios está relacionado com a diminuição da precipitação, e aumento da temperatura e da velocidade do vento. A cobertura vegetal teve relação negativa, indicando que paisagens florestais mais preservadas tem menores focos de calor registrados. <b>Fatores antropogênicos:</b> o índice de desenvolvimento humano foi a variável antropogênica mais crítica para o modelo, onde maior o valor do índice correspondeu a maior ocorrência de fogo.	Barros et al. (2021b)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
Compreender como as relações homem-clima-fogo podem mudar em áreas sob diferentes formas de manejo	Modelo linear generalizado	<b>Área de estudo:</b> Estação Ecológica de Assis, Estação Ecológica de Itirapina e Estação Ecológica de Santa Bárbara, Estado do São Paulo; <b>Período de estudo:</b> 1985 a 2017	<b>Fatores ambientais:</b> efeito positivo das chuvas durante a estação chuvosa e um efeito negativo das chuvas durante a estação seca na área queimada anual. <b>Fatores antropogênicos:</b> os regimes de fogo variaram em termos de frequência e extensão da área queimada entre locais sob climas semelhantes, mostrando que outros factores, relacionados com ações antrópicas, têm um efeito local mais forte do que o clima.	Conciani et al. (2021)
Avaliar quais fatores ambientais podem ser usados para melhor prever o comportamento do fogo no Cerrado	Modelos lineares de efeitos mistos e modelos lineares generalizados de efeitos mistos	<b>Área de estudo:</b> Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e Parque Estadual do Jalapão, Estado do Tocantins; <b>Período de estudo:</b> 2015	<b>Fatores ambientais:</b> A umidade relativa, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a carga de combustível determinam o comportamento do fogo, porém com efeitos diferentes ao longo das estações.	(SANTOS et al., 2021)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
Avaliar a influência de características locais e da paisagem em dois parâmetros do regime de fogo (frequência dos incêndios e o tempo desde o último incêndio)	Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma	<b>Área de estudo:</b> Parque Nacional da Chapada Diamantina, Estado do Bahia; <b>Período de estudo:</b> 1990 a 2019	<b>Fatores ambientais:</b> A cobertura arbórea e a interação entre cobertura arbórea e altitude foram negativamente relacionados à frequência de incêndios, enquanto a superfície da água e a altitude influenciaram positivamente a frequência de incêndios. Os incêndios mais antigos do parque ocorreram em áreas mais altas em comparação com os incêndios mais recentes. Os incêndios naturais tendem a ocorrer em paisagens mais altas, dada a maior probabilidade de ocorrência de raios nestas áreas. <b>Fatores antropogênicos:</b> A distância até o município mais próximo foram negativamente relacionados à frequência de incêndios.	Anjos et al. (2022)
Construir modelo para identificar o risco de incêndio e as variáveis que explicam melhor os padrões de fogo	Floresta aleatória ( <i>Random Forest</i> )	<b>Área de estudo:</b> Estado do Rio de Janeiro; <b>Período de estudo:</b> 2000 a 2019	<b>Fatores ambientais:</b> A temperatura média anual superior a 22°C foi associada a um alto risco de incêndio e a cobertura arbórea superior a 80% a um baixo risco de incêndio. <b>Fatores antropogênicos:</b> Maior Índice de desenvolvimento humano (IDH) e de pegada humana e menor distância de unidades de conservação aumentam o risco de incêndio.	Barros et al. (2021b)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
Avaliar a influência da infraestrutura rodoviária na ocorrência de incêndios no interior e no entorno de Terras Indígenas	regressão linear	<b>Área de estudo:</b> 332 terras indígenas e seu entorno, localizadas inteiramente dentro do bioma Amazônia no Brasil; <b>Período de estudo:</b> 2008 a 2021	<b>Fatores antropogênicos:</b> Terras indígenas com rodovias em seu entorno apresentaram maior ocorrência de incêndios, sendo as áreas florestais as mais afetadas, seguidas pelas formações de savana/pastagens e áreas agrícolas e de pastagem.	Silva et al. (2022)
Investigar mudanças espacialmente explícitas na aptidão ao fogo no sudoeste da Amazônia	Entropia Máxima (MaxEnt)	<b>Área de estudo:</b> sudoeste da Amazônia; <b>Período de estudo:</b> 2005, 2010, 2016 e 2020	<b>Fatores ambientais:</b> altas temperaturas foram associadas a ocorrência de incêndios <b>Fatores antropogênicos:</b> A porcentagem de áreas desmatadas, terras produtivas e bordas de florestas foram fatores associados a ocorrência de incêndios.	Ferreira et al. (2023)
Examinar a ocorrência de incêndio entre 2002 e 2018 e suas capacidades preditivas na Base Aérea do estado do RS usando algoritmos de aprendizado de máquina	Extra Trees Regressor (ExtraTrees)	<b>Área de estudo:</b> Bioma Mata Atlântica no estado do Rio Grande do Sul; <b>Período de estudo:</b> 2002 a 2018	<b>Fatores ambientais:</b> A variável mais importante identificada pelo modelo foi a temperatura máxima média no período quente <b>Fatores antropogênicos:</b> a variável antrópica com impacto mais significativo foi a pecuária.	Herrmann et al. (2023)

*Continua*

Tabela 2.3 – *Continuação.*

Objetivo do modelo	Método utilizado	Área/Período de estudo	Fatores/resultados principais relacionado a ocorrência de fogo	Referência
avaliar a previsão de incêndios em escala regional através algoritmos de aprendizado de máquina	<i>Classification and Regression Trees algorithm</i> (CART)	<b>Área de estudo:</b> Estado do Espírito Santo; <b>Período de estudo:</b> 2000 a 2015	<b>Fatores ambientais:</b> Áreas de vegetação de restinga e áreas alagadas estão geralmente associadas à alta densidade de incêndios <b>Fatores antropogênicos:</b> As zonas de incêndio de alta densidade estão associadas a uma densidade populacional alta ou baixa. A importância dos fatores sociais também pode ser apontada pela variável renda, uma vez que os incêndios florestais estão associados a locais de menor renda.	Juvanhol et al. (2023)
Comparar modelos de aprendizado de máquina que preveem o risco de ocorrência de incêndios florestais	Rede neural artificial (ANN), Floresta aleatória ( <i>Random Forest</i> ), ADABoost e <i>Support vector machines</i> (SVM)	<b>Área de estudo:</b> Distrito Federal; <b>Período de estudo:</b> 2017 a 2019	<b>Fatores ambientais:</b> Conforme o cálculo da importância de cada característica explicativa, os modelos avaliados mostraram-se mais sensíveis à pressão atmosférica, umidade relativa e NDVI.	Rubí e Gondim (2023)

Embora não tenha sido identificado o uso de modelos aditivos generalizados (GAM) para avaliar a ocorrência de fogo no Brasil nos estudos descritos na Tabela 2.3, esses modelos têm sido utilizados em estudos sobre fogo na Costa do Marfim (KOUASSI et al., 2018), Espanha (RODRÍGUEZ-PÉREZ et al., 2020), Irã (POURTAGHI et al., 2016; ESKANDARI et al., 2021), Estados Unidos (BARROS et al., 2021a; GRABINSKI et al., 2017), China (YE et al., 2017), Japão (ANDERSON et al., 2016) e em estudos globais (HANTSON et al., 2015). O uso desse método é uma alternativa aos métodos estatísticos tradicionais, especialmente quando se trata de grandes bases de dados, padrões não lineares e variáveis altamente correlacionadas ou dados que não são normalmente distribuídos (COSTAFREDA-AUMEDES et al., 2017). O modelo aditivo generalizado é utilizado no presente trabalho, assim, descrições mais detalhadas da aplicação dos modelos estão disponíveis nos Capítulos 4 e 6.

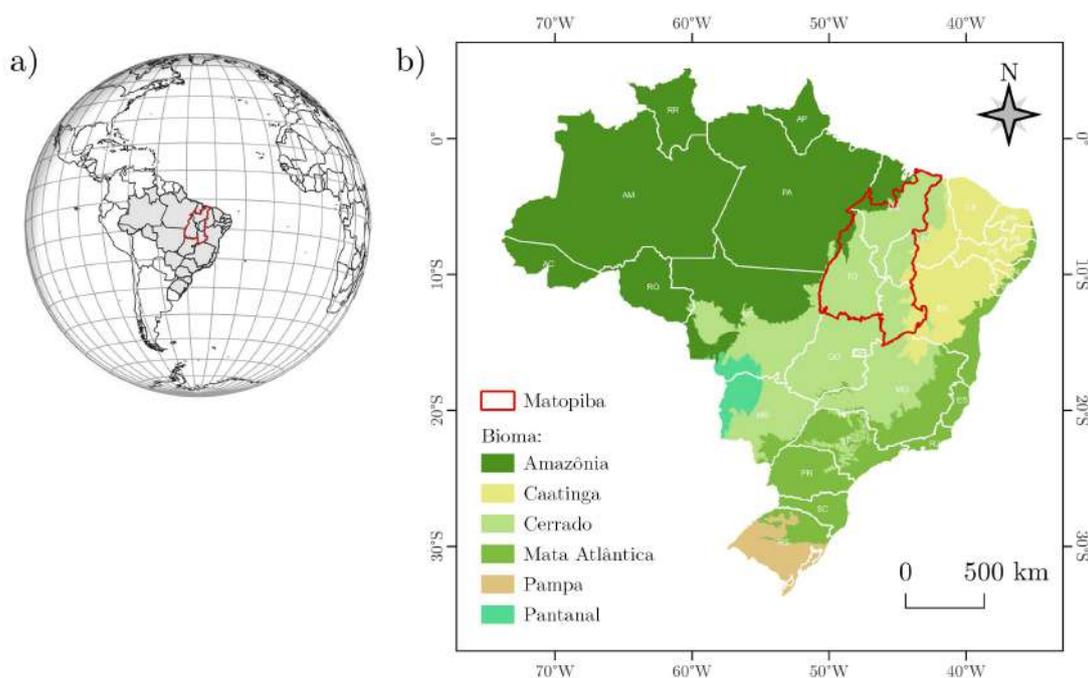
### 3 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Matopiba

Após a década de 70, a ocupação da terra baseada em uma economia de escala direcionou o agronegócio para o Norte e Nordeste, principalmente para os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Figura 3.1). Esse território foi nomeado de Matopiba, utilizando as duas letras iniciais de cada estado que o constitui. A região foi instituída oficialmente pelo Decreto n. 8.477 de 6 de maio de 2015, que foi posteriormente revogado, e instituído novamente através do Decreto n. 11.767, de 1º de novembro de 2023.

A delimitação territorial do Matopiba foi proposta pela Embrapa por meio de análise dos dados dos quadros natural, agrário, agrícola, socioeconômico e de infraestrutura (MIRANDA et al., 2014). O Matopiba é formado por 337 municípios, agrupados em 10 mesorregiões e 31 microrregiões.

Figura 3.1 - Localização da região Matopiba.



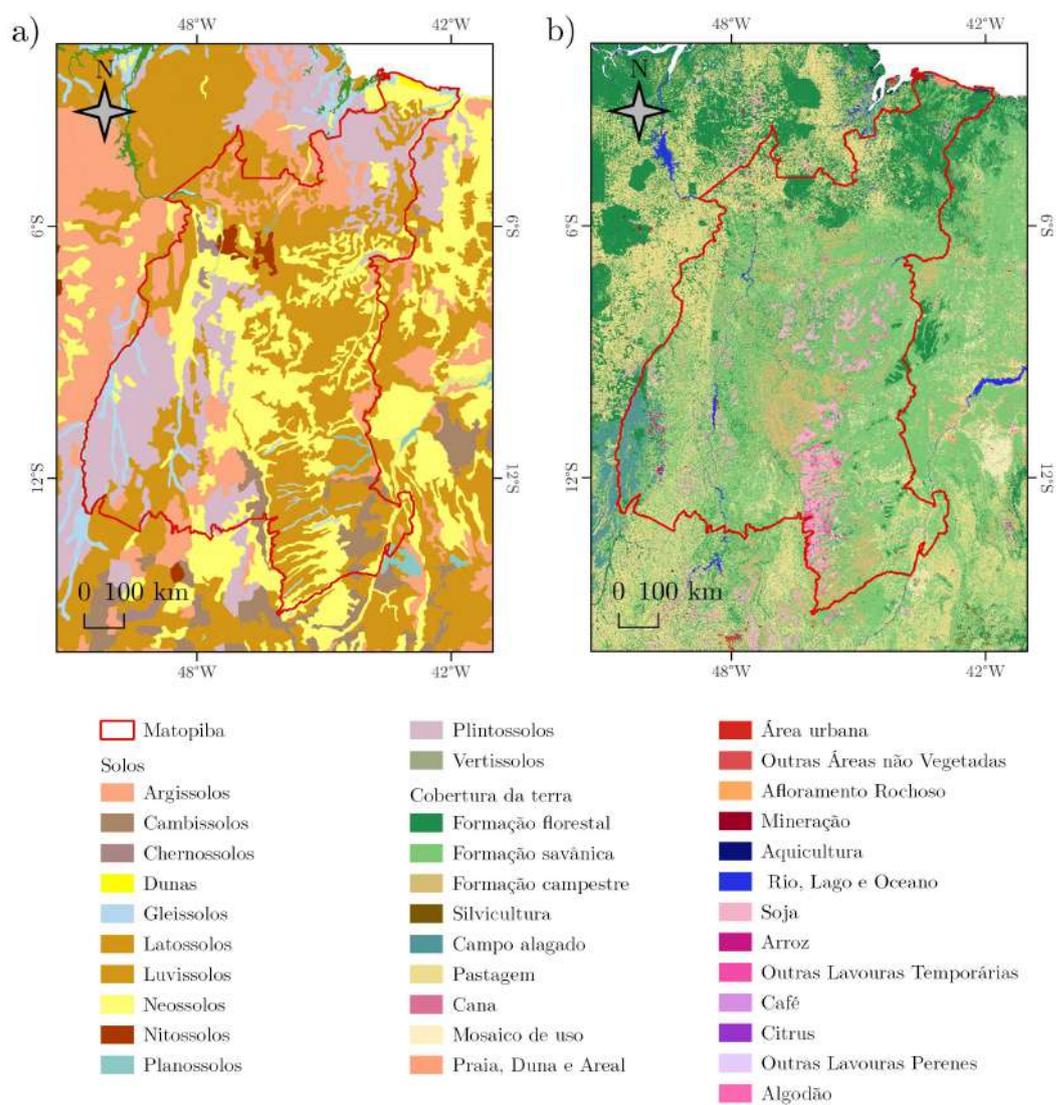
a) Localização do Matopiba; e b) Região do Matopiba e biomas. Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites estaduais e dos biomas do IBGE (2019).

O clima predominante, conforme a classificação climática de Köppen e mapeamento realizado por [Alvares et al. \(2013\)](#), é o tropical com seca de inverno (Aw), caracterizado pela sazonalidade, correspondendo a 95,3% da área, seguido pelo clima tropical com seca de verão (As) com 4,2% e pelo clima tropical de monções (Am) com 0,5%.

A região tem predomínio do bioma Cerrado (Figura 3.1b) representando 86,1% da área do Matopiba, seguido por 7,2% correspondente ao bioma Amazônia e 6,7% ao bioma Caatinga. Em 2020, na região do Matopiba, os biomas Cerrado, Caatinga e Amazônia apresentavam aproximadamente 76,4%, 66% e, 34% de vegetação nativa, respectivamente ([MAPBIOMAS, 2020](#)).

Os solos predominantes (Figura 3.2a) são os latossolos com 37,9% do total de área do Matopiba, seguido por Neossolos com 24,5%, Plintossolos 19,2% e Argissolos 9,6% ([SANTOS et al., 2018](#)). Os principais usos da terra são principalmente para pecuária (Figura 3.2b), seguido por agricultura ([MAPBIOMAS, 2020](#)).

Figura 3.2 - Classes de solo e classes de uso e cobertura da terra da região Matopiba.



a) Solos (SANTOS et al., 2018); b) Uso e Cobertura da Terra - 2020 (MAPBIOMAS, 2020).

Embora a área de estudo esteja localizada na região do Matopiba, em cada escala, uma área é selecionada para análise, assim, nos Capítulos 4, 5, 6, 7 e 8 são apresentados os limites e a descrição detalhada das áreas analisadas.

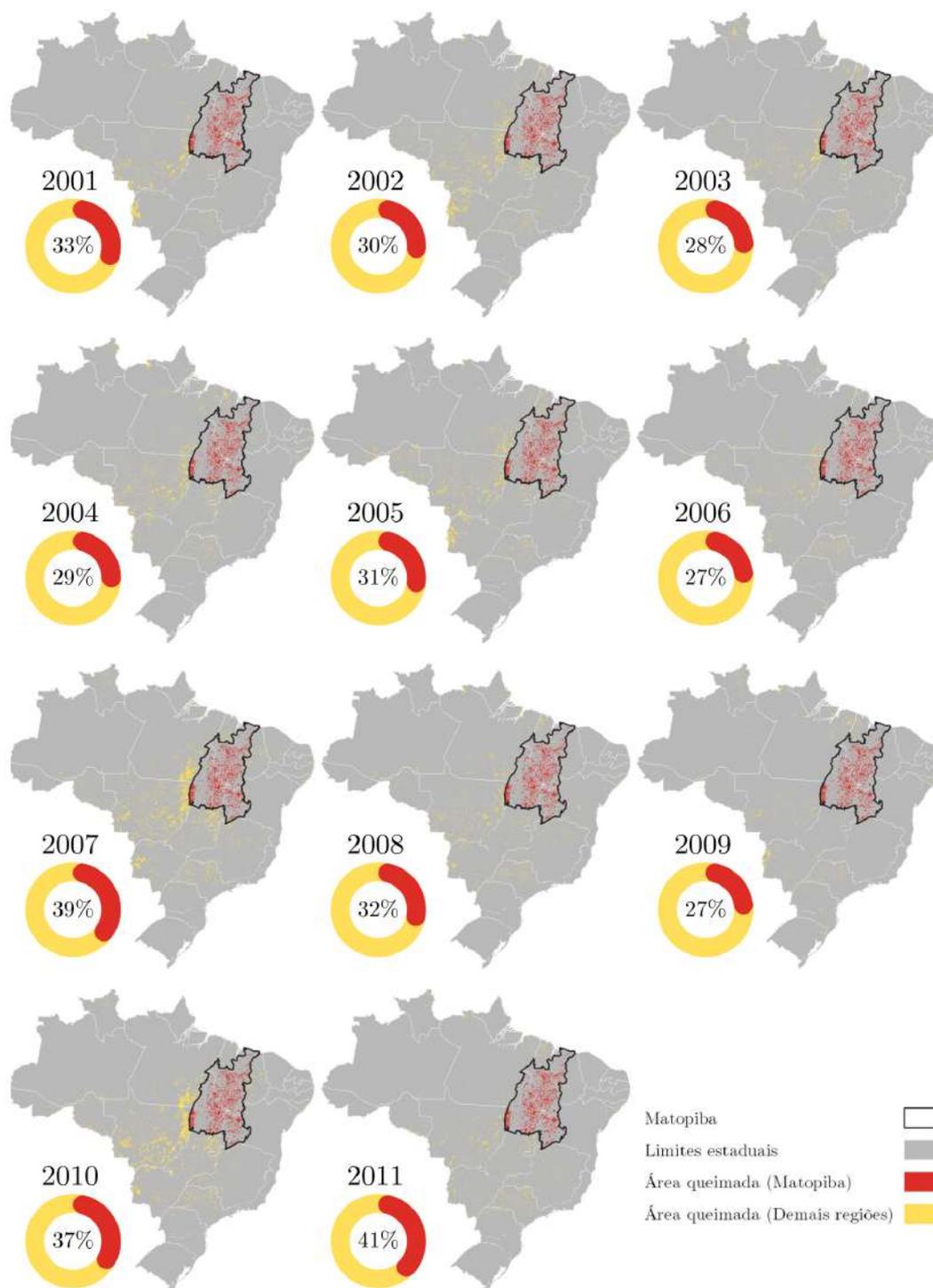
### 3.2 Queimadas na região do Matopiba

Estudos sobre queimadas no Cerrado, apontam a região do Matopiba como local de destaque com maior densidade de queimadas (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020; ROCHA; NASCIMENTO, 2021), com mais da metade da área queimada anual do bioma Cerrado (SILVA et al., 2020). A área queimada apresenta tendência geral de aumento no Matopiba (SILVA et al., 2021), entretanto diferentes microrregiões podem apresentar tendências distintas (SILVA et al., 2020).

A Moratória da Soja na Amazônia de 2006 e outros fatores locais aceleraram o desmatamento do Cerrado, o que influenciou na ocorrência de fogo, aumentando o número de eventos de incêndio com a derrubada da vegetação (SOUZA et al., 2020a). Conforme dados do Projeto Mapbiomas (MAPBIOMAS, 2020), na região do Matopiba é onde há maior parte da vegetação nativa do bioma Cerrado.

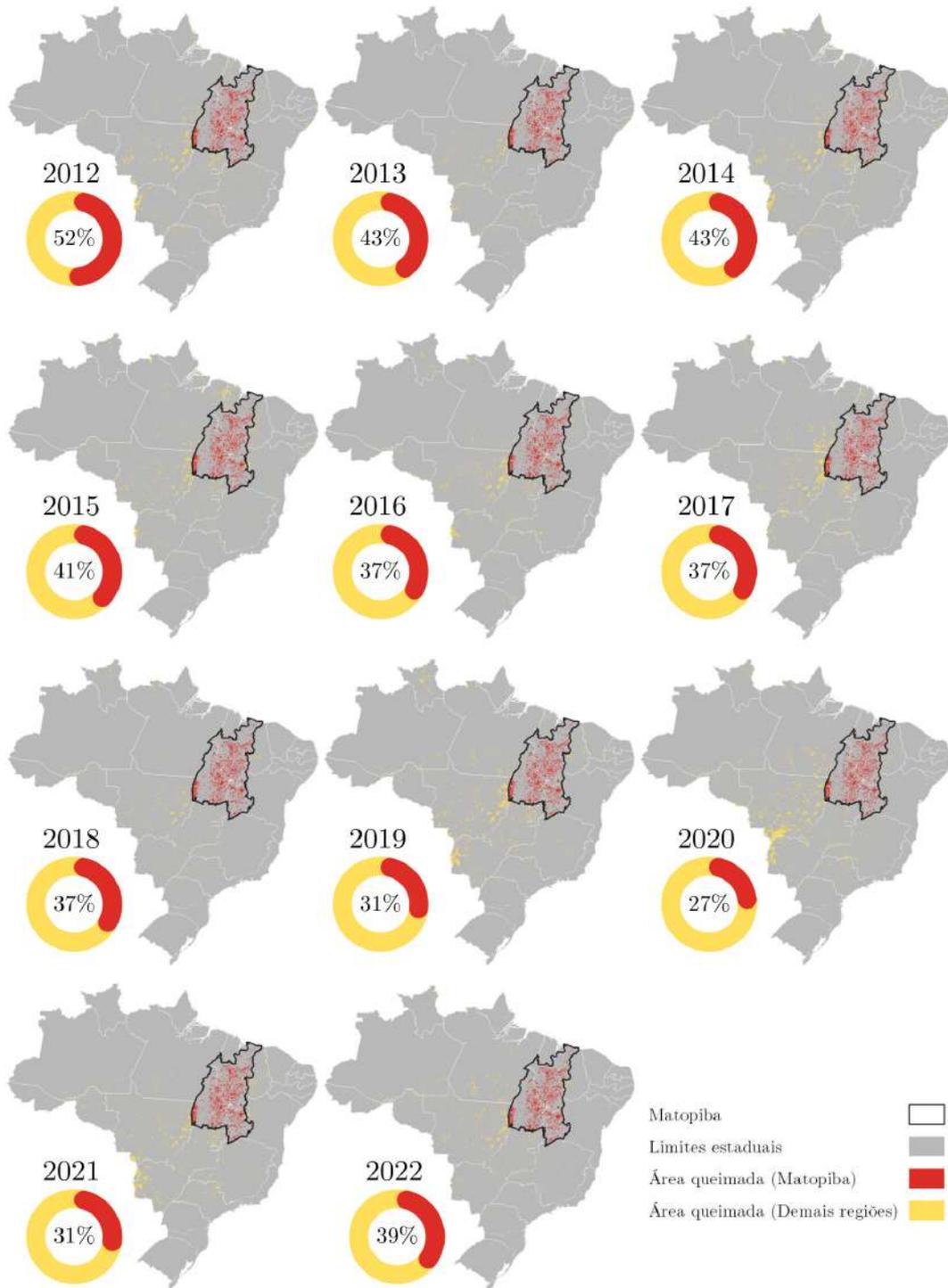
A região do Matopiba corresponde a 9% do território brasileiro e, no período de 2001 a 2022, apresentou 35% da área total queimada no Brasil (Figuras 3.3 e 3.4). Em 2012, a ocorrência de área queimada nessa região alcançou 52% de toda área queimada do Brasil (Figura 3.3). A alta porcentagem revela a importância de estudos sobre o fogo nessa região.

Figura 3.3 - Área queimada no Brasil e na região do Matopiba, em cada ano do período de 2001 a 2011. Gráfico de rosca representando a porcentagem de área queimada na região do Matopiba em relação à área queimada no Brasil.



A área queimada foi estimada através dos dados do produto MCD64A1 v006 - MODIS *Burned Area Monthly Global 500m*. Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014) e dados de limites estaduais do IBGE (2019).

Figura 3.4 - Área queimada no Brasil e na região do Matopiba, em cada ano do período de 2012 a 2022. Gráfico de rosca representando a porcentagem de área queimada na região do Matopiba em relação à área queimada no Brasil.



A área queimada foi estimada através dos dados do produto MCD64A1 v006 - MODIS *Burned Area Monthly Global 500m*. Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014) e dados de limites estaduais do IBGE (2019).

### 3.3 Projetos de assentamento localizados na região do Matopiba

Os projetos de assentamento, como instrumento da política de reforma agrária brasileira, são implementados visando garantir à população o acesso à terra, a fim de atender aos princípios da justiça social e aumentar a produtividade nas áreas rurais (BRASIL, 1964). Caracterizam-se como um conjunto de unidades agrícolas que se destinam às famílias de produtores rurais sem condições econômicas de adquirir um imóvel rural, que devem residir nos projetos de assentamento e desenvolver atividades agropecuárias (INCRA, 2021c).

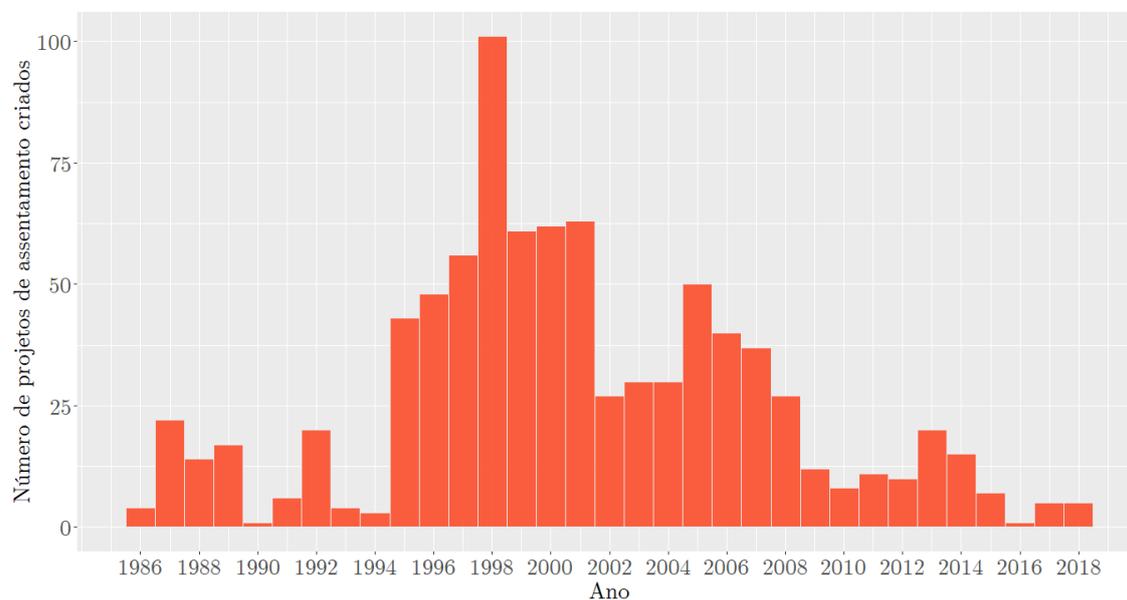
Na região do Matopiba, até setembro de 2021 foram assentadas 82.151 famílias em 860 projetos de assentamento<sup>1</sup> criados pelo INCRA, divididos em 4 modalidades, ocupando uma área de 32.282,75 km<sup>2</sup> (aproximadamente 4,4% da região do Matopiba) (INCRA, 2021c). Diferenciando-os por unidade federativa, são 31 projetos de assentamento no Piauí, 76 na Bahia, 352 no Tocantins e 401 no Maranhão.

O primeiro projeto de assentamento criado na região do Matopiba foi o PA Angelical I, em Angelical/MA, em 1986. A partir de então, os projetos de assentamento passaram a ser criados anualmente, com maior número em 1998 (Figura 3.5). A forma de obtenção de terras predominante nessa região é a desapropriação representando 81,3%, seguido de arrecadação com 10,6% e compra e venda com 3,7%. As modalidades predominantes são de projetos de assentamentos convencionais com 96,2%, seguido por Projeto de Assentamento Casulo com 2,9%, demais modalidades que perfazem 0,9%.

---

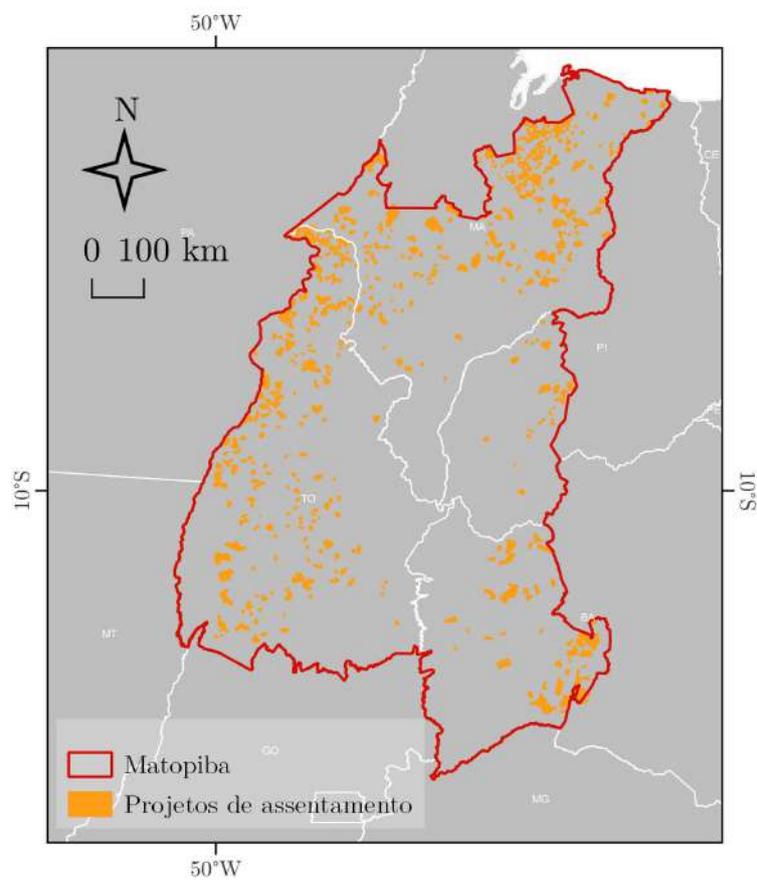
<sup>1</sup>Não foram considerados os projetos de assentamento criados por outras instituições e reconhecidos posteriormente pelo Incra e os projetos de assentamentos de modalidades em desuso (INCRA, 2021c)

Figura 3.5 - Número de projetos de assentamentos na região do Matopiba criados por ano.



Para o presente trabalho consideraram-se os projetos de assentamento que possuíam feições disponíveis na base de dados do acervo fundiário (INCRA, 2021a), onde as feições são separadas em: projetos de assentamento, imóveis cadastrados no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) e imóveis cadastrados no Sistema Nacional de Certificação de Imóveis Rurais (SNCI). No caso de divergência entre as bases consideraram-se os polígonos presente no SIGEF em função da presença de dados atualizados, no caso de divergência entre SNCI e projetos de assentamento, considerou-se SNCI. O total de projetos de assentamento na região do Matopiba que tem dados georreferenciados disponíveis é de 821 projetos de assentamento (Figura 3.6).

Figura 3.6 - Projetos de Assentamento na região Matopiba.



Mapa construído com dados dos projetos de assentamento de [INCRA \(2021a\)](#), limite da região do Matopiba conforme [Miranda et al. \(2014\)](#) e limite estadual do [IBGE \(2019\)](#).



## 4 FATORES ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS NA REGIÃO DO MATOPIBA, BRASIL

### 4.1 Introdução

A ocorrência de queimadas nos biomas brasileiros tem sido objeto de análises e debates constantes, impulsionados pelos significativos impactos ambientais e socioeconômicos que tais eventos desencadeiam. Os incêndios podem iniciar-se de forma natural e menos frequente, por raios (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000), ou de forma mais frequente por ações humanas (PIVELLO, 2011). Os fatores meteorológicos e ambientais são decisivos para incrementá-los, contribuindo para sua propagação e dificultando seu controle.

A preocupação com os impactos negativos dos incêndios tem motivado a condução de estudos, fundamentados em modelos preditivos, visando a identificação de fatores associados à sua incidência em distintas regiões do Brasil. Condições meteorológicas, como temperatura, precipitação, duração da estação seca e distribuição da chuva são relacionados com a ocorrência de queimadas (ALVARADO *et al.*, 2017; BARROS-ROSA *et al.*, 2022; LIMA *et al.*, 2018; NOGUEIRA *et al.*, 2017). A temperatura tem relação positiva e o volume de precipitação apresenta relação negativa com a ocorrência de focos de queimadas. A precipitação influencia na ocorrência de fogo em duas maneiras: no período chuvoso, com volume de chuva que propicia o crescimento da vegetação, disponibilizando mais biomassa como combustível para queima, e no período seco, em que a falta de chuva contribui para tornar a biomassa mais seca e conseqüentemente mais propícia à ignição e à propagação do fogo. A temperatura também influencia nesse fenômeno, sendo seu aumento relacionado à diminuição da umidade da vegetação, tornando-a mais suscetível ao fogo. A relação entre a sazonalidade das chuvas e área queimada ocorre com maior associação nos biomas Amazônia e Cerrado, e com menor associação nos biomas Caatinga e Mata Atlântica (NOGUEIRA *et al.*, 2017).

O tipo de vegetação presente nos ecossistemas apresenta diferentes relações com o fogo. Os ecossistemas caracterizados pela dominância de gramíneas, como as formações campestres e savânicas, co-evoluíram com o fogo. As plantas e animais apresentam diversas adaptações à passagem do fogo e dependem do fogo para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos. Já as florestas tropicais não são adaptadas ao fogo e não queimam facilmente, a menos que sofram secas extremas ou algum tipo de degradação que possam torná-las mais vulneráveis (PIVELLO *et al.*, 2021).

Características topográficas também influenciam o fogo, a altitude influencia a composição da vegetação, a umidade do combustível e do ar. Onde as altitudes são maiores há maior umidade, dificultando a ignição e propagação do fogo. A declividade é um fator crítico no comportamento do fogo, considerando que áreas mais íngremes propiciam sua propagação (CASTRO; CHUVIECO, 1998). Na Amazônia Central, áreas com altos valores de declividade tiveram maior chance de ocorrência de incêndios florestais do que áreas mais planas (REIS et al., 2021). A inflamabilidade da vegetação também é um fator importante, no estudo realizado por Santos et al. (2020) no estado de Minas Gerais, a altitude e vegetação de campo rupestre apresentaram relação positiva com a ocorrência de fogo, devido à característica desse tipo de vegetação que possui alta flamabilidade.

Fatores relacionados às atividades humanas e à ocorrência de queimadas também têm sido objeto de estudos. A distância de estradas e povoamentos tem relação negativa com a ocorrência de fogo por promoverem maior acessibilidade às áreas, influenciando na ocorrência de ignição de origem antropogênica (BACANI, 2016; BARROS-ROSA et al., 2022; REIS et al., 2021; GALIZIA; RODRIGUES, 2019; SANTOS et al., 2020; FONSECA et al., 2017). Entre as categorias fundiárias presentes na região, estudos indicaram que a presença de projetos de assentamento pode favorecer à ocorrência de queimadas (BACANI, 2016; REIS et al., 2021; GALIZIA; RODRIGUES, 2019), o que não ocorre com a presença de terras indígenas e unidades de conservação que apresentaram relação inversa (BARROS-ROSA et al., 2022; REIS et al., 2021).

O uso agrícola da terra também é associado ao aumento da probabilidade de ocorrência de focos de incêndios, o mesmo ocorre com a vegetação secundária, sendo ambos associados ao uso do fogo durante o processo de desmatamento e no manejo de pastagens e áreas agrícolas (BARROS-ROSA et al., 2022; FONSECA et al., 2017; FONSECA et al., 2019; GALIZIA; RODRIGUES, 2019).

Considerando que o fogo pode estar associado a diversos fatores ambientais e antrópicos, a pergunta que norteia o presente trabalho é: quais fatores ambientais e antrópicos estão associados à ocorrência de área queimada na região do Matopiba?

Assim, nosso objetivo é identificar os fatores ambientais e antropogênicos associados à ocorrência de áreas queimadas na região do Matopiba. A hipótese geral é que a ocorrência de área queimada está associada aos fatores antropogênicos, considerando a presença de projetos de assentamentos como um dos fatores potenciais. Para isso, utilizou-se modelos aditivos generalizados.

## 4.2 Material e métodos

### 4.2.1 Área de estudo

A área de estudo é a região do Matopiba, formada por 337 municípios, agrupados em 10 mesorregiões e 31 microrregiões, totalizando 73,1 milhões de hectares. Para as análises descritas nesse capítulo, a região foi dividida em sub-regiões homogêneas conforme método apresentado na Subseção 4.2.3.1.

### 4.2.2 Dados utilizados

Utilizou-se os dados do produto diário de área queimada MCD64A1 v006, com resolução espacial de 500m, que combina reflectância de superfície das imagens MODIS, dados de fogo ativo e dados auxiliares de cobertura de vegetação (GIGLIO et al., 2018).

Para cada sub-região, utilizando o histórico de ocorrência de área queimada do período de 2001 a 2021, calculamos os valores médios mensais de área queimada e definimos o período de acúmulo de combustível, período de queimadas, o mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada. O mês de pico de incêndio é o mês com a maior ocorrência de área queimada detectada. O período de queimadas é o período mais curto em um ano, contendo pelo menos 90% da ocorrência de queimadas, sendo a primeira parte do período iniciando no primeiro mês do período de queimadas até o mês de pico. O período de acumulação de combustível é o período de 13 meses que termina no mês de pico do incêndio (SHEN et al., 2019).

Para execução dos modelos e análises foram utilizados dados secundários e suas fontes constam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Dados utilizados, ano e fonte dos dados.

Tipo	Dado	Ano	Fonte
Dados temáticos	Área queimada	2016 a 2020	Giglio et al. (2018)
	Altitude e declividade	2008	Valeriano (2008)
	Uso e cobertura da terra	2014 a 2021	Mapbiomas (2020)
	Uso e cobertura da terra	2017	IBGE (2017a)
	Agricultura familiar	2017	IBGE (2017a)
	Bioma	2019	IBGE (2019)
	Desmatamento	2001 a 2021	INPE (2021b)

*Continua*

Tabela 4.1 – *Continuação.*

Tipo	Dado	Ano	Fonte
Dados meteorológicos	Temperatura	2016 a 2020	INMET (2021)
	Temperatura	2016 a 2021	COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (2017)
	Precipitação	2016 a 2020	INMET (2021)
	Precipitação	2014 a 2021	Funk et al. (2015)
Dados cartográficos	Projetos de assentamento (Perímetro, áreas de lotes, reserva legal e área comunitária)	2021	INCRA (2021a)
	Territórios quilombolas (Perímetro)	2021	INCRA (2021a)
	Terras públicas (Perímetro)	2021	INCRA (2021a)
	Imóveis rurais privados (Perímetro)	2018 e 2021	Freitas et al. (2018), INCRA (2021a)
	Unidade de Conservação (Perímetro)	2021	ICMBIO (2021)
	Terras indígenas (Perímetro)	2021	FUNAI (2021)
	Limites municipais e estaduais	2020	IBGE (2019)
	Estradas e rodovias	2021	OPENSTREET MAP CONTRIBUTORS (2020)
	Povoamentos	2010	IBGE (2019)
Tabela	Projetos de assentamento (relação de beneficiários, modalidade, fase e forma de obtenção de terras do projeto de assentamento)	2021	INCRA (2021c)

### 4.2.3 Métodos

#### 4.2.3.1 Delimitação de sub-regiões da Região do Matopiba

Em estudos ambientais realizados em áreas territoriais extensas que apresentam diversidade de paisagens, como a região do Matopiba, os métodos de análise espacial de

agrupamento podem ser uma alternativa para delimitar áreas mais homogêneas de análise e assim identificar fatores mais relevantes em escala local. Assim, foi realizado um agrupamento de microrregiões como objetivo de delimitar unidades geográficas homogêneas do Matopiba, através do método *skater* (*Spatial 'K'cluster Analysis by Tree Edge Removal*) (ASSUNÇÃO et al., 2006). O método consiste em um procedimento de classificação que se baseia na estrutura de vizinhança e na medida de similaridade entre os geo-objetos. Essa medida é determinada pelo conjunto de fatores de interesse previamente selecionados. A delimitação do Matopiba é baseada em microrregiões, para ser utilizada por recortes territoriais conforme a necessidade operacional (MIRANDA et al., 2014). Assim, inicialmente, foram realizados testes utilizando os limites dos municípios e das microrregiões como geo-objetos considerando os seguintes fatores relacionados à ocorrência de fogo: meteorológicos, biomas e uso da terra, conforme as variáveis da Tabela 4.2. O uso de microrregiões foi mais satisfatório para agrupar regiões mais homogêneas do que o uso dos limites dos municípios.

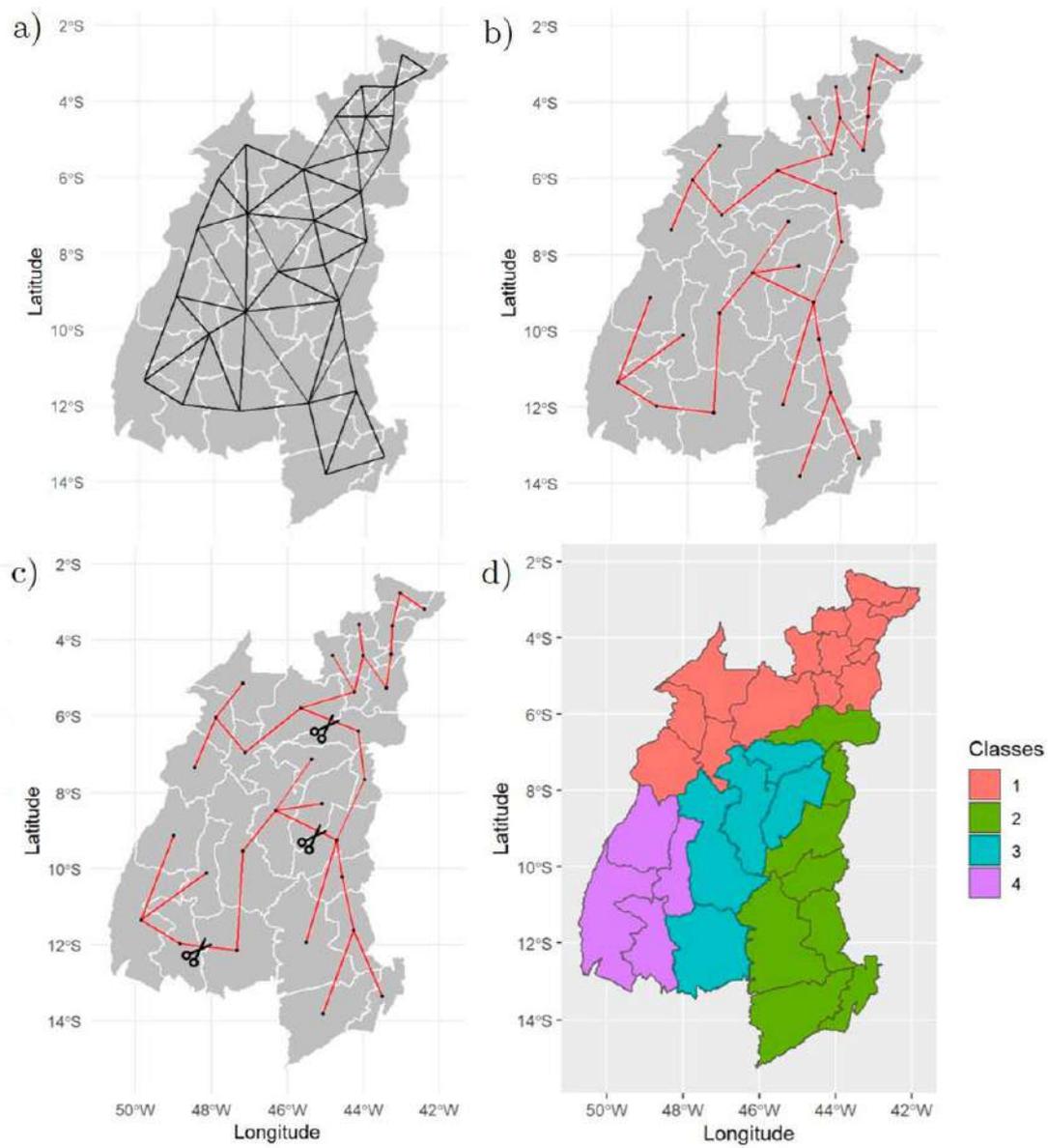
Tabela 4.2 - Relação de fatores de cada microrregião utilizados no método *skater*.

<b>Fator</b>	<b>Variável</b>
Meteorológico	Temperatura média dos meses de julho, agosto e setembro no período de 2015 a 2019, em °C Precipitação média acumulada dos meses de fevereiro, março e abril no período de 2015 a 2019, em mm
Bioma	% da área do Bioma Amazônia (2019) na microrregião % da área do Bioma Cerrado (2019) na microrregião % da área do Bioma Caatinga (2019) na microrregião
Uso da Terra	% da área de lavoura (2017) na microrregião % da área de pastagem (2017) na microrregião % da área com agricultura familiar (2017) na microrregião

Através da estrutura de vizinhança entre as microrregiões, uma árvore geradora mínima foi criada com a atribuição de custo para cada aresta conforme a dissimilaridade (distância entre os atributos correspondentes). Posteriormente as arestas de menores custos são retiradas, criando-se as classes com os polígonos conectados pelas arestas remanescentes (Figura 4.1). O número de sub-regiões definido para a

regionalização foi de 4 classes. Para cada sub-região ter tamanho de área similar, uma área mínima de 133.000km<sup>2</sup> foi estipulada para cada classe.

Figura 4.1 - Etapas da regionalização do Matopiba via *skater*.



a) Estrutura de vizinhança entre as microrregiões; b) Árvore geradora mínima; c) Eliminação da aresta de menor custo; d) Mapa da regionalização do Matopiba.

### 4.2.3.2 Banco de dados espacial de potencial fatores

Para análise dos fatores associados à ocorrência de área de queimadas no período de queimadas, utilizamos pontos de ocorrência e não ocorrência de área queimada como variável resposta. Para isso, utilizamos uma grade de 2 km x 2 km, onde o centroide recebeu valor 1 para ocorrência de área queimada na célula, e valor 0 para não ocorrência de área queimada (Figura 4.2). O tamanho de 2 km x 2 km foi selecionada, pois mais se adequou a resolução dos dados utilizados, como, por exemplo, por ser maior do que a resolução dos dados de área queimada de 500m.

O período utilizado para ocorrência de área queimada foi o período de queimadas de cada sub-região para cada ano do período de 2016 a 2020. As células que possuíam sua área coberta com mais de 50% de corpo d'água foram excluídas da análise. Para cada ponto, foi associado informações espaciais (latitude e longitude) em função da dependência espacial identificada (mais detalhes em Apêndice A.1) e mais 19 variáveis que representam potenciais fatores de associação com a ocorrência de queimadas (Tabela 4.3).

Figura 4.2 - Delimitação de célula de 2 x 2 km e vinculação de variáveis associadas.

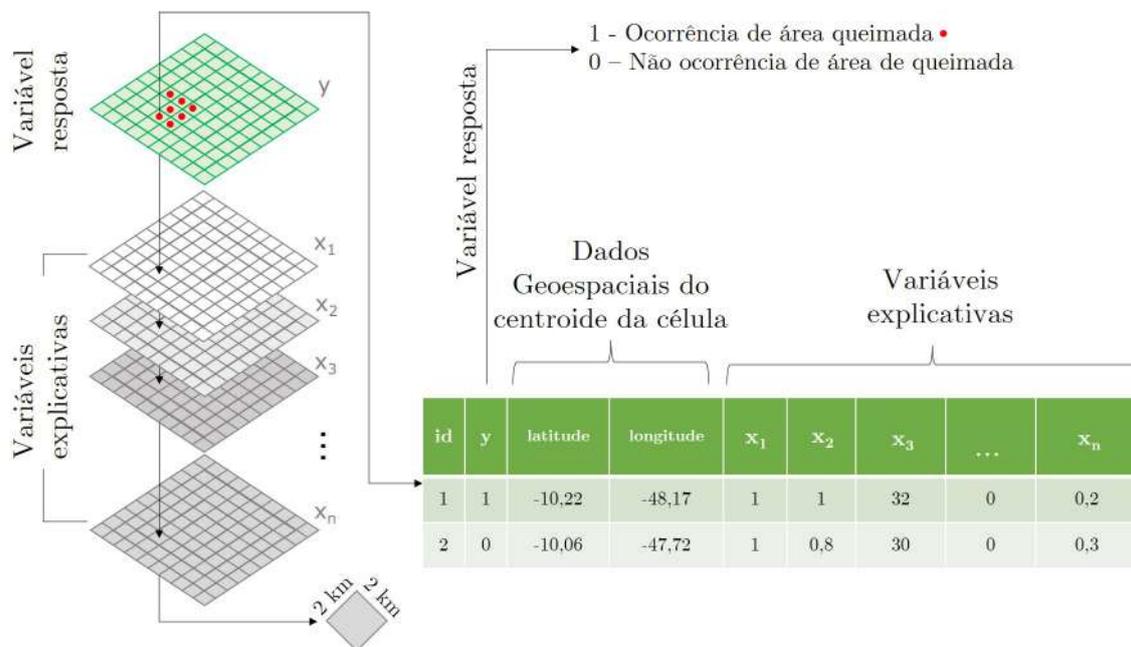


Tabela 4.3 - Fatores potenciais e variáveis explicativas da ocorrência de queimadas.

Fator	Categoria	Variáveis	Código	Descrição
Ambiental	Meteorológica	1. Precipitação	P	Precipitação acumulada, em mm, durante o período de acúmulo de combustível
		2. Temperatura	T	Temperatura média, em °C, na primeira parte do período de queimadas
		3. Dias sem precipitação	DP	Número de dias sem chuva na primeira parte do período de queimadas
	Topografia	4. Altitude	AL	altitude, em metros
		5. Declividade	DC	declividade, em graus
	Cobertura da terra	6. Formação florestal	FF	% de cobertura da célula com formações florestais
		7. Formação savânica	FS	% de cobertura da célula com formações savânicas
		8. Formação campestre	FC	% de cobertura da célula com formações campestre
		9. Campos alagados	CA	% de cobertura da célula com campos alagados
Antropogênico	Infraestrutura	10. Estradas	ES	Distância euclidiana entre estradas e o centroide da célula, em metros
		11. Povoamentos	PV	Distância euclidiana entre localidades e o centroide da célula, em metros
	Cobertura da terra	1. Pastagem	PT	% de cobertura da célula com pastagem
		13. Agricultura	AG	% de cobertura da célula com agricultura
		14. Área desmatada	AD	% de cobertura da célula com área desmatada no ano da queimada
	Categoria fundiária	15. Projeto de assentamento da reforma agrária	PA	% de cobertura da célula com projeto de assentamento
		16. Território quilombola	TQ	% de cobertura da célula com território quilombola
		17. Imóvel rural privado	PP	% de cobertura da célula com imóvel rural privado
		18. Unidade de conservação	UC	% de cobertura da célula com Unidade de Conservação
		19. Terras indígenas	TI	% de cobertura da célula com terra indígena

### 4.2.3.3 Modelo aditivo generalizado

Para identificar os fatores associados à ocorrência de área queimada na região do Matopiba, para cada ano do período de 2016 a 2020, nós utilizamos o modelo aditivo generalizado (GAM). O GAM é um modelo que fornece um método flexível para identificar efeitos de covariáveis não lineares por meio de soma de funções suavizadas (HASTIE, 2017; WOOD, 2006). No GAM também podemos adicionar funções lineares e utilizar, além de variáveis contínuas, variáveis discretas e dados geoespaciais. A escolha desse modelo foi realizada devido à flexibilidade em modelar relações não lineares e também devido às funções suaves poderem ser visualizadas e interpretadas mais facilmente em comparação com modelos mais complexos, como redes neurais ou árvores de decisão. Por outro lado, a interpretação das interações entre as variáveis pode ser mais complexa do que em modelos lineares simples. Adicionalmente a comparação com modelos mais complexos, a flexibilidade do ajuste do modelo é controlada, assim pode-se evitar o sobreajuste do modelo (*overfitting*).

Um GAM modela uma variável resposta  $y_i$ , usando uma estrutura de modelo conforme a seguinte equação (WOOD, 2006):

$$g(\mu_i) = X_i^* \theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}, x_{3i}) + f_3(x_{4i}) + \dots$$

Onde,  $\mu_i \equiv \mathbb{E}(y_i)$  e  $y_i$  uma distribuição da família exponencial,  $g$  é uma função de ligação conhecida, monotônica, duas vezes diferenciável;  $X_i^*$  é a  $i^{\text{th}}$  linha de uma matriz de modelo para qualquer componente do modelo estritamente paramétrico, com vetor de parâmetro  $\theta$ ;  $f_j$  são funções suavizadas das covariáveis  $x_j$ .

Foi utilizado o GAM logístico com valores de 1 para ocorrência e 0 para não ocorrência por serem dados binários. Os dados geoespaciais foram adicionados ao modelo e as variáveis explicativas adicionadas por funções suavizadas. Para selecionar as variáveis potenciais para ajuste do GAM, foi avaliada a concurvidade entre as variáveis, que ocorre quando uma variável pode influenciar a curva de outra variável. Problemas de concurvidade como este são muito comuns em modelos que incluem uma localização espacial e uma série de co-variáveis que, por sua vez, variam no espaço (WOOD, 2006), dessa forma, as variáveis que tiverem concurvidade acima de 0,5 foram excluídas do modelo.

Para cada ano e sub-região, foi gerado um GAM com amostras de treinamento (70% dos dados) e as variáveis explicativas selecionadas (considerando os resultados das

análises de concurvidade), sendo retiradas as variáveis que não atingiram um nível mínimo de 5% para o p-valor do teste Z de modo a ajustar o modelo final e identificar os fatores associados. Para verificar a capacidade de predição de cada modelo, dado um conjunto de dados de validação (30% dos dados) foi calculada a curva AUC (do inglês, *Area Under The Curve*) a qual é derivada da curva ROC (do inglês, *Receiver Operating Characteristics*) (MUSCHELLI III, 2020).

Para avaliação da associação de cada fator com a ocorrência de área queimada em cada sub-região para cada ano, foi utilizado *odds ratio* que se constitui na razão entre a chance de um evento ocorrer e a chance de o evento não ocorrer (NORTON et al., 2018). *Odds ratio* com valor 1 indica que as chances de ocorrer área queimada e de não ocorrer área queimada são iguais. Valor maior do que 1 indica haver mais chance de ocorrência de queimadas, sendo mais forte quanto maior for o número. Valor menor do que 1 indica haver mais chance de não ocorrer queimadas do que de ocorrer.

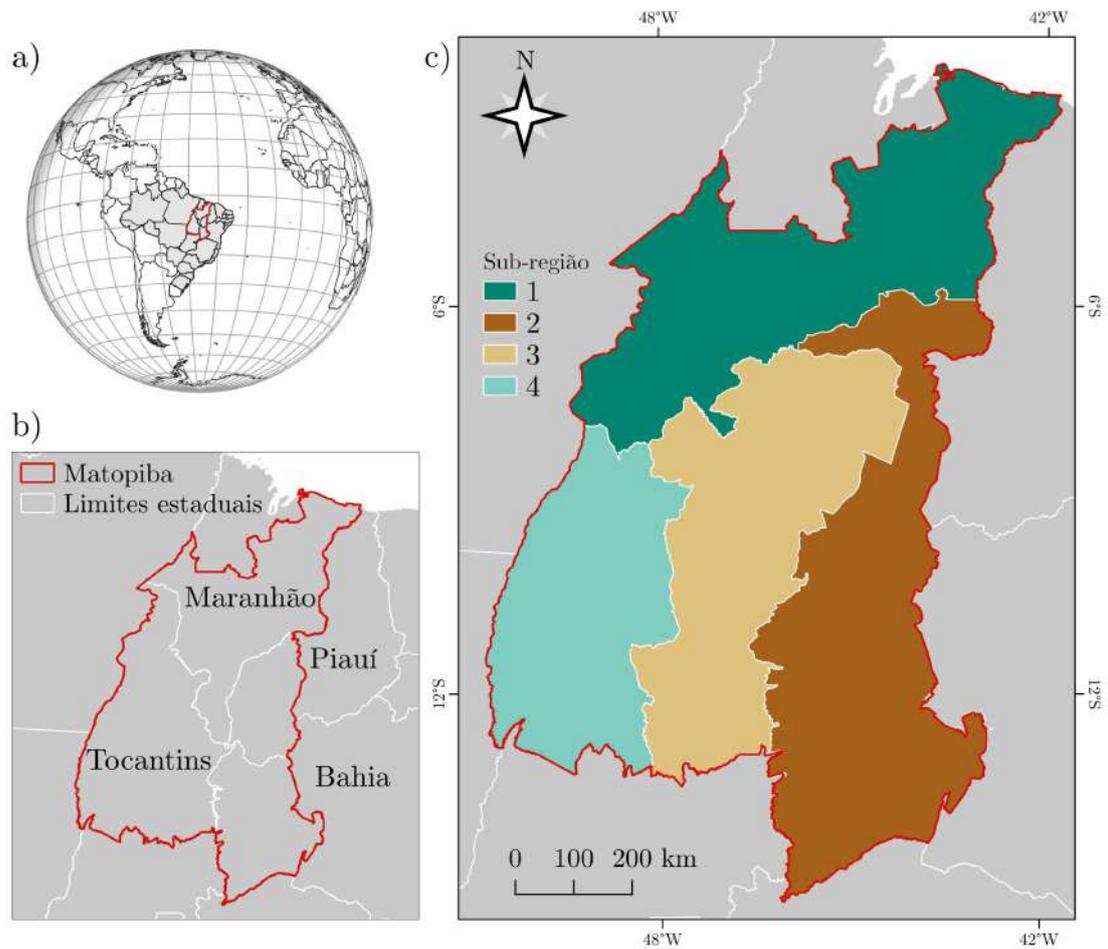
### 4.3 Resultados

#### 4.3.1 Regionalização

A delimitação das sub-regiões resultantes da aplicação do método *skater* agruparam as microrregiões da parte norte (sub-região 1), sudeste (sub-região 2), centro-sul (sub-região 3) e sudoeste (sub-região 4) do território Matopiba (Figura 4.3c), com as seguintes áreas, respectivamente: 203.704,3km<sup>2</sup>, 213.219,1km<sup>2</sup>, 179.566,8km<sup>2</sup> e 134.779,4km<sup>2</sup>.

A sub-região 1 é caracterizada pela presença de microrregiões com transição entre os biomas Cerrado e Amazônia e a sub-região 2 pelos biomas Cerrado e Caatinga. As sub-regiões 3 e 4 se localizam no Bioma Cerrado. Observou-se que as sub-regiões 1 e 4 são caracterizadas pelo agrupamento de microrregiões com os maiores valores de precipitação nos três meses mais chuvosos do ano e a sub-região 2 pelo agrupamento das microrregiões com os menores valores. As sub-regiões 2 e 3 são caracterizadas pelo agrupamento com microrregiões que apresentam maiores porcentagens de área com lavoura e a sub-região 1 com menores valores. Já para pecuária, a sub-região 4 é caracterizada pela agregação com microrregiões que apresentam maior porcentagem de área. A abrangência geográfica e a descrição das características de cada sub-região estão descritas na Tabela 4.4.

Figura 4.3 - Sub-regiões delimitadas pelo método skater.



a) Localização do Matopiba; b) Região do Matopiba e limites estaduais; c) Sub-regiões. Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites estaduais e de países do IBGE (2019).

Tabela 4.4 - Caracterização preliminar das sub-regiões correspondentes das classes resultantes da regionalização.

	<b>Abrangência geográfica</b>	<b>Características</b>
Sub-região: Classe 1	Compreende as microrregiões: Presidente Dutra (MA), Alto Mearim e Grajaú (MA), Médio Mearim (MA), Coelho Neto (MA), Codó (MA), Chapadinha (MA), Baixo Parnaíba Maranhense (MA), Lençóis Maranhenses (MA), Porto Franco (MA), Caxias (MA), Imperatriz (MA), Itapecuru Mirim (MA), Araguaína (TO) e Bico do Papagaio (TO).	Temperaturas mais elevadas entre setembro e novembro com média entre as microrregiões de $29 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ (média $\pm$ desvio padrão) nesses meses e concentração da precipitação acumulada média entre as microrregiões no início do ano com $666,9 \pm 127,9\text{mm}$ de janeiro a março e os períodos mais secos entre os meses de agosto e setembro. A região é uma transição entre os biomas Cerrado e Amazônia. O uso da terra com porcentagem média de área entre as microrregiões de $3,5 \pm 1,9\%$ de área com lavoura e de $20,5 \pm 16,4\%$ com pecuária e $12,3 \pm 7,2\%$ de área com agricultura familiar.
Sub-região: Classe 2	Compreende as microrregiões: Cotegipe (BA), Bom Jesus da Lapa (BA), Chapadas do Extremo Sul Piauiense (PI), Alto Médio Gurguéia (PI), Chapadas do Alto Itapecuru (MA), Barreiras (BA), Bertolândia (PI), Santa Maria da Vitória (BA).	Temperaturas mais elevadas entre setembro e novembro com média entre as microrregiões de $28,7 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ (média $\pm$ desvio padrão) nesses meses e concentração da precipitação acumulada média entre as microrregiões no início do ano com $378,7 \pm 69,8\text{mm}$ de janeiro a março e os períodos mais secos entre os meses de junho e setembro. A região é uma transição entre os biomas Cerrado e Caatinga. O uso da terra com porcentagem média de área entre as microrregiões de $8,6 \pm 10,39\%$ de área com lavoura e de $13 \pm 7,1\%$ com pecuária e $11,7 \pm 6,9\%$ de área com agricultura familiar.
Sub-região: Classe 3	Compreende as microrregiões: Alto Parnaíba Piauiense (PI), Chapadas das Mangabeiras (MA), Gerais de Balsas (MA), Dianópolis (TO), Jalapão (TO).	Temperaturas mais elevadas entre setembro e novembro com média entre as microrregiões de $29 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ (média $\pm$ desvio padrão) nesses meses e concentração da precipitação acumulada média entre as microrregiões no início do ano com $516 \pm 80,2\text{mm}$ de janeiro a março e os períodos mais secos entre os meses de junho e setembro. A região se localiza no bioma Cerrado. O uso da terra com porcentagem média de área entre as microrregiões de $10,3 \pm 8\%$ de área com lavoura e de $13 \pm 7,2\%$ com pecuária e $7,4 \pm 2,4\%$ de área com agricultura familiar.
Sub-região: Classe 4	Compreende as microrregiões: Porto Nacional (TO), Gurupi (TO), Rio Formoso (TO), Miracema do Tocantins (TO).	Temperaturas mais elevadas entre agosto e outubro com média entre as microrregiões de $29,6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (média $\pm$ desvio padrão) nesses meses e concentração da precipitação acumulada média entre as microrregiões no início do ano com $665,5 \pm 16,46\text{mm}$ de janeiro a março e os períodos mais secos entre os meses de junho e agosto. A região se localiza no bioma Cerrado. O uso da terra com porcentagem média de área entre as microrregiões de $7 \pm 3,4\%$ de área com lavoura e de $34,5 \pm 11\%$ com pecuária e $11,2 \pm 4,4\%$ de área com agricultura familiar.

### 4.3.2 Caracterização do período de queimadas

Para cada sub-região, utilizando o histórico de ocorrência de área queimada do período de 2001 a 2021, os valores médios mensais de área queimada, o período de acúmulo de combustível, período de queimadas, o mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada são apresentados nas Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7). Para as quatro sub-regiões, o período de acúmulo de combustível vai de setembro até setembro do ano posterior, sendo setembro o mês de pico de queimadas. Nas sub-regiões 1 e 2, o período de queimadas vai de julho até novembro, na sub-região 3 de junho até outubro e na sub-região 4 de julho até outubro.

Figura 4.4 - Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 1. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal.

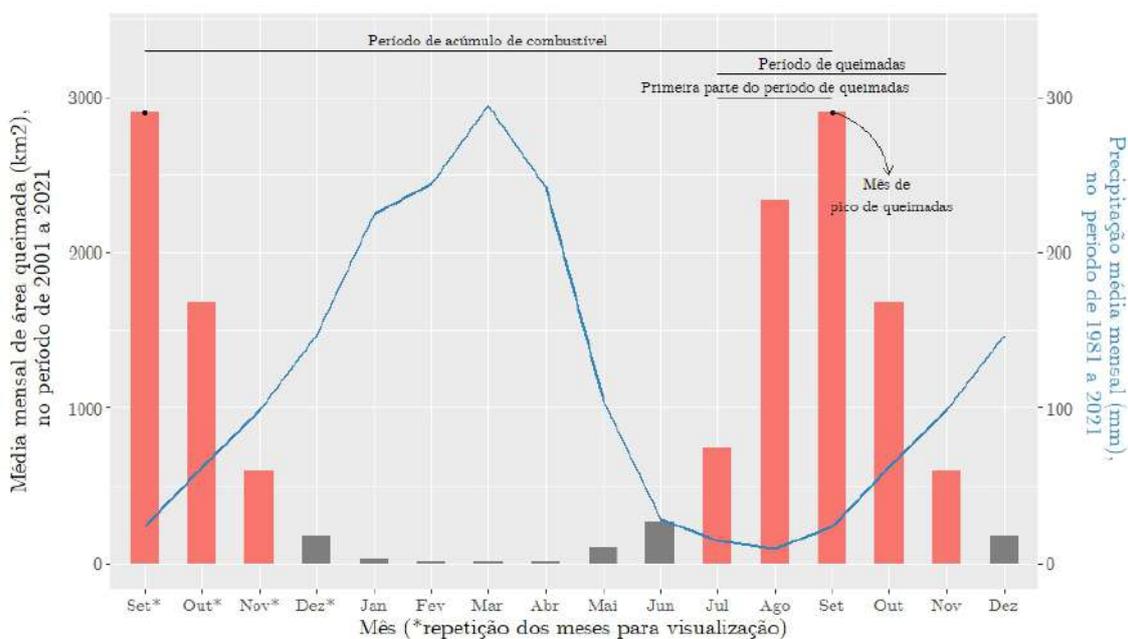


Figura 4.5 - Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 2. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal.

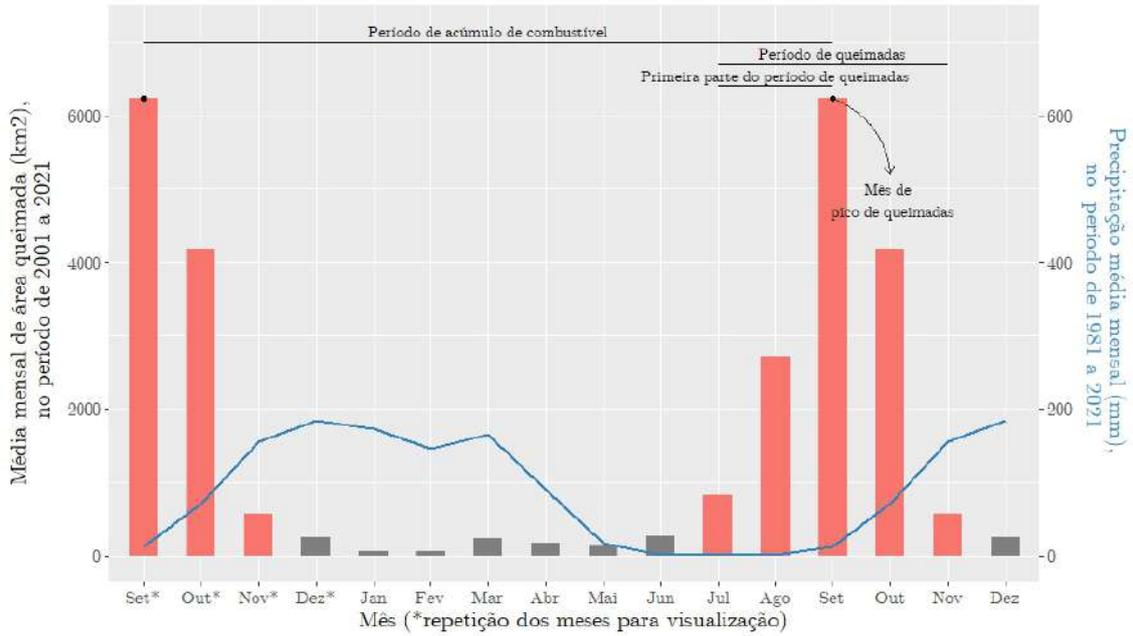


Figura 4.6 - Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 3. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal.

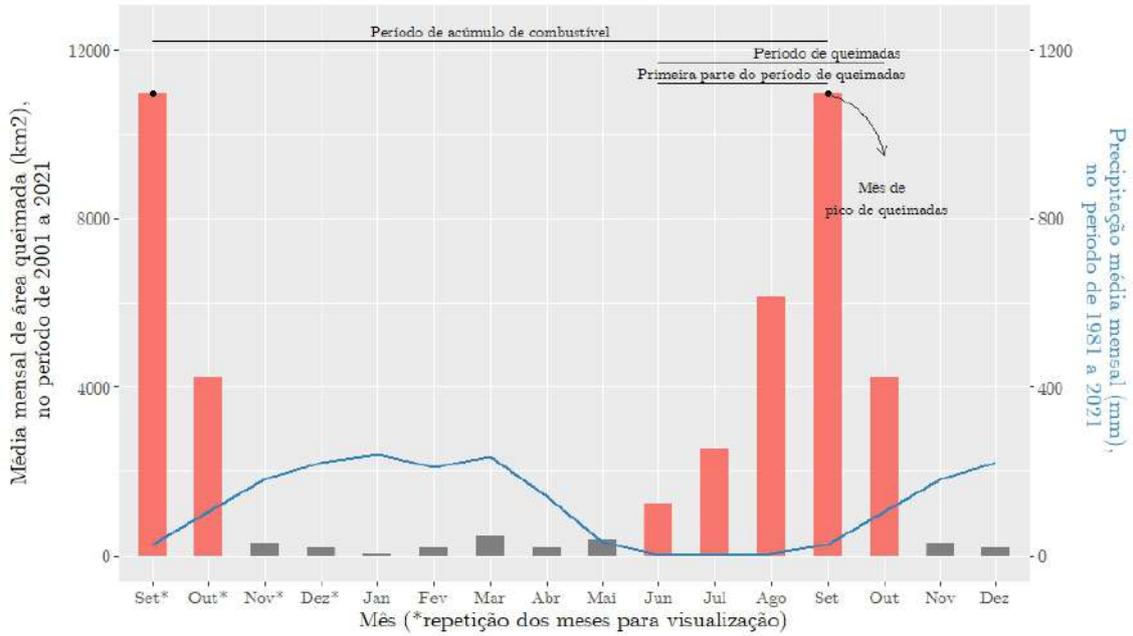
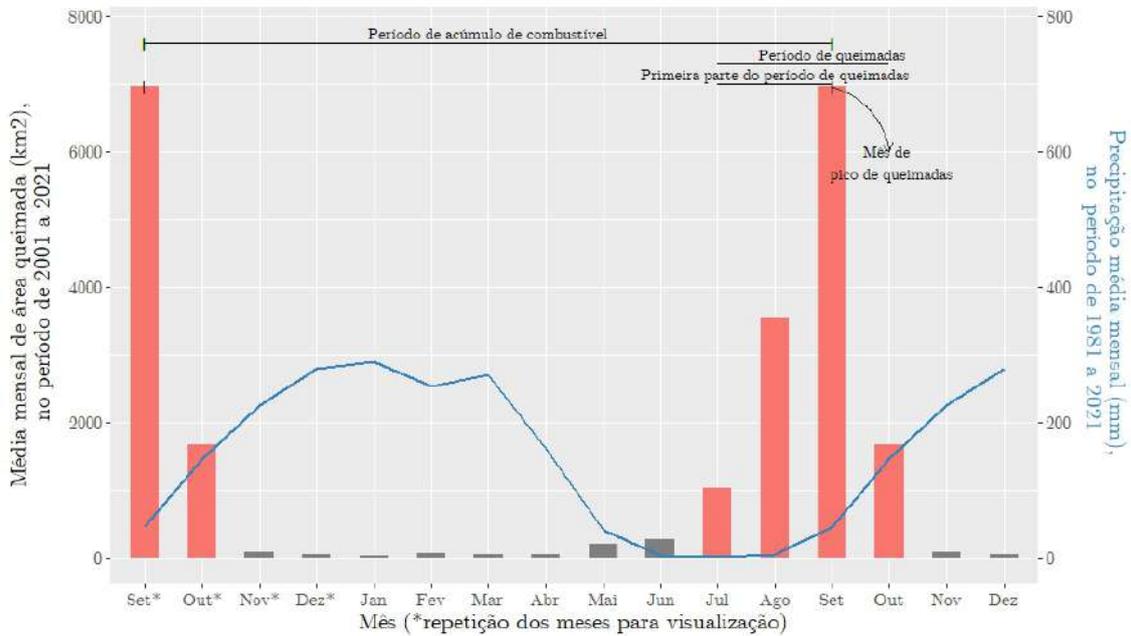


Figura 4.7 - Gráfico do período de acúmulo de combustível, período de queimadas, mês de pico de queimadas e a primeira parte do período de queimada para a sub-região 4. As barras vermelhas se referem à média mensal de área queimada, e a linha azul se refere à precipitação média mensal.



#### 4.3.3 Fatores associados à ocorrência de área queimada

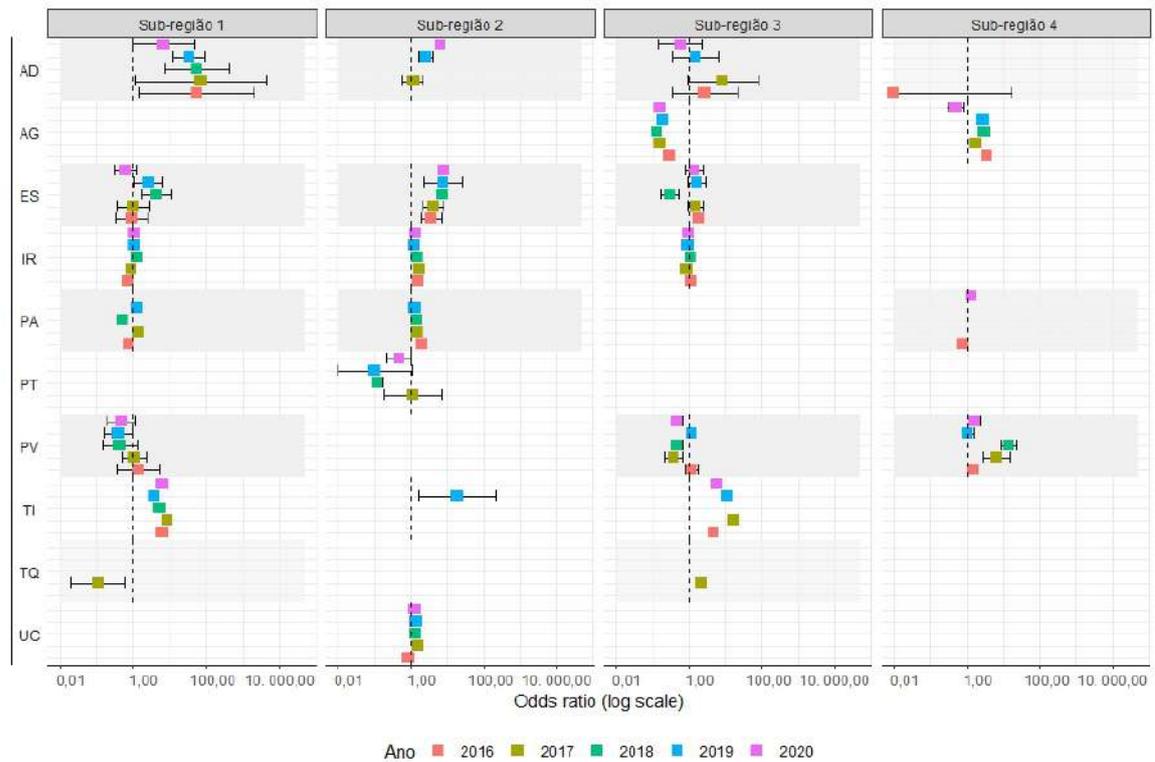
Com base nos modelos aditivos generalizados ajustados para cada sub-região e para cada ano de 2016 a 2020, identificamos seis variáveis de fatores ambientais associados ao fogo dentre as nove variáveis analisadas. Quanto aos fatores antrópicos, todas as variáveis foram identificadas em pelo menos um dos modelos gerados. Os modelos gerados apresentaram AUC/ROC acima de 0,81 para a sub-região 1, de 0,79 para a sub-região 2, de 0,73 para a sub-região 3 e de 0,89 para a sub-região 4 (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Modelos selecionados para cada ano de cada sub-região (q = ocorrência de queimadas, x = longitude, y= latitude, DC = declividade, FF = formação florestal, FS = formação savânica, FC = formação campestre, CA = campo alagado, DP = Dias sem precipitação, AG = agricultura, PT = pastagem, AD = área desmatada, IR = imóvel rural privado, PA = projeto de assentamento, TQ = território quilombola, TI = terra indígena, UC = unidade de conservação, ES = estradas, PV = povoamentos).

Sub-região	Ano	Modelo	AUC
1	2016	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FC}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{PA}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.81
	2017	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FC}) + s(\text{CA}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{PA}) + s(\text{TQ}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.82
	2018	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DP}) + s(\text{FF}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{PA}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.84
	2019	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FC}) + s(\text{CA}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{PA}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.85
	2020	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FC}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.83
2	2016	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{CA}) + s(\text{ES}) + s(\text{PA}) + s(\text{IR}) + s(\text{UC})$	0.80
	2017	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{CA}) + s(\text{PT}) + s(\text{ES}) + s(\text{PA}) + s(\text{IR}) + s(\text{UC}) + s(\text{AD})$	0.82
	2018	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{PT}) + s(\text{ES}) + s(\text{PA}) + s(\text{IR}) + s(\text{UC})$	0.80
	2019	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DP}) + s(\text{DC}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{CA}) + s(\text{PT}) + s(\text{ES}) + s(\text{PA}) + s(\text{IR}) + s(\text{UC}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.79
	2020	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{PT}) + s(\text{ES}) + s(\text{IR}) + s(\text{UC}) + s(\text{AD})$	0.80
3	2016	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{CA}) + s(\text{AG}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.74
	2017	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{CA}) + s(\text{AG}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{TQ}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.73
	2018	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{AG}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{IR})$	0.74
	2019	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{CA}) + s(\text{AG}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.74
	2020	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{DC}) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{CA}) + s(\text{AG}) + s(\text{ES}) + s(\text{PV}) + s(\text{IR}) + s(\text{TI}) + s(\text{AD})$	0.76
4	2016	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{AG}) + s(\text{PV}) + s(\text{PA}) + s(\text{AD})$	0.90
	2017	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{AG}) + s(\text{PV})$	0.89
	2018	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{AG}) + s(\text{PV})$	0.91
	2019	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{AG}) + s(\text{PV})$	0.98
	2020	$q \sim s(x, y, k = 100) + s(\text{FF}) + s(\text{FS}) + s(\text{FC}) + s(\text{AG}) + s(\text{PV}) + s(\text{PA})$	0.89

Calculamos *odds ratio* das variáveis antropogênicas selecionadas de cada modelo (Figure 4.8) e os valores estão dispostos na Tabela A.1 no Apêndice A.2. Valores acima de 1, indicam que há mais chances de ocorrer queimadas do que não ocorrer, já valores abaixo de 1, indicam que há mais chances de não ocorrer. Valor igual a 1, indicam que a chance de ocorrer e não ocorrer é semelhante.

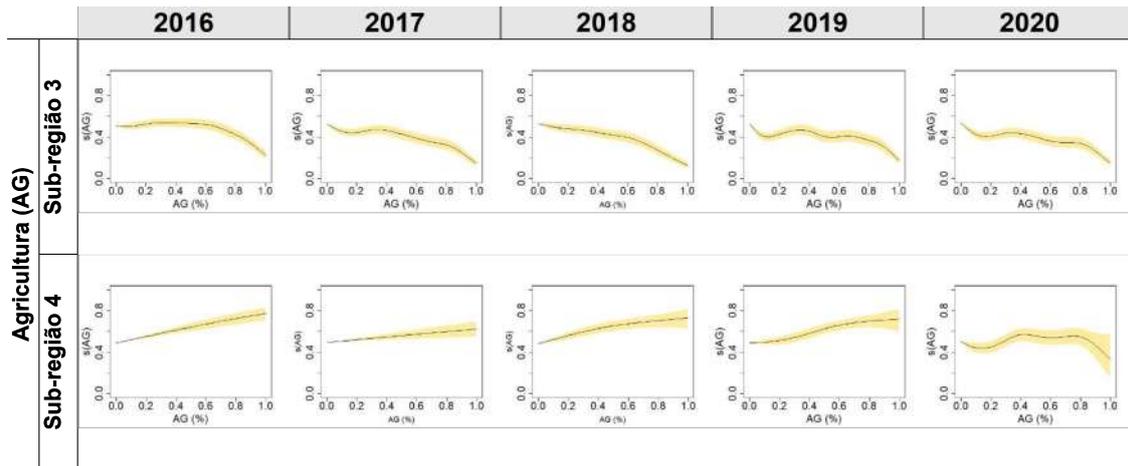
Figura 4.8 - *Odds ratio* de variáveis antropogênicas selecionadas, traços pretos indicam intervalo de confiança (AD = área desmatada, AG = agricultura, ES = estradas, PA = projeto de assentamento, IR = imóvel rural privado, PT = pastagem, PV = povoadamentos, TI = terra indígena, TQ = território quilombola, UC = unidade de conservação). As áreas sombreadas de cinza são para facilitar a visualização dos resultados das diferentes variáveis.



A associação entre área queimada e agricultura foi identificada na sub-região 3 e 4 (Figura 4.8). Para a região 3, a chance de ocorrer queimadas em áreas com agricultura é menor do que a de não ocorrer, com probabilidade em torno de 20% (Figura 4.9). Já para a sub-região 4, com exceção do ano de 2020, ocorreu o inverso, a chance

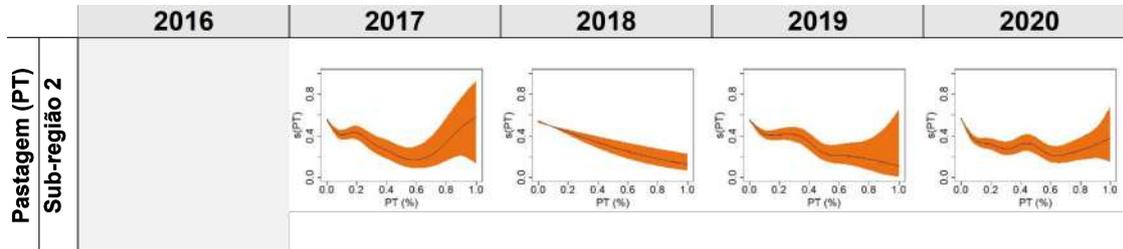
de ocorrer queimadas em áreas com agricultura é maior do que a de não ocorrer, com probabilidade acima de 50%.

Figura 4.9 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura por agricultura. (AG = % de cobertura da célula com agricultura, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com área de agricultura).



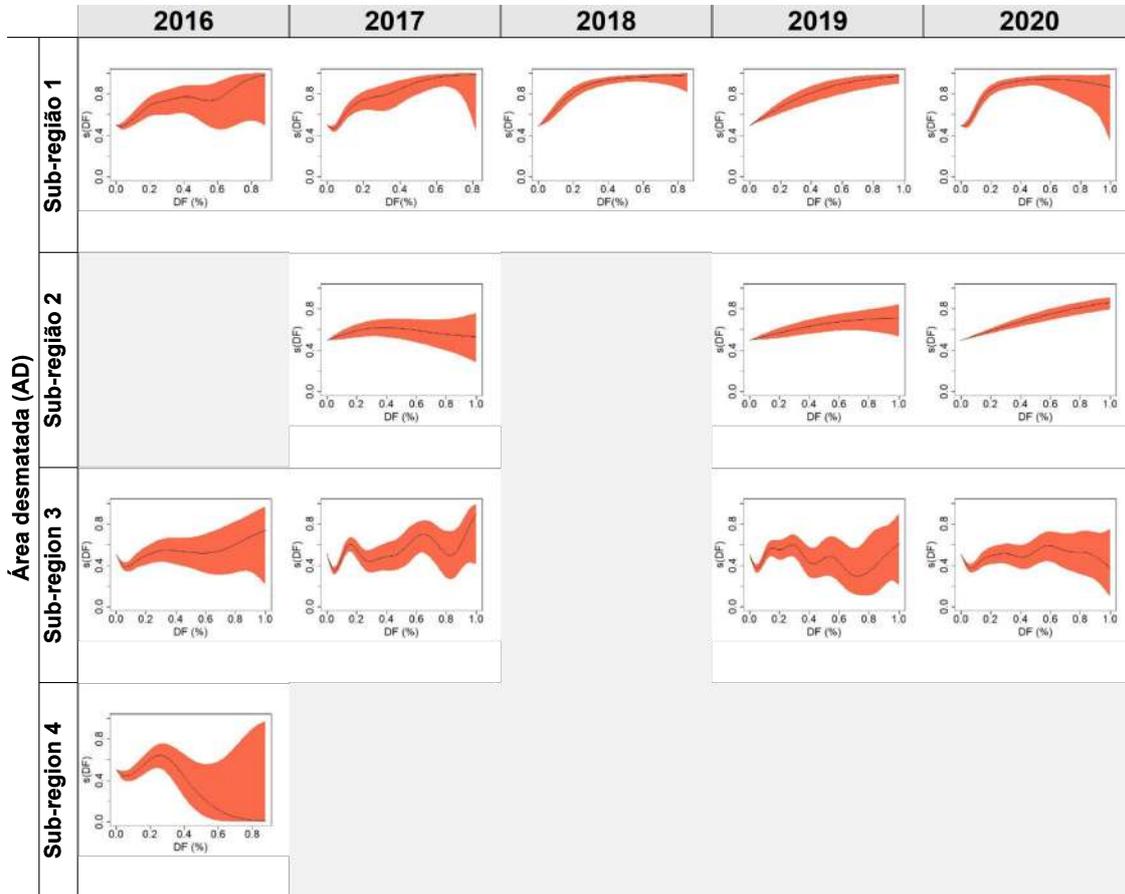
A associação de áreas queimadas com áreas de pastagem foi identificada somente na sub-região 2, nos anos de 2017 a 2020. Em 2018, a chance de ocorrer queimadas em áreas de pastagens foi menor do que a chance de não ocorrer, com probabilidade menor que 20% (Figura 4.10). A curva suavizada e *odds ratio* para o ano de 2017, 2019 e 2020 apresentam amplitude no intervalo de confiança que gera incertezas sobre a associação em áreas com pastagens para esses anos.

Figura 4.10 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura por pastagem das células (PT = % de cobertura da célula com pastagem, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com área de pastagem).



A área queimada associada ao desmatamento foi identificada para todas as sub-regiões. Para a sub-região 1, as áreas queimadas apresentaram mais chances de ocorrer do que de não ocorrer em áreas desmatadas, apresentando os maiores valores de *odds ratio* das variáveis analisadas (Figure 4.8), com probabilidade acima de 80% (Figura 4.11), entretanto para o ano de 2020 há incertezas devido ao amplo intervalo de confiança. Para a sub-região 2, nos anos de 2019 e 2020, as áreas queimadas também apresentaram mais chances de ocorrer em áreas desmatadas. Para o ano de 2017, a chance de ocorrer área queimada em área desmatada foi maior do que não ocorrer, mas apresentou amplitude no intervalo de confiança e a curva suavizada se manteve ao redor de 50% de probabilidade (Figura 4.11). Para sub-região 3 e 4, há uma instabilidade nas curvas com variação de probabilidades e amplitude no intervalo de confiança que gera incertezas sobre a associação com áreas desmatadas.

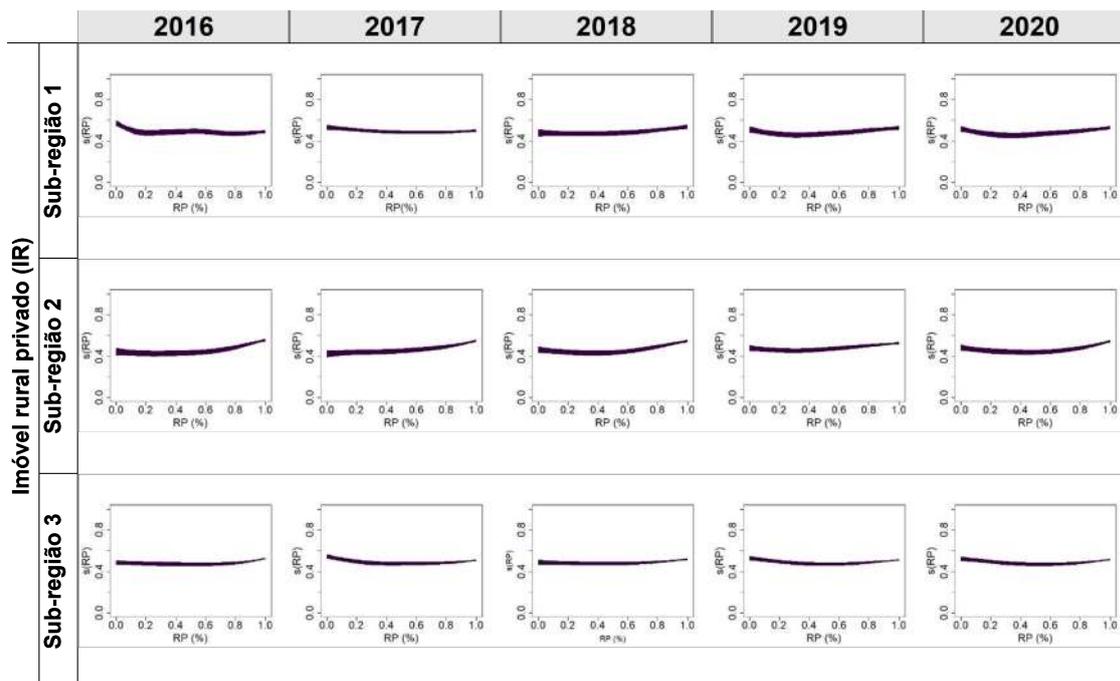
Figura 4.11 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura por área desmatada (AD = % de cobertura da célula com área desmatada, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com área desmatada no ano de ocorrência de queimada).



Identificamos as seguintes categorias fundiárias associadas à ocorrência de área queimada: imóvel rural privado, projetos de assentamento, territórios quilombolas, terras indígenas e unidades de conservação. A associação entre área queimada e imóvel rural privado ocorreu para todos os anos analisados nas sub-regiões 1, 2 e 3, com pouca variação na probabilidade de ocorrência de queimadas entre os anos e entre as sub-regiões (Figura 4.12). Na sub-região 1, houve menor chance de ocorrer queimadas em imóveis rurais privados em 2016 e 2017, e maior, nos anos de 2018, 2019 e 2020. Em todos os anos analisados, nas imóveis rurais privados da sub-região 2, houve maior chance de ocorrer queimadas do que não ocorrer. Na sub-região 3, em 2016 e

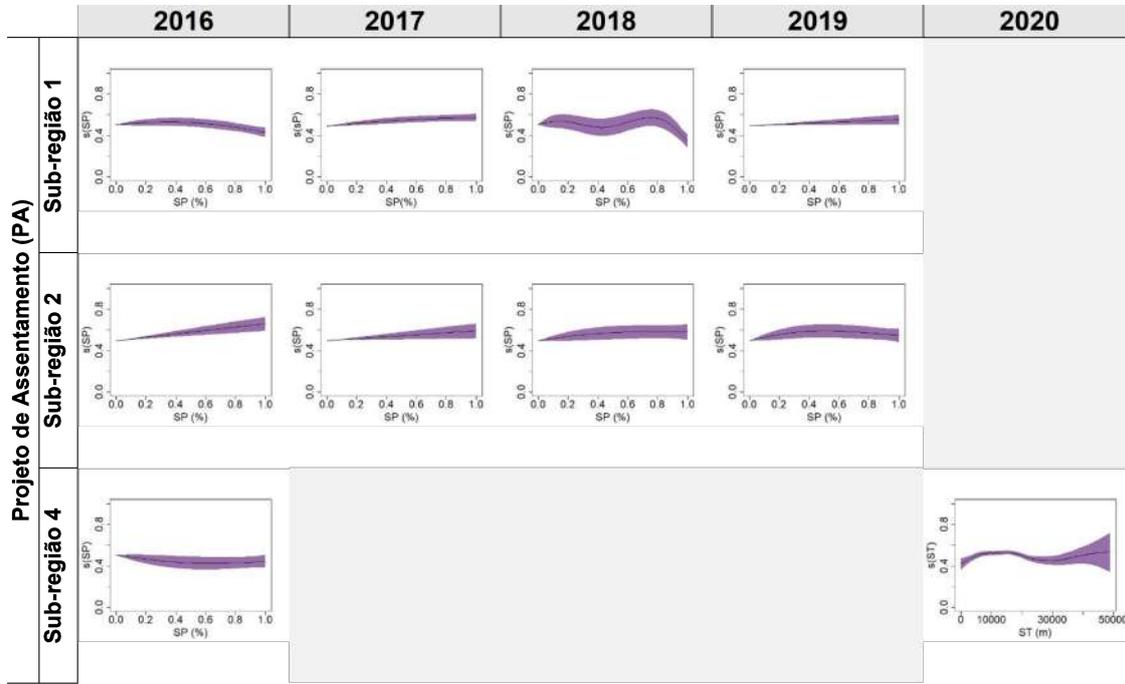
2018 houve maior chance de ocorrer queimadas e em 2017, 2019 e 2020, houve maior chance de não ocorrer queimadas nos imóveis rurais privados.

Figura 4.12 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por imóveis rurais privados (IR = % de cobertura da célula com imóveis rurais privados, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com imóveis rurais privados).



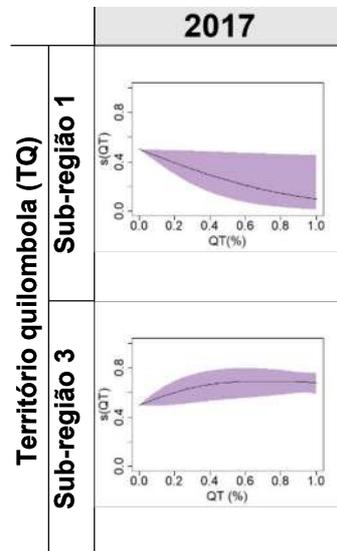
A associação entre área queimada e projetos de assentamento da reforma agrária ocorreu nas sub-regiões 1, 2 e 4. Na sub-região 1, nos anos 2016 e 2018 em projetos de assentamento houve mais chance de ocorrer queimadas do que não ocorrer, já para os anos 2017 e 2019, houve mais chance de não ocorrer. A probabilidade de ocorrer queimadas em áreas de projetos de assentamento foi mais baixa no ano de 2018 (Figura 4.13). Na sub-região 2, de 2016 a 2019, houve maior chance de ocorrer queimadas em projetos de assentamento do que não ocorrer. Na sub-região 4, a associação foi identificada no ano de 2016, com menor chance de ocorrer queimadas em projetos de assentamento, e no ano de 2020, com maior chance de ocorrer queimadas do que não ocorrer.

Figura 4.13 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por projetos de assentamento (PA= % de cobertura da célula com projetos de assentamento, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com projetos de assentamento).



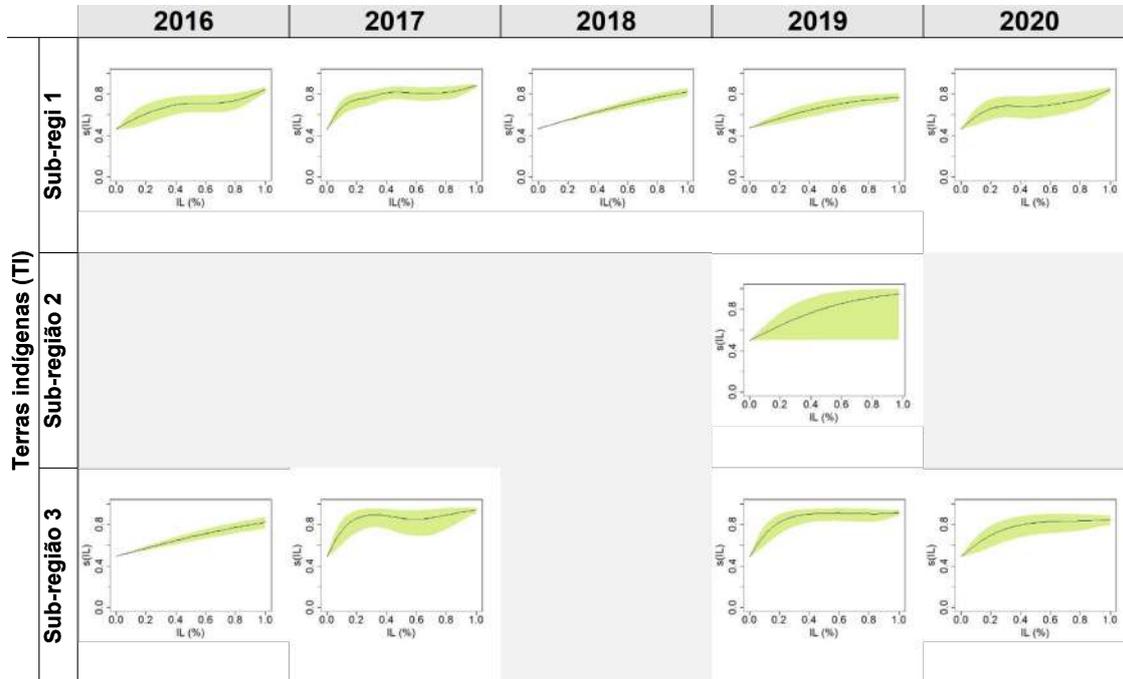
A associação entre territórios quilombolas e área queimada foi identificado nas sub-regiões 1 e 3 e somente no ano de 2017 (Figura 4.14). Na sub-região 1, houve menor chance de ocorrer queimadas do que não ocorrer nos territórios quilombolas, com probabilidade de ocorrência abaixo de 20%. Já na sub-região 3, a chance de ocorrer queimadas foi maior, com probabilidade acima de 60%. Não há território quilombola titulado na sub-região 4.

Figura 4.14 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por territórios quilombolas (TQ= % de cobertura da célula com territórios quilombolas, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com territórios quilombolas).



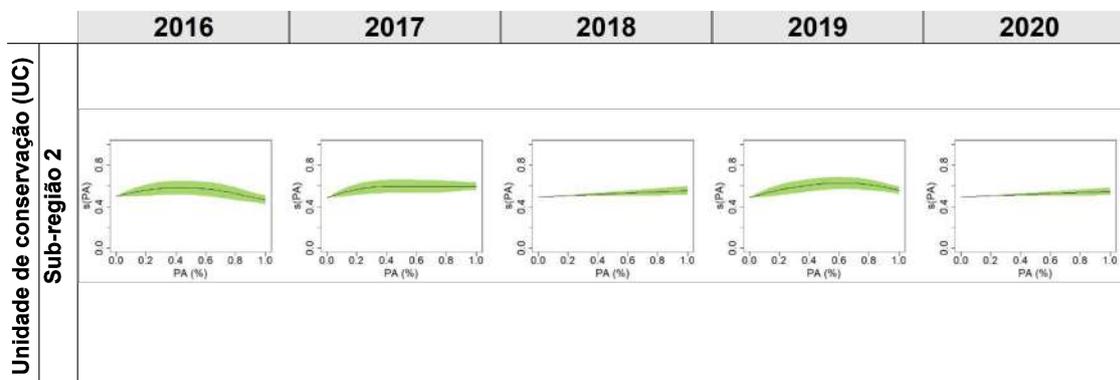
A associação entre área queimada e terras indígenas foi observada nas sub-regiões 1, para todos os anos analisados, na sub-região 2, para o ano de 2019, e na sub-região 3, para os anos 2016, 2017, 2018 e 2019. A chance de ocorrer área queimada em terras indígenas foi maior do que não ocorrer, com probabilidade acima de 80% na maioria das associações identificadas (Figura 4.15). Também observamos probabilidade acima de 80% no entorno da terra indígena, na sub-região 1, no ano 2017, na sub-região 2, no ano 2019 e na sub-região 3, nos anos 2017, 2019 e 2020.

Figura 4.15 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por terras indígenas (TI= % de cobertura da célula com terras indígenas, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com terras indígenas).



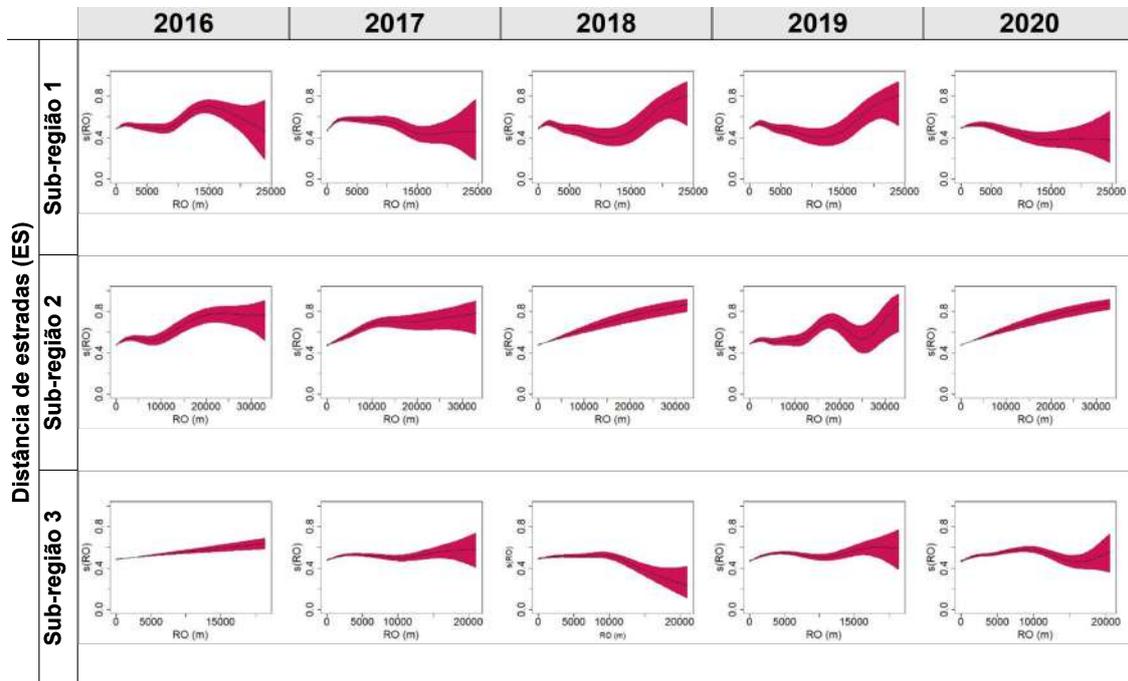
A associação entre unidades de conservação e área queimada foi observada somente na sub-região 2, para todos os anos analisados (Figura 4.16). Com chance menor de ocorrência de queimadas no ano 2016, e com maior chance nos anos 2017, 2018, 2019 e 2020. Foi possível observar um leve aumento na probabilidade de ocorrência de fogo no entorno da unidade de conservação nos anos 2016, 2017 e 2019.

Figura 4.16 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por unidades de conservação (UC= % de cobertura da célula com unidades de conservação, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com unidades de conservação).



A associação entre distância de estradas e área queimadas ocorreu nas sub-regiões 1, 3 e 4, com variação nas curvas entre os anos analisados (Figura 4.17). Na sub-região 1, nos anos de 2018 e 2019, houve maior chance de ocorrer queimadas do que não ocorrer na maior distância (25 km). Em todos os anos, nessa sub-região, houve um aumento na probabilidade por volta de 2 km. No ano de 2016, há um pico em 15 km com probabilidade de 70% de ocorrer área queimada, já para os anos 2017 e 2020, há um vale com menor probabilidade em torno de 15 km de distância de estradas. Na maior distância (25 km), nos anos de 2016, 2017 e 2020 houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre *odds ratio* na maior distância (25 km). Na sub-região 2, houve maior chance de ocorrer queimada com maior distância de estradas em 2016, 2017, 2018 e 2020. No ano de 2019 há uma instabilidade na curva após 15 km de distância. Na sub-região 3, em 2016 a chance de ocorrer queimadas é maior do que de não ocorrer na distância aproximada de 20 km, em 2018, a chance foi menor. Nos anos 2017, 2018 e 2019, houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre *odds ratio* na maior distância (20 km).

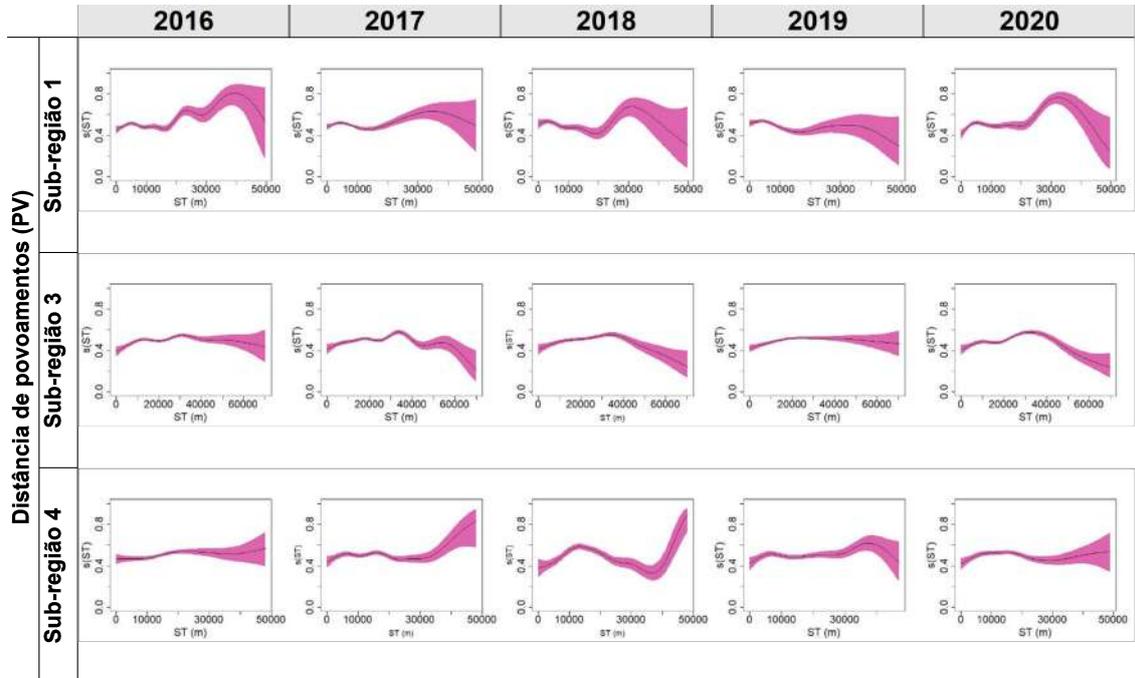
Figura 4.17 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a distância de estradas (ES = distância de estradas, em metros).



A distância de povoações foi associada a queimadas nas sub-regiões 1, 3 e 4, assim como na distância de estradas, houve variação entre os anos analisados (Figura 4.18). Na sub-região 1, no ano de 2019, na maior distância (50 km) há uma menor chance de ocorrer queimadas do que não ocorrer, a probabilidade é maior próxima dos povoações. Nos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019 houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre *odds ratio* na maior distância (50 km). Há pico de maior probabilidade de ocorrer entre 30 e 40 km nos anos de 2016, 2017, 2018 e 2020. Na sub-região 3, nos anos de 2017, 2018 e 2020, há menor chance de ocorrer queimadas na maior distância de povoamento (70 km), com pico de maior probabilidade em 35 km. Para os 2016 e 2019, houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre *odds ratio* na maior distância (70 km). Na sub-região 4, nos anos 2016, 2017, 2018 e 2020, na maior distância (50 km) há uma maior chance de ocorrer queimadas do que não ocorrer. Nessa distância, nos anos 2017 e 2018, a probabilidade ficou acima de 70%. No ano de 2019, houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo

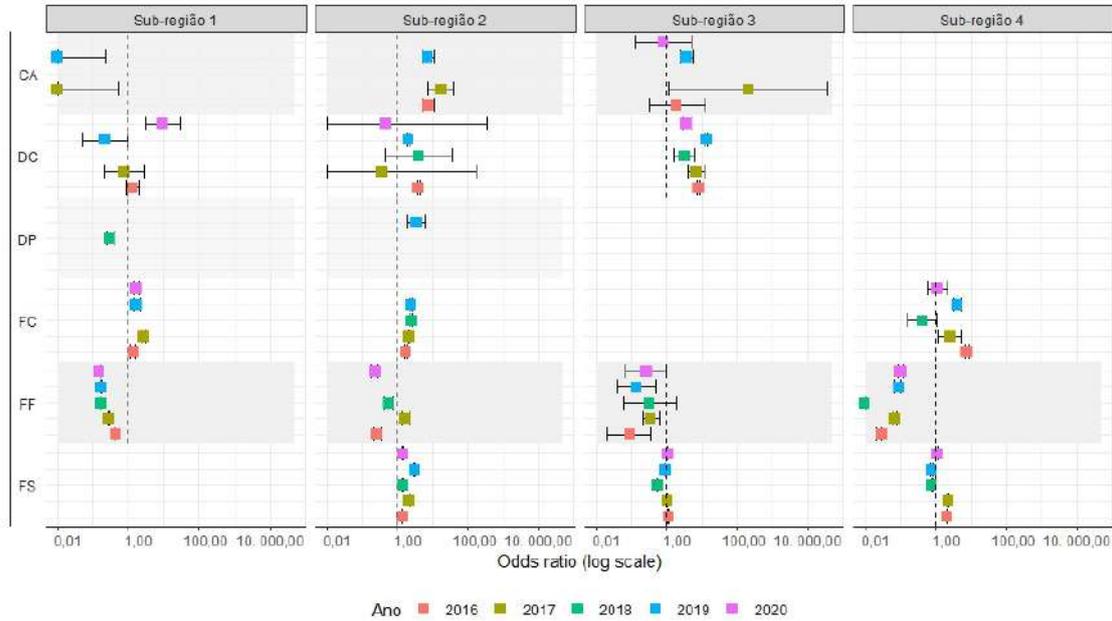
e acima de 1, gerando incertezas sobre *odds ratio* na maior distância (50 km).

Figura 4.18 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a distância de povoa-  
mentos (PV = distância de povoaamentos, em metros).



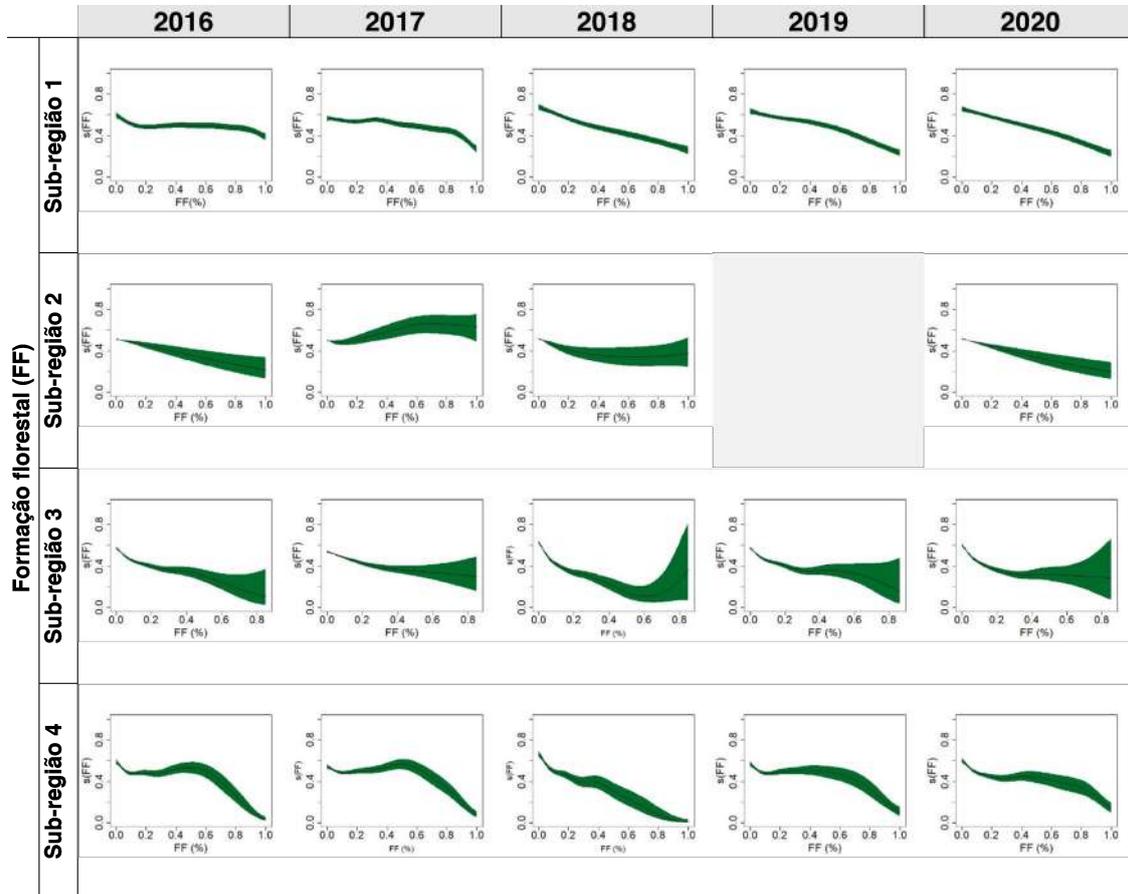
Calculamos *odds ratio* das variáveis antropogênicas selecionadas de cada modelo (Figura 4.19) e os valores estão dispostos na Tabela A.2.

Figura 4.19 - *Odds ratio* de variáveis ambientais selecionadas (CA = campo alagado, DC = declividade, DP = dias sem precipitação, FC = formação campestre, FF = formação florestal, FS = formação savânica). As áreas sombreadas de cinza são para facilitar a visualização dos resultados das diferentes variáveis.



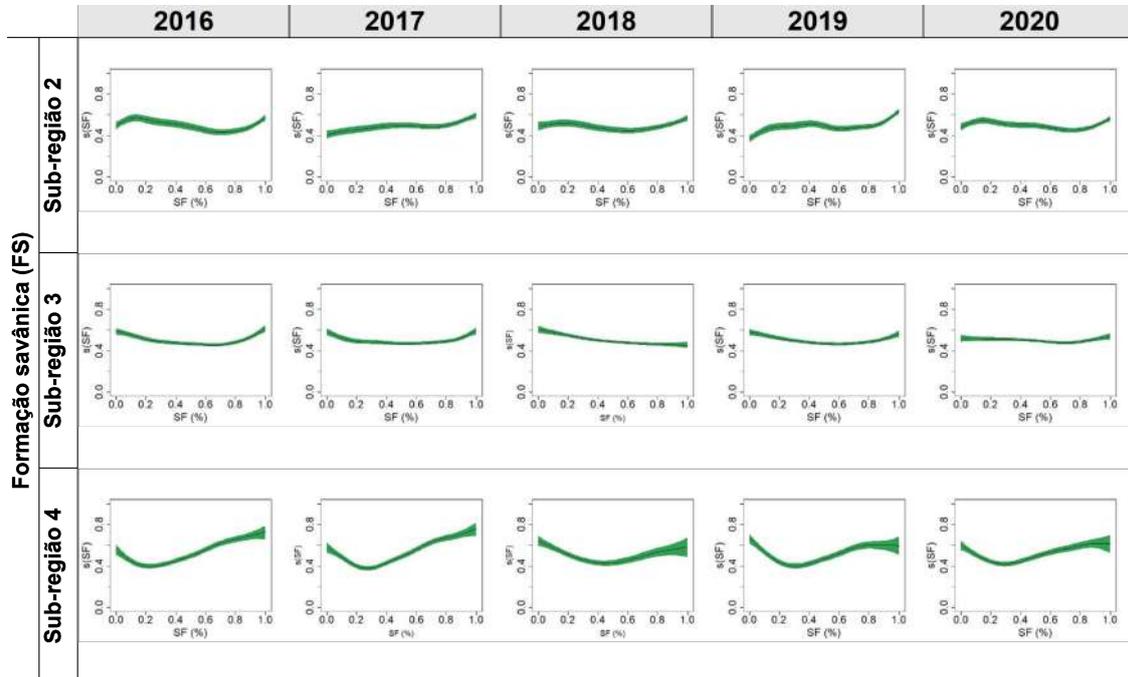
Identificamos a associação entre área queimadas e formações florestais nas 4 sub-regiões. Na sub-região 1 e 4, nos anos analisados, houve menor chance de ocorrer áreas queimadas nas formações florestais, com probabilidade abaixo de 40% na sub-região 1 e abaixo de 20% na sub-região 4 (Figura 4.20). Na sub-região 2, nos anos 2016, 2018 e 2020, houve menor chance de ocorrer áreas queimadas nas formações florestais, já para o ano de 2017, a chance de ocorrer queimadas foi maior. Na sub-região 3, nos anos 2016, 2017 e 2019, houve menor chance de ocorrer áreas queimadas nas formações florestais. Nos anos 2018 e 2020 houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre a razão de chances em formações florestais.

Figura 4.20 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por formações florestais (FF= % de cobertura da célula com formações florestais, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com formações florestais).



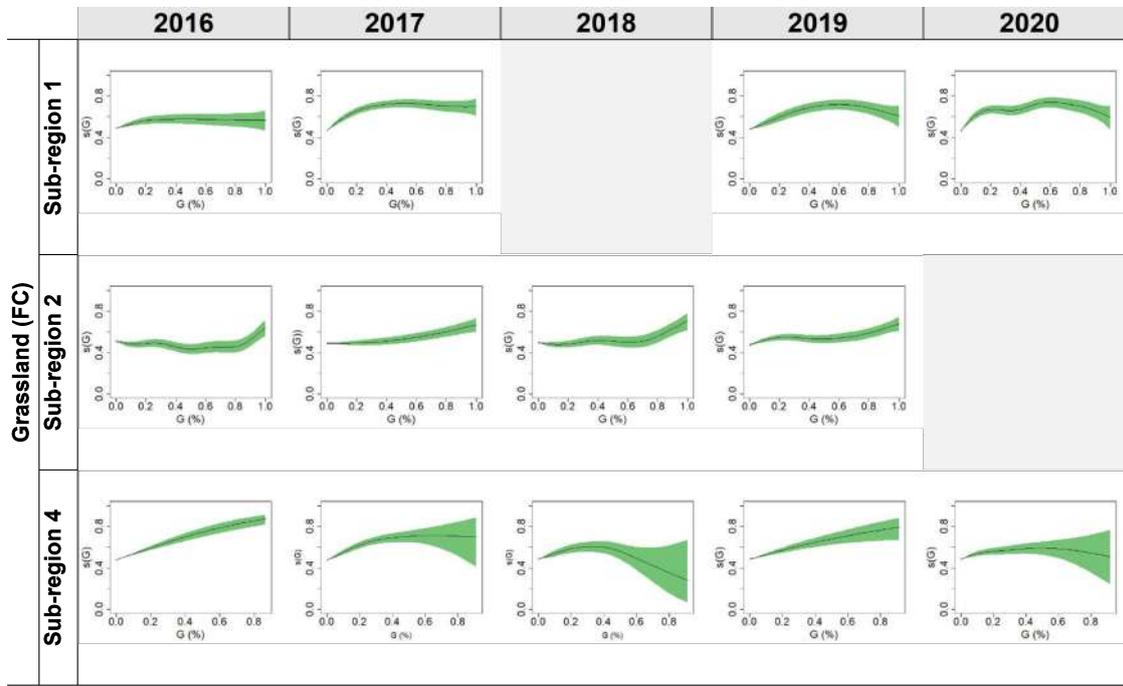
Identificamos a associação entre áreas queimadas e formações savânicas nas sub-regiões 2, 3 e 4 (Figura 4.21). Na sub-região 2, nos anos estudados, houve maior chance de ocorrer áreas queimadas nas formações savânicas do que não ocorrer. Para a sub-região 3 e 4, nos anos 2016, 2017 e 2020, houve maior chance de ocorrer áreas queimadas nas formações savânicas, e nos anos 2018 e 2019, houve menor chance.

Figura 4.21 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por formações savânicas (FS= % de cobertura da célula com formações savânicas, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com formações savânicas).



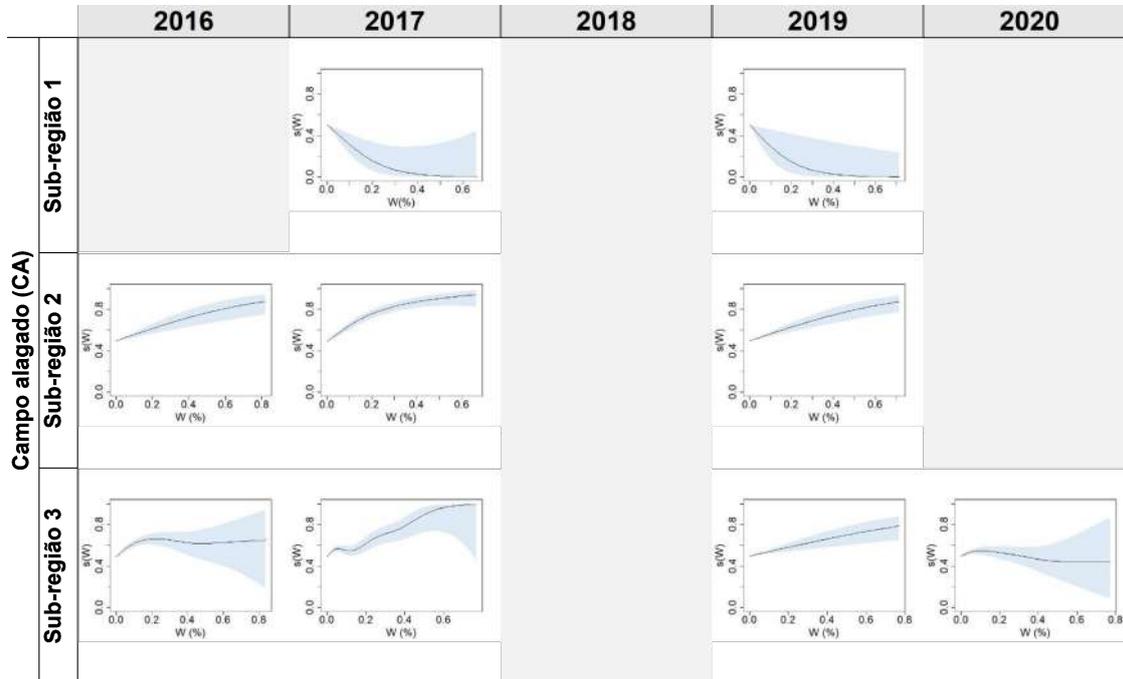
Identificamos a associação entre área queimadas e formações campestres nas sub-regiões 1, 2 e 4. Na sub-região 1, nos anos 2016, 2017, 2019 e 2020, e na sub-região 2, nos anos 2016 a 2019, houve maior chance de ocorrer áreas queimadas nas formações campestres do que não ocorrer. Na sub-região 4, nos anos 2016, 2017 e 2019 também houve maior chance de ocorrer área queimada, acima de 70% de probabilidade (Figura 4.22). Nos anos 2018 e 2020 houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre a razão de chances em formações campestres.

Figura 4.22 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por formações campestres (FC = % de cobertura da célula com formações campestres, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com formações campestres).



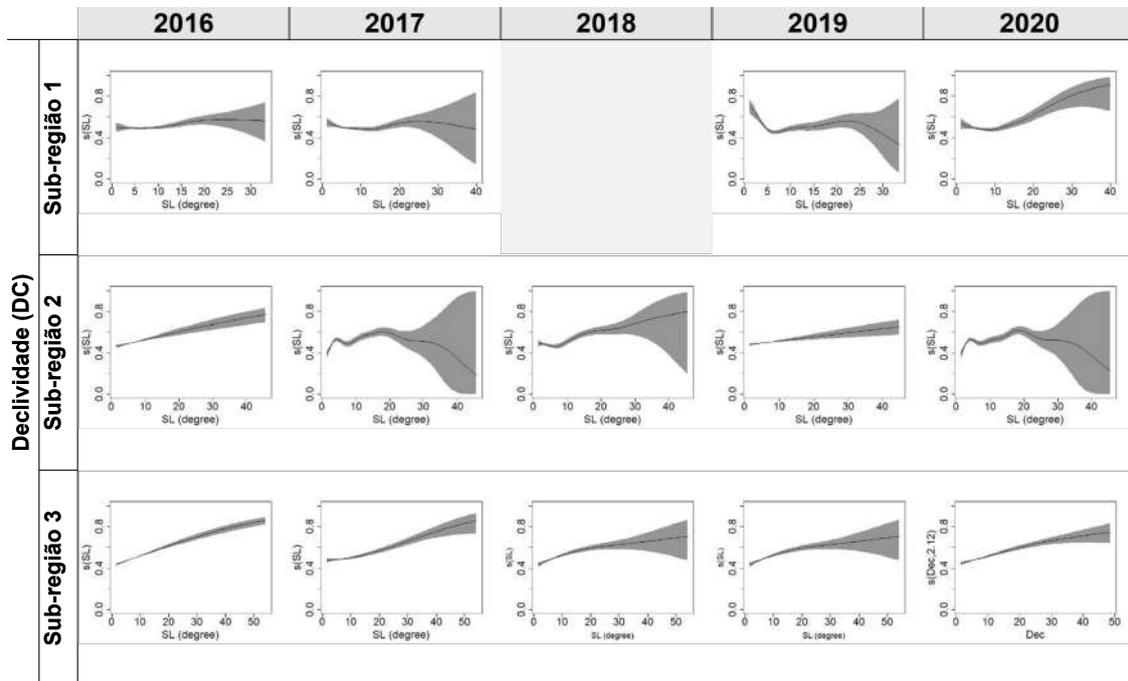
Identificamos a associação entre área queimada e campos alagados nas sub-regiões 1, 2 e 3. Na sub-região 1, nos anos 2017 e 2019, houve menor chance de ocorrer área queimada nos campos alagados, com probabilidades de ocorrência de queimadas abaixo de 40% (Figura 4.23). Na sub-região 2, nos anos 2016, 2017 e 2019, e na sub-região 3, nos anos 2017 e 2019, houve maior chance de ocorrer áreas queimadas nos campos alagados, acima de 70% de probabilidade de ocorrência de queimadas. Na sub-região 3, nos anos 2016 e 2020 houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre a razão de chances nos campos alagados.

Figura 4.23 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a cobertura da célula por campos alagados (CA= % de cobertura da célula com campos alagados, valor 1 nas abscissas indica 100% das células com campos alagados).



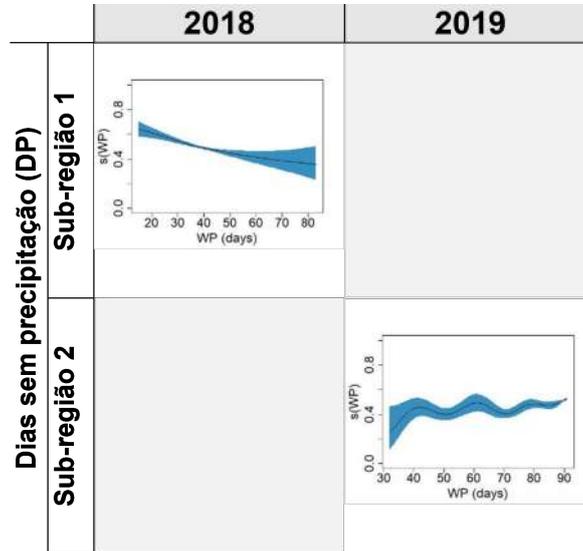
Identificamos associação entre área queimada e declividade nas sub-regiões 1, 2 e 3. Na sub-região 1, no ano 2020, na sub-região 2, nos anos 2016 e 2019, e em todos os anos analisado na sub-região 3, houve maior chance de ocorrer área queimadas em áreas declivosas, com probabilidade de ocorrer área queimada acima de 60% (Figura 4.24). Na sub-região 1, nos anos 2016, 2017 e 2019, na sub-região 2, nos anos 2017, 2018, 2020, houve amplitude no intervalo de confiança com valores abaixo e acima de 1, gerando incertezas sobre a razão de chances em área mais declivosas (40 – 50 graus).

Figura 4.24 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme a declividade (DC= declividade, em graus).



Das variáveis meteorológicas analisadas, somente o número de dias sem precipitação foi associado com área queimada (Figura 4.25), e apenas para a sub-região 1 para o ano 2018, com menor chance de área queimada em áreas com maior número de dias sem precipitação, e para a sub-região 2, no ano de 2019, que apresentou instabilidade na curva, gerando incertezas sobre a associação.

Figura 4.25 - Probabilidade da ocorrência de queimadas conforme o número de dias sem precipitação no período de queimadas (DP = dias sem precipitação).



#### 4.4 Discussão

A regionalização para delimitação de áreas mais homogêneas resultou em quatro sub-regiões com atributos meteorológicos, bioma e uso e cobertura da terra homogêneos. O agrupamento realizado é descritivo e não inferencial, utilizado para análise de fatores associados à ocorrência de queimadas. Esse agrupamento não é generalizável, pois dependente das variáveis usadas como base para medida de similaridade, entretanto a regionalização poderá ser utilizada em estudos similares sobre queimadas e incêndios. Uma limitação da regionalização é que não obedece à divisão político-administrativa estadual, pois estados diferentes possuem microrregiões agregadas espacialmente com semelhanças para os atributos analisados. Assim, a gestão estadual pode ficar pouco evidente durante as análises. Por outro lado, as sub-regiões geradas podem fornecer indicativos para estabelecer outros mecanismos de governança para um fenômeno que extrapola a gestão estadual.

Os resultados indicam haver uma heterogeneidade nos fatores associados à ocorrência de área queimada na região do Matopiba, variando no espaço e no tempo. Os efeitos das variáveis analisadas mostraram relações não lineares com ocorrência de áreas

queimadas, mudando as curvas de probabilidade dependendo do local e ano analisado sendo discutidas a seguir.

Identificamos haver associação positiva entre área queimada e desmatamento, o que também foi identificado em estudos na Amazônia (REIS et al., 2021; FONSECA et al., 2019). No bioma Cerrado, Schmidt e Eloy (2020) apontam duas formas que o fogo está associado ao desmatamento: por abertura de novas áreas para monocultura, com a queima de resíduos do desmatamento, e o fogo que atinge os remanescentes de vegetação nativa, causando incêndios no final da estação seca, nas áreas próximas das plantações.

A região do Matopiba contém as maiores áreas de vegetação nativa do Cerrado e com isso existe a possibilidade de novos desmatamentos, e conseqüentemente a ocorrência de queimadas. Considerando a legislação vigente, os proprietários podem desmatar até 65 – 80% da área de suas propriedades, dependendo de sua localização em relação à Amazônia Legal. O que é evidenciado por Rosan et al. (2022) que observaram uma tendência positiva de aumento da fragmentação, devido aos desmatamentos que vêm ocorrendo na região.

A agricultura de larga escala altamente mecanizada é característica da região do Matopiba. Esse manejo agrícola pode ou não incorporar o uso do fogo. Chen et al. (2013), em estudos sobre tendência de fogo, observaram que a atividade total do fogo diminuiu a uma taxa mais lenta do que o desmatamento, atribuindo que a ocorrência de incêndios pode continuar após o desmatamento inicial, seja para remover a biomassa residual para permitir a agricultura mecanizada ou para permitir a remoção de níveis mais altos de biomassa em clareiras mais recentes. Nossos resultados mostraram que na sub-região 3, onde há 10,3% da área com lavoura, principalmente cultivos de soja, milho e arroz (IBGE, 2017b), as áreas de agricultura apresentaram menor probabilidade de ocorrência de áreas queimadas, o que não ocorreu na sub-região 4, onde há 7% de área com lavoura caracterizada também pela produção de soja, milho e arroz. A probabilidade de área queimada na sub-região 4 foi acima de 50%. Uma hipótese para a diferença observada entre as duas sub-regiões é a diferença entre o manejo utilizado na produção agrícola, com o possível uso do fogo na sub-região 4 durante a preparação do solo, com a queimada de resíduos de culturas ou de vegetação secundária. Nos meses de agosto e setembro, em que a umidade relativa do ar é mais baixa e que precede a época de chuvas, também é época de preparação do solo para fins agrícolas, principalmente para plantio de soja e arroz.

Embora a pecuária seja uma das principais atividades econômicas no Matopiba e

esteja presente em todas as sub-regiões estudadas, somente na sub-região 2 e em 2018 foi identificada a associação com áreas queimadas, com probabilidade baixa de ocorrência de queimadas. O oeste baiano, localizado na sub-região 2, região que teve a maioria de suas áreas de pastagens convertidas para agricultura mecanizada (Santos et al., 2018), possui áreas remanescentes na região de transição com a caatinga. Ao longo dos anos, as áreas de pecuária tiveram suas pastagens naturais convertidas em pastagens plantadas, que diferem no manejo em relação ao uso do fogo. As pastagens plantadas com manejo tecnificado, com fertilização e mecanização exclui a necessidade do uso de fogo para rebrote das gramíneas, prática realizada em pastagens nativas. Adicionalmente, ao diminuir a biomassa de gramíneas, o pastoreio de gado também reduz a inflamabilidade do sistema e, portanto, o risco e a intensidade de incêndios florestais (DURIGAN et al., 2022). Em 2018, ano considerado mais úmido e com menos ocorrência de queimadas, as áreas de pastagem nessa sub-região não foram determinantes para ocorrência de fogo.

Os imóveis rurais privados apresentaram associação com área queimada em todos os anos nas sub-regiões 1, 2 e 3, o que também evidencia o uso do fogo em atividades agropecuárias. Na variável de imóveis rurais privados, não foi diferenciado o tamanho dos imóveis, que podem ser classificados como minifúndios, pequenos, médios e grandes propriedades, o que se torna uma limitação dessa abordagem. Em diferentes tamanhos de imóveis pode haver diferenças de manejo da terra. Como, por exemplo, o agricultor familiar, que utiliza o fogo como ferramenta em seu sistema produtivo de maneira diferente do produtor em grandes fazendas, que possuem maquinários para fazer o mesmo manejo. Além do uso do fogo, há questões relacionadas ao enfrentamento do fogo, capacidade de combate ao fogo, com disponibilidade de máquinas e funcionários. Dessa forma, essas nuances devem ser aprofundadas em novos estudos, considerando também a classe do tamanho do imóvel.

A associação entre área queimada e projetos de assentamento também foi reportada em estudos no estado do Mato Grosso do Sul (BACANI, 2016; GALIZIA; RODRIGUES, 2019) e no estado do Amazonas (REIS et al., 2021). No nosso estudo houve variação na probabilidade de ocorrência de queimadas dependendo da sub-região e do ano de análise. Na sub-região 1, onde há maior número de projetos de assentamentos ( $n = 693$ ), houve variação na probabilidade de ocorrência de queimadas dentro dessas áreas. No ano de 2018, onde houve menor ocorrência de área queimada, os projetos de assentamento da sub-região 1 não foram determinantes para ocorrência de fogo, o que não ocorreu na sub-região 2, que manteve a chance de ocorrência de queimadas maior do que a de não ocorrer em projetos de assentamento entre 2016 e

2019. Uma hipótese levantada para essa variação entre sub-regiões é a fase em que os projetos de assentamento estão. Os projetos de assentamentos são classificados conforme a fase em que se encontram no processo de criação, implantação, estruturação e consolidação do assentamento. O ato de consolidação do assentamento é quando é encerrada a disponibilização de investimentos de infraestrutura. Na sub-região 1 e 4, a maioria dos projetos de assentamento (57,7% e 54%, respectivamente) estão em fase de estruturação para posterior consolidação, já a maioria dos projetos de assentamento (57%) da sub-região 2, estão em fase inicial de criação do projeto de assentamento. Nessa fase inicial, as famílias estão se instalando nas parcelas destinadas à produção agrícola e o uso do fogo é comumente utilizado para limpeza dessa área e uma estrutura para combate ao fogo pode ainda não estar estabelecida. Nesse contexto, a associação com o fogo seria constante, como foi observado na sub-região 2. Na sub-região 3, onde há menos projetos de assentamento do que em outras regiões (n=38), não identificamos a associação com área queimada.

Os territórios quilombolas tiveram associação com área queimada apenas em 2017 e de forma antagônica entre as sub-regiões 1 e 3. Os territórios quilombolas da sub-região 1 foram um fator determinante para a não ocorrência de queimadas, com pequenas áreas queimadas atingindo 3 dos 31 territórios existentes nessa sub-região. Na sub-região 3, há 3 territórios quilombolas. Em um estudo realizado no bioma Cerrado, [Rocha e Nascimento \(2022\)](#) identificaram que os territórios quilombolas Barra da Aroeira e Kalunga do Mimoso, localizados na sub-região 3, são os territórios quilombolas com maior ocorrência de queimadas, embora haja uso tradicional do fogo pela população, a pressões externas aos seus territórios são as causas prováveis para os incêndios.

Diferente do documentado na literatura com a associação negativa entre queimadas e terras indígenas ([REIS et al., 2021](#)), encontramos probabilidade maior de ocorrência nessas áreas para as sub-regiões 1, 2 e 3. Na sub-região 1 são 18 terras indígenas, onde as queimadas que atingem a região, segundo o exposto em ([MELO et al., 2022](#)), são decorrentes de ação de fazendeiros, caçadores ilegais e madeireiros e também atrelados ao desmatamento e exploração madeireira ilegal. Análises realizadas por [Miranda et al. \(2022\)](#) indicam que a região da Terra Indígena Governador, localizada na sub-região 1 é uma área crítica em termos de incêndios florestais, com grandes áreas impactadas. Na mesma sub-região, [Melo et al. \(2021\)](#) analisaram o regime de fogo de 9 terras indígenas, identificando que maioria dos incêndios ocorreu entre junho e fins de novembro, atingindo um pico máximo em agosto, abordando uma possível relação entre o fogo e as questões socioambientais, principalmente no que diz

respeito à regularização fundiária nas Terras indígenas e riscos para as populações indígenas. Na sub-região 2, há duas terras indígenas: Fazenda Jenipapeiro e Vargem Alegre. Somente no ano de 2019 foi detectada queimada na Fazenda Jenipapeiro, o que explica a associação somente neste ano para essa sub-região. Na sub-região 3, há apenas a Terra Indígena Kraolândia, onde os indígenas utilizam o fogo para diversas finalidades como: limpeza e preparação do terreno, para caça, estímulo para frutificação, proteção de roças, manejo de pastagem, entre outros (MISTRY et al., 2005). As queimadas ocorrem durante toda a estação seca, formando um mosaico de queimadas. Também há as queimadas decorrentes de conflitos sobre o uso de recursos naturais. Rorato et al. (2021) investigaram as principais ameaças relacionadas à degradação ambiental que afetam as terras indígenas na Amazônia Legal, que cobre parcialmente áreas do Matopiba. As terras indígenas da sub-região 1 apresentaram maior severidade da maioria das ameaças dentro e fora de seus limites, com destaque para a maior prevalência de áreas de cultivo, pastagens e degradação florestal. A Terra Indígena Kraolândia (sub-região 3) está inserida no grupo com maior quantidade de áreas queimadas e alta densidade de vias dentro e fora das terras indígenas.

Na sub-região 4 que não apresentou associação entre terras indígenas e área queimada, há a implementação de manejo integrado do fogo com o uso de queima prescrita desde 2015, com diminuição das áreas afetadas por alta recorrência de fogo e mudanças na sazonalidade do fogo, diminuindo os incêndios florestais extremos no final da estação seca nas Terras Indígenas Xerente e Araguaia (SANTOS et al., 2021).

No Matopiba há conflitos de terras onde o uso do fogo é utilizado para intimidação e ocupação das terras das populações tradicionais e indígenas (CABRAL et al., 2023; RAMOS JUNIOR et al., 2023; RORATO et al., 2021). Esse fator não foi abarcado no presente trabalho, em função do uso de dados de bases oficiais que consideram os territórios já titulados, no caso de territórios quilombolas, e os demarcados, no caso das terras indígenas, e assim, pode não abranger todos os territórios em conflito.

No Matopiba, são 17 unidades de conservação de proteção integral e 34 de uso sustentável. As unidades de conservação brasileiras são divididas em dois grupos com objetivos de conservação diferentes: as de proteção integral, com objetivo de preservação da natureza, onde há restrições para as atividades econômicas, e as de uso sustentável, onde atividades econômicas com uso direto dos recursos naturais é permitido, mas podem ser estabelecidas normas e restrições, mesmo em imóveis

rurais privados. Em áreas de cerrado, Rocha e Nascimento (2022) identificou que, tanto no caso das unidades de conservação de Proteção Integral quanto nas de Uso Sustentável, há maior incidência de queimadas naquelas situadas na região do Matopiba. Entretanto, a associação positiva com áreas queimadas foi observada somente na sub-região 2, onde há 11 unidades de conservação (5 proteção integral e 6 uso sustentável).

Embora sejam criadas para conservação da biodiversidade, as unidades de conservação são áreas que convivem com pressão externa de extração de recursos naturais e conversão de áreas para agricultura e pecuária. Mataveli et al. (2021) identificaram uma tendência crescente de desmatamento em duas unidades de conservação de proteção integral localizadas no leste do Matopiba, área correspondente a sub-região 2, e observou, após 2017, o aumento do desmatamento anual nas Unidades de Conservação Rio Preto e Bacia do Rio de Janeiro com conversão de áreas para agricultura e pastagens, o que coincide com o identificado em nosso estudo, onde houve maior probabilidade de ocorrência de queimadas em unidades de conservação identificadas nos anos após 2017. Essa relação pode ser explicada pelo uso do fogo associado ao desmatamento. As duas unidades de conservação analisadas não possuem uma política de manejo do fogo estabelecida.

Em terras indígenas e unidades de conservação é apontado que uma política de supressão de fogo, associada a condições climáticas, é um dos fatores que podem explicar as mudanças no regime de fogo em um ecossistema dependente do fogo, como o Cerrado (SCHMIDT; ELOY, 2020). Nesse contexto, uma alternativa para evitar extensas áreas queimadas na vegetação nativa é o manejo integrado do fogo (MIF). O MIF considera a utilização do fogo pelas comunidades locais, com queimadas prescritas no início da estação seca e em locais diferentes a cada ano, criando um mosaico de áreas com história de incêndio diferente, com objetivos produtivos e conservacionistas em áreas de vegetação resistente ao fogo, visando também reduzir a ocorrência de incêndios florestais (MYERS, 2006; SCHMIDT et al., 2018), sendo importante também para reduzir emissões de gases de efeito estufa e cumprir as metas ambientais e climáticas globais (VEIGA; NIKOLAKIS, 2022). Entretanto, a aplicação do MIF tem se restringido a terras públicas (unidades de conservação, terras indígenas e comunidades tradicionais) e não contam com estratégias para áreas privadas de forma mais abrangente. Nesse contexto, Pivello et al. (2021) apontam haver lacunas nas políticas para enfrentar o problema dos incêndios, especialmente fora das áreas protegidas e citam a abordagem ao nível de paisagem do “manejo inteligente de fogo” (do inglês, *fire-smart management*). Esse manejo é realizado

por um gerenciamento de combustíveis com intervenções na vegetação com queimadas controladas e plantio de espécies com menor inflamabilidade, gerando barreiras para propagação do fogo ao nível de paisagem, visando reduzir o risco de incêndios florestais, severidade das queimadas e os impactos socioeconômicos (FERNANDES, 2013).

Também relacionadas às atividades humanas, as estradas, povoamentos e áreas agrícolas favorecem a ocorrência de queimadas, determinando a presença e acessibilidade de pessoas às áreas suscetíveis ao fogo, favorecendo incêndios acidentais ou criminosos. Em áreas próximas de povoados, vilas, cidades e demais conjunto de moradias, práticas culturais dos habitantes, fontes de ignição como queima de lixo, podem levar a incêndios acidentais. Já as estradas podem servir de barreiras para a propagação ao fogo. Por outro lado, áreas sem presença humana, sem estradas e sem alterações que modifiquem a paisagem e criem barreiras, o fogo pode se alastrar. A ausência de estradas e povoamentos podem dificultar o acesso para o combate e controle. Essas associações contrastantes entre distância de estradas e povoamento com áreas queimadas foram observadas neste estudo, sem um padrão claro entre as sub-regiões e entre os anos estudados. Isto difere de resultados encontrados em outros trabalhos realizados em outras regiões, onde a distância de estradas e povoamentos foram negativamente relacionados à ocorrência de incêndios (ANJOS et al., 2022; BARROS-ROSA et al., 2022; REIS et al., 2021; FONSECA et al., 2017; GALIZIA; RODRIGUES, 2019; SANTOS et al., 2020).

A associação entre declividade e área queimada era esperada em função da propagação do fogo ocorrer com mais rapidez em áreas mais declivosas, tal resultado também foi observado por Reis et al. (2021). Ocorrência de áreas queimadas também apresentou associação com diferentes tipos de vegetação. De maneira geral, os resultados obtidos mostraram uma relação esperada com maior probabilidade de ocorrência em áreas com formações campestres e savânicas, e probabilidade menor em áreas com formações florestais. Utilizando dados de focos de calor, Rocha e Nascimento (2021) observaram que no período de 1999 a 2018, cerca de 76% das queimadas no Cerrado incidem sobre as coberturas naturais, dos quais, cerca de metade incide sobre as formações savânica e campestres.

Para áreas alagadas, houve diferenças entre sub-regiões. A sub-região que apresentou menor probabilidade de queimadas em áreas alagadas se situa na transição entre Cerrado e floresta Amazônica (Bioma Amazônia) e possui um clima mais úmido, ao contrário do que ocorreu nas regiões mais secas, que apresentam alagamento sazonal.

Assim, levantamos a hipótese que as áreas alagadas com clima mais seco, e assim, menor umidade da biomassa, apresentaram maior probabilidade de queimadas.

Silva et al. (2020) identificaram em seu estudo que o clima explica 52% da atividade do fogo no Matopiba. Entretanto, em nosso estudo, os fatores meteorológicos não foram identificados na maioria dos modelos. Esse resultado era esperado em função da separação em sub-regiões considerando fatores como precipitação e temperatura, gerando assim sub-regiões de análise com condições meteorológicas mais homogêneas. A separação de modelos por ano também não considerou a influência da variação interanual, que influencia a variação.

#### 4.5 Considerações finais

Nesta seção, retomamos a questão norteadora do presente trabalho: quais fatores ambientais e antrópicos estão associados à ocorrência de área queimada na região do Matopiba? Nossos resultados mostram que seis variáveis de fatores ambientais, dentre as nove variáveis analisadas, são associadas às queimadas, sendo elas: formações florestais, formações savânicas, formações campestres, campos alagados, declividade e dias sem chuva. Quanto aos fatores antrópicos, todas as variáveis foram identificadas em pelo menos um dos modelos gerados, sendo elas: agricultura, pastagens, desmatamento, imóvel rural privado, projetos de assentamento, territórios quilombolas, terras indígenas, unidades de conservação, distância de estradas e distância de povoamentos. Esses fatores se apresentaram de forma heterogênea, variando no espaço e no tempo. Os projetos de assentamento apresentaram variação na probabilidade de ocorrência de queimadas dependendo da sub-região e do ano de análise. Sendo o eixo condutor da tese, nos próximos capítulos, essa temática das queimadas em projetos de assentamento serão aprofundadas.

Alguns fatores apresentaram o mesmo padrão nos anos analisados, são eles: na sub-região 1, localizada na porção norte da região do Matopiba, houve probabilidade maior de ocorrência de queimadas em áreas de desmatamento, terras indígenas e em formações campestres e menor probabilidade em áreas de formação florestal; na sub-região 2, na porção leste, probabilidade maior quanto mais distante a área for de estradas, em áreas de imóveis rurais privados e em áreas com formação savânica; na sub-região 3, na porção centro-sul, probabilidade menor em áreas de agricultura e probabilidade alta em áreas declivosas; e para a sub-região 4, na porção oeste, probabilidade menor em áreas com formações florestais.

As atividades humanas são fatores associados à ocorrência de queimadas, pois são as

pessoas que controlam as estratégias de manejo, promovem a ignição e o combate ao fogo, alteram a cobertura da terra criando barreiras ou facilitando a propagação do fogo, e também determinam o desenvolvimento e a efetividade de políticas públicas. Entretanto, as condições ambientais também favorecem as queimadas. A região do Matopiba apresenta tendências de mudanças para um clima mais seco e quente (MARENGO et al., 2022), demandando ações imediatas de prevenção.

Para reduzir os incêndios e seus impactos, é necessário gerenciar a inflamabilidade da paisagem, considerando as diferentes categorias fundiárias que possuem diferentes relações com o fogo, reforçando o exposto por Pivello et al. (2021) que as políticas contra incêndios devem ser melhoradas através da colaboração entre diferentes setores da sociedade para uma gestão mais efetiva da paisagem. Adicionalmente, diferentes políticas de prevenção e combate ao fogo tem que ser pensadas de forma diferente para as diferentes regiões, pois os fatores que levam ao aumento ou redução das queimadas também diferem.



## 5 OCORRÊNCIA DE ÁREA QUEIMADA EM PROJETOS DE ASSENTAMENTO NA REGIÃO DO MATOPIBA<sup>1</sup>

### 5.1 Introdução

As questões ambientais são relevantes no contexto da implementação e desenvolvimento dos projetos de assentamentos da reforma agrária (LE TOURNEAU; BURSZTYN, 2010), embora os objetivos da maioria deles estejam alinhados apenas com as políticas sociais e econômicas. Contudo, os projetos de assentamento devem ser regularizados ambientalmente e as famílias assentadas devem seguir a legislação ambiental. Porém, problemas ambientais são frequentemente observados em projetos de assentamentos, estando relacionados ou não ao contexto regional em que estão inseridos, como o desmatamento (ALVES et al., 2021; GOSCH et al., 2017; CARRERO et al., 2020; PEREIRA et al., 2022; YANAI et al., 2017; YANAI et al., 2020), extração de recursos naturais (SPECHT et al., 2015) e ocorrência de queimadas e incêndios.

Os projetos de assentamentos de reforma agrária no Brasil têm registrado frequentes ocorrências de incêndios provenientes de dentro ou fora das áreas de manejo agrícola, evidenciadas principalmente por estudos realizados na Amazônia Legal brasileira. Schneider e Peres (2015) identificaram taxas crescentes de desmatamento e ocorrência de incêndios após a criação de projetos de assentamento em comparação com áreas externas dentro do mesmo município.

No estado do Acre, Anderson et al. (2017) identificaram, com uma análise espaço-temporal do uso do fogo de 2000 a 2014, que 34% dos focos detectados estavam em projetos de assentamentos. Os autores destacam que esta categoria fundiária é a que mais utiliza o fogo. Em outros estudos no Acre, Silva et al. (2018) estimaram que do total de áreas queimadas mapeadas entre 1984 e 2016, 43% ocorreram em projetos de assentamentos, e no período de 2016 a 2018, as categorias fundiárias que mais contribuíram para os incêndios florestais foram os imóveis rurais privados (39%) e projetos de assentamento (31%) (SILVA et al., 2021).

Embora os estudos descritos tenham como foco a Amazônia, outras regiões registram os altos índices de ocorrência de queimadas, entre eles a região do Matopiba, que apresenta altos índices de desmatamento e ocorrência de incêndios (SCHMIDT;

---

<sup>1</sup>Este capítulo é uma versão adaptada do artigo: MILARE, G.; GIAROLLA, A.; ESCADA, M. I. S. Burned area occurrence in agrarian reform settlement projects in the Matopiba region, Brazil. Applied Geography, v. 166, p. 103243, May 2024.

ELOY, 2020; SILVA et al., 2020).

O bioma Cerrado ocupa a maior área da região do Matopiba (86,1%), com predominância de formação savânica e campestre caracterizados por alta inflamabilidade, devido ao predomínio de gramíneas com baixa densidade de árvores (HOFFMANN et al., 2012). Esta característica promove um microclima com altas temperaturas e exposição solar, com biomassa seca, atuando como fonte de combustível, facilitando a rápida propagação do fogo. A formação do Cerrado é considerada dependente do fogo (PIVELLO et al., 2021), com espécies animais e vegetais adaptadas, que depende da passagem do fogo para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos. As queimadas de origem natural, principalmente provocado por raios, apresenta menor severidade e ocorre entre os períodos seco e chuvoso, tendo sua propagação limitada pelas chuvas (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Porém, o uso indiscriminado do fogo alterou a frequência e a sazonalidade das queimadas, concentrando-as no final da estação seca, causando diversos impactos aos ecossistemas, como aumento da mortalidade de árvores, degradação do solo e perda geral de biodiversidade (BERLINCK; BATISTA, 2020; MIRANDA et al., 2010; PIVELLO, 2011; SCHMIDT; ELOY, 2020). Essas ocorrências de incêndios, além dos impactos nos ecossistemas, causam impactos na saúde da população que vive nos projetos de assentamento, causando também danos econômicos e sociais (SOARES; PEIXINHO, 2020).

No meio rural, o fogo tem sido utilizado pelos produtores rurais para desmatamento, limpeza de áreas de cultivo e manejo de pastagens, por ser barato e aplicável em grandes extensões de área (MISTRY, 1998; PIVELLO, 2011). Seu uso exige controle, pois caso tenha escape das áreas agrícolas pode atingir a vegetação nativa e tornar-se mais intenso, causando incêndios. Os incêndios não são somente consequências do uso agrícola, podendo resultar também de incendiários, atividades recreativas e práticas de caça.

A legislação ambiental brasileira, embora reconheça que atear fogo à vegetação ou causar incêndios florestais são crimes ambientais (BRASIL, 1998), permite que os produtores rurais, incluindo agricultores familiares em projetos de assentamento, utilizem o fogo para o manejo agrícola. Para isso é necessária autorização do órgão ambiental (BRASIL, 2012).

Apesar de estudos terem analisado a ocorrência de incêndios em projetos de assentamento na Amazônia (ANDERSON et al., 2017; SCHNEIDER; PERES, 2015; SILVA et al., 2018; SILVA et al., 2021), não há estudos mostrando os padrões de ocorrên-

cia de queimadas disponíveis para projetos de assentamento de reforma agrária no bioma Cerrado e na região do Matopiba. Compreender os processos e padrões das queimadas que ocorrem nesta região é importante para planejar ações e políticas de prevenção e controle de incêndios.

Neste contexto, analisamos 821 projetos de assentamento na região do Matopiba, abordando a seguinte questão: há um padrão espacial e temporal de ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamentos? Assim, o objetivo é analisar a dinâmica espaço-temporal da ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamentos de reforma agrária na região do Matopiba. Com base em dados mensais e anuais de área queimada para o período de 2001 a 2021, caracterizamos esta ocorrência através da variabilidade sazonal e interanual, bem como sua frequência e tendência. Com base nessas características, classificamos e analisamos os projetos de assentamento para identificar padrões espaciais e temporais de ocorrência de áreas queimadas.

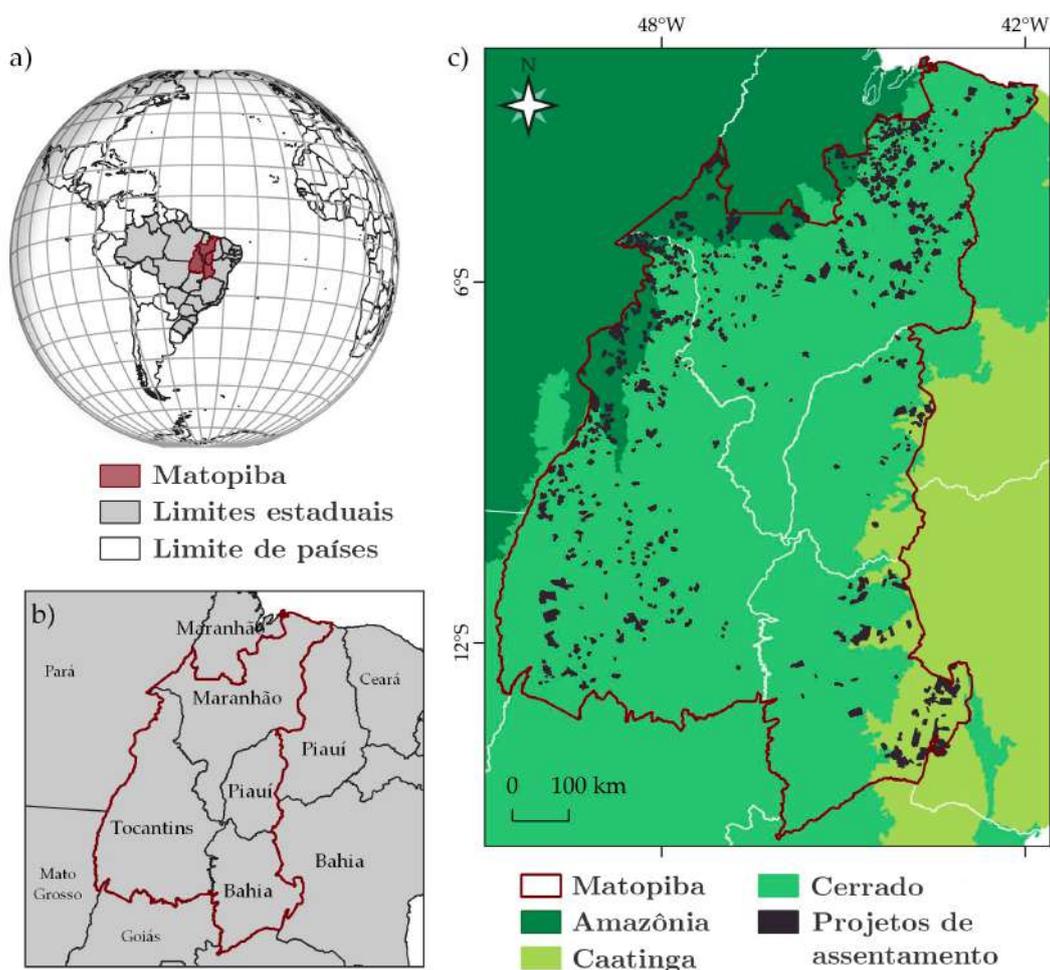
Considerando as extensas áreas queimadas anualmente no bioma Cerrado, especialmente na região do Matopiba (SILVA et al., 2020), e dado o cenário de aumento dessas áreas devido às mudanças climáticas (SILVA et al., 2019), este trabalho objetivou contribuir em três aspectos: (1) área não estudada; (2) utilização de metodologia ainda não aplicada em projetos de assentamento; e (3) apontar projetos de assentamento que necessitam de ações para prevenir a ocorrência de incêndios, evitando assim impactos negativos sobre essas populações e ecossistemas rurais.

## **5.2 Material e métodos**

### **5.2.1 Área de estudo**

A área de estudo é a região do Matopiba e o objeto de estudo corresponde aos 821 projetos de assentamento localizados na região (Figura 5.1c): 175 projetos de assentamento localizados no bioma Amazônia (aproximadamente 632.641 ha, com área média de 3.615 ha), 580 no bioma Cerrado (aproximadamente 2.012.095 ha, com área média de 3.469 ha) e 66 no bioma Caatinga (aproximadamente 492.246 ha, com área média de 7.458 ha). De modo geral, na região do Matopiba existem duas estações bem definidas: a estação seca, entre maio e setembro, e a estação chuvosa, a partir do início de outubro, intensificando-se de novembro a março, e diminuindo em abril (REIS et al., 2020).

Figura 5.1 - Área de estudo.



a) Localização da região do Matopiba; b) Região do Matopiba e limites estaduais; c) Projetos de assentamento localizados na região do Matopiba. Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites estaduais e de países do IBGE (2019), limites dos projetos de assentamento do INCRA (2021a).

### 5.2.2 Dados utilizados

O conjunto de dados espaciais dos projetos de assentamentos de reforma agrária foi obtido na base de dados do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), disponível em: <[www.acervofundiario.gov.br](http://www.acervofundiario.gov.br)>. Consideramos para análise apenas os projetos de assentamentos federais criados pelo INCRA, nas modalidades: Projeto de Assentamento Convencional, Projeto de Assentamento Agroextrativista,

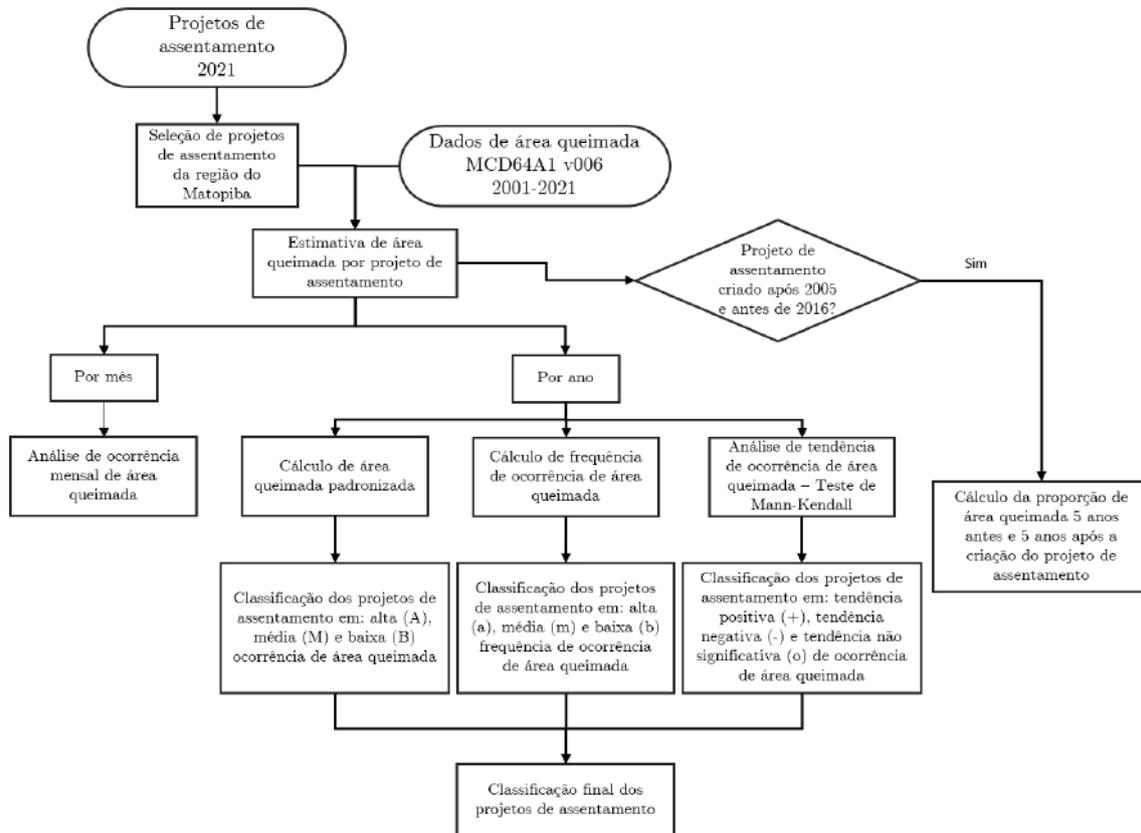
Projeto de Desenvolvimento Sustentável e Projeto de Assentamento Casulo.

Utilizamos dados de área queimada MCD64A1 v006 - MODIS *Burned Area Monthly Global 500m*, com resolução espacial de 500m, derivado de um algoritmo aplicado em dois instrumentos Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua da NASA (GIGLIO et al., 2018), para o período 01/01/2001 a 31/12/2021. Seleccionamos esses dados para determinar a área queimada mensal e anual em cada projeto de assentamento analisado, devido à disponibilidade da informação do dia aproximado da queima (1-366, que corresponde ao dia juliano da ocorrência da queimada) associado aos píxeis. O MCD64A1 v006 tem sido utilizado em estudos em biomas brasileiros (ALVES; ALVARADO, 2019; ROSSI; SANTOS, 2020; SILVA et al., 2020), com melhor desempenho para mapeamento em escala regional para áreas de savana do que os produtos anteriores do MODIS (ALVES et al., 2018), sendo o padrão espacial e tamanho das manchas queimadas mais fáceis de mapear e quantificar na parte norte do Cerrado (região do Matopiba) por apresentar padrões maiores e contínuos, favorecendo a detecção (RODRIGUES et al., 2019).

### 5.2.3 Métodos

A Figura 5.2 apresenta o fluxograma dos métodos utilizados no presente trabalho. Para cada projeto de assentamento, estimamos a área queimada para cada mês e o acumulado para cada ano do período de 2001 a 2021. Embora alguns projetos de assentamento tenham sido criados após o ano de 2001, foram considerados todos os anos do período (2001 a 2021) para todos os projetos de assentamento para a estimativa de área queimada.

Figura 5.2 - Fluxograma dos métodos utilizados.



Com a estimativa de área queimada anual para cada projeto de assentamento, foi calculada: a) a área queimada padronizada (adaptada de [Silva et al. \(2021\)](#)), que corresponde à soma acumulada de área queimada dividida pela área do projeto de assentamento; b) a frequência de ocorrência de área queimada para cada assentamento, contabilizando o número de vezes que ocorreu área queimada no projeto de assentamento, não necessariamente no mesmo local, mas nos limites do projeto de assentamento; c) a tendência de ocorrência de área queimada, com a aplicação do teste não-paramétricos de Mann-Kendall para verificar se os dados de ocorrência de área queimada anual possuem tendência temporal estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ).

Para compreender a tendência de ocorrência de área queimada após a criação dos projetos de assentamento, selecionamos os projetos de assentamento criados após 2005 e antes de 2017 e calculamos a área queimada para cada ano dos 5 anos ante-

riores e posteriores da criação.

Baseado na abordagem de [Silva et al. \(2021\)](#), classificamos cada projeto de assentamento considerando as características de área queimada normalizada, frequência de ocorrência de área queimada e tendência de aumento ou diminuição de área queimada. Com base nos dados de área queimada normalizada e de frequência, foi calculado o primeiro e o terceiro percentis para classificar os projetos de assentamento em: baixo (menor que o primeiro quartil), médio (entre o primeiro quartil e o terceiro quartil) e alto (maior que o terceiro quartil). Os valores médios para área queimada padronizada é de 1,05 (variando de 0,01 a 8,83) e para frequência é 7,07 (variando de 1 a 21). Para a tendência, foram atribuídos os sinais positivos (+) ou negativos (-) para indicar tendências crescentes e decrescentes de área queimada ao longo do período 2001 – 2019, e o sinal 0 para indicar que não houve tendência significativa avaliada através do teste de Mann-Kendall.

Uma classificação final foi realizada considerando as três características de regime de fogo: área queimada padronizada, frequência e tendência. A classificação foi realizada através da utilização da combinação entre as três classificações prévias conforme Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Descrição da classificação final dos projetos de assentamento da região do Matopiba.

Classe	Área queimada padronizada	Frequência	Tendência
Aa+	>1,41 (A)	>11 (a)	positiva (+)
Aao	>1,41 (A)	>11 (a)	não significativa (o)
Aa-	> 1,41 (A)	>11 (a)	negativa (-)
Am+	> 1,41 (A)	<11 e >3 (m)	positiva (+)
Amo	> 1,41 (A)	<11 e >3 (m)	não significativa (o)
Am-	> 1,41 (A)	<11 e >3 (m)	negativa (-)
Ab+	> 1,41 (A)	<3 (b)	positiva (+)
Abo	> 1,41 (A)	<3 (b)	não significativa (o)
Ab-	> 1,41 (A)	<3 (b)	negativa (-)
Ma+	<1,41 e >0,16 (M)	>11 (a)	positiva (+)
Mao	<1,41 e >0,16 (M)	>11 (a)	não significativa (o)
Ma-	<1,41 e >0,16 (M)	>11 (a)	negativa (-)
Mm+	<1,41 e >0,16 (M)	<11 e >3 (m)	positiva (+)
Mmo	<1,41 e >0,16 (M)	<11 e >3 (m)	não significativa (o)
Mm-	<1,41 e >0,16 (M)	<11 e >3 (m)	negativa (-)
Mb+	<1,41 e >0,16 (M)	<3 (b)	positiva (+)
Mbo	<1,41 e >0,16 (M)	<3 (b)	não significativa (o)
Mb-	<1,41 e >0,16 (M)	<3 (b)	negativa (-)
Ba+	<0,16 (B)	>11 (a)	positiva (+)
Bao	<0,16 (B)	>11 (a)	não significativa (o)
Ba-	<0,16 (B)	>11 (a)	negativa (-)
Bm+	<0,16 (B)	<11 e >3 (m)	positiva (+)
Bmo	<0,16 (B)	<11 e >3 (m)	não significativa (o)
Bm-	<0,16 (B)	<11 e >3 (m)	negativa (-)
Bb+	<0,16 (B)	<3 (b)	positiva (+)
Bbo	<0,16 (B)	<3 (b)	não significativa (o)
Bb-	<0,16 (B)	<3 (b)	negativa (-)

## 5.3 Resultados

### 5.3.1 Área queimada em projetos de assentamento

No período analisado (2001 – 2021), foi estimada, através do produto MCD64A1 v006, um total acumulado de 35.265,92 km<sup>2</sup> de área queimada em 729 projetos de assentamento na Região Matopiba, atingindo aproximadamente 73.098 famílias.

Em 92 projetos de assentamento (11,2%), não foi detectada área queimada durante o período estudado, representando 11,2% do total de projetos de assentamento es-

tudados. Desses projetos de assentamento, 22 (23,9%) estão localizados no bioma Amazônia, 66 (71,7%) no bioma Cerrado e 4 (4,4%) na Caatinga.

As maiores áreas queimadas na região do Matopiba (Figura 5.4a) ocorreram nos anos de 2007, 2010 e 2012. Na Figura 5.4b observamos que os outros dois anos (2015 e 2017) se destacam nas áreas queimadas nos projetos de assentamento. A área queimada apresentou correlação negativa com a precipitação anual acumulada (-0,72 pelo método de Spearman, Figura 5.3) Os anos de 2007, 2010, 2012, 2015 e 2017 estão associados a eventos de seca (CHEN et al., 2013; MARENGO et al., 2022), e o pico de ocorrência das queimadas corresponde a esses anos. Do total de assentamentos analisados identificamos que 68 (9,2%) assentamentos tiveram áreas queimadas apenas nestes anos. O ano de 2007 foi o ano com maior número de projetos de assentamentos afetados por queimadas, totalizando 465 projetos de assentamentos, seguido pelos anos de 2005, com 365, e 2010, com 360 (Figura 5.4c).

Figura 5.3 - Relação entre precipitação acumulada anual e área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2001 a 2021. A área queimada foi estimada através dos dados do produto MCD64A1 v006 (GALIZIA; RODRIGUES, 2019) e a precipitação através dos dados CHIRPS (FUNK et al., 2015).

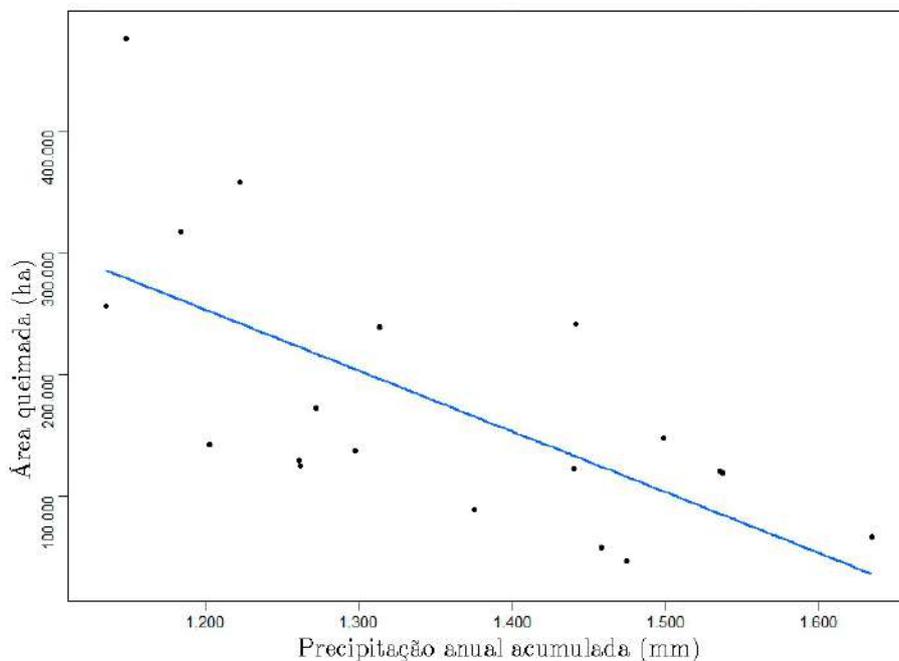
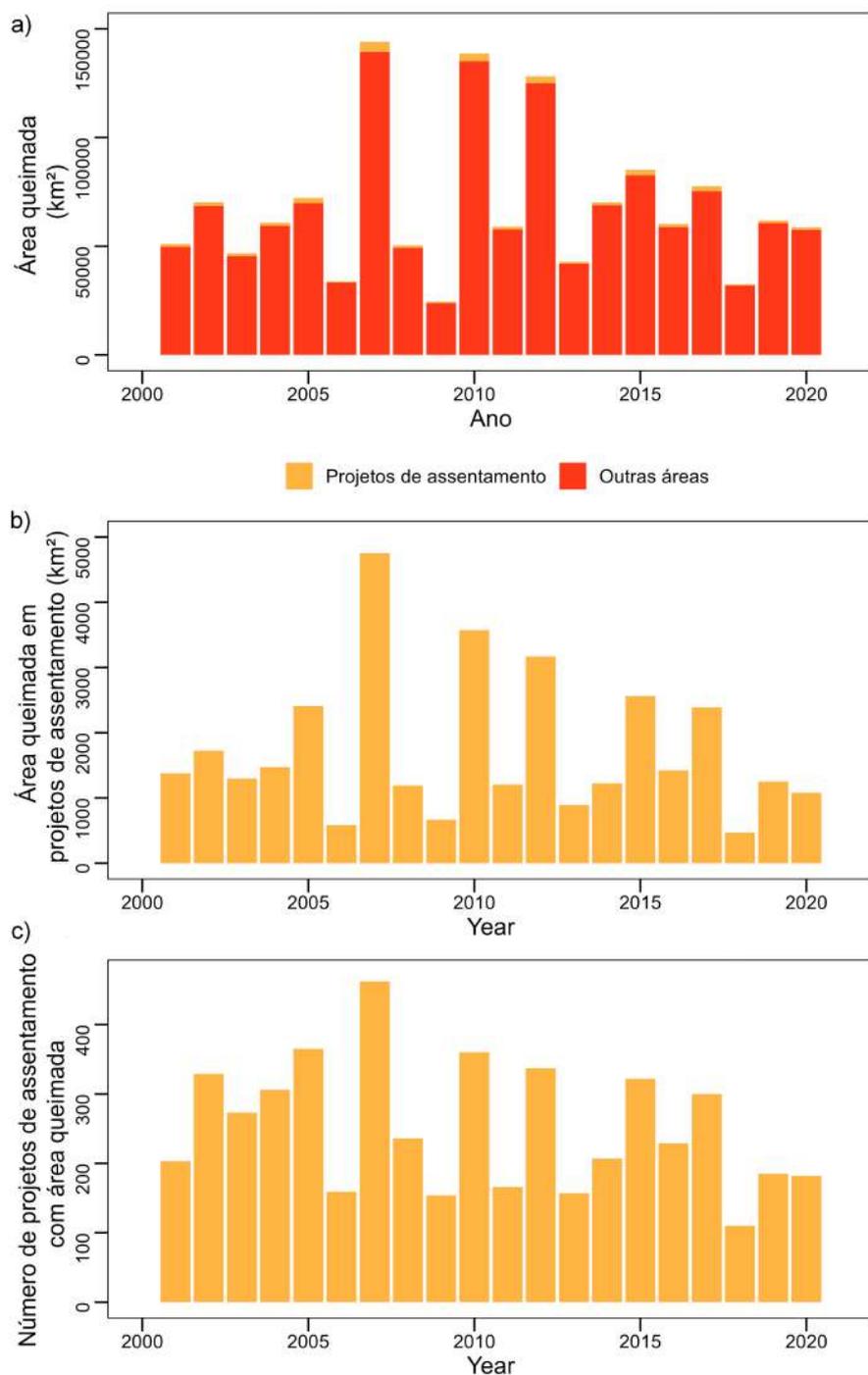


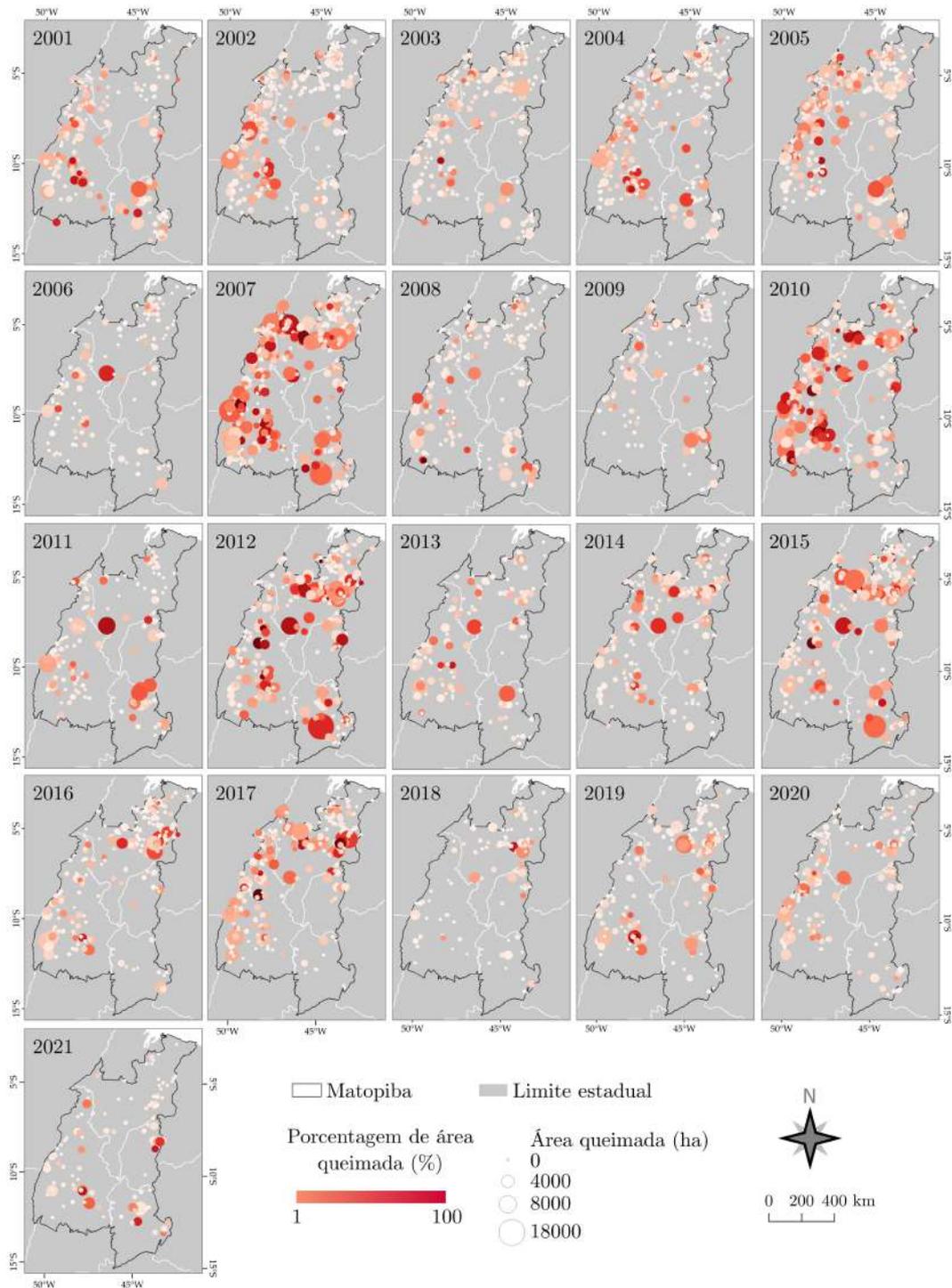
Figura 5.4 - Área queimada anual na região do Matopiba e em projetos de assentamento no período de 2001 a 2021.



a) Área queimada anual para toda região do Matopiba (barra vermelha) e nos projetos de assentamento (barra alaranjada); b) Área queimada anual nos projetos de assentamento; c) Número de projetos de assentamento com ocorrência de área queimada. A área queimada foi estimada através do produto MCD64A1 v006.

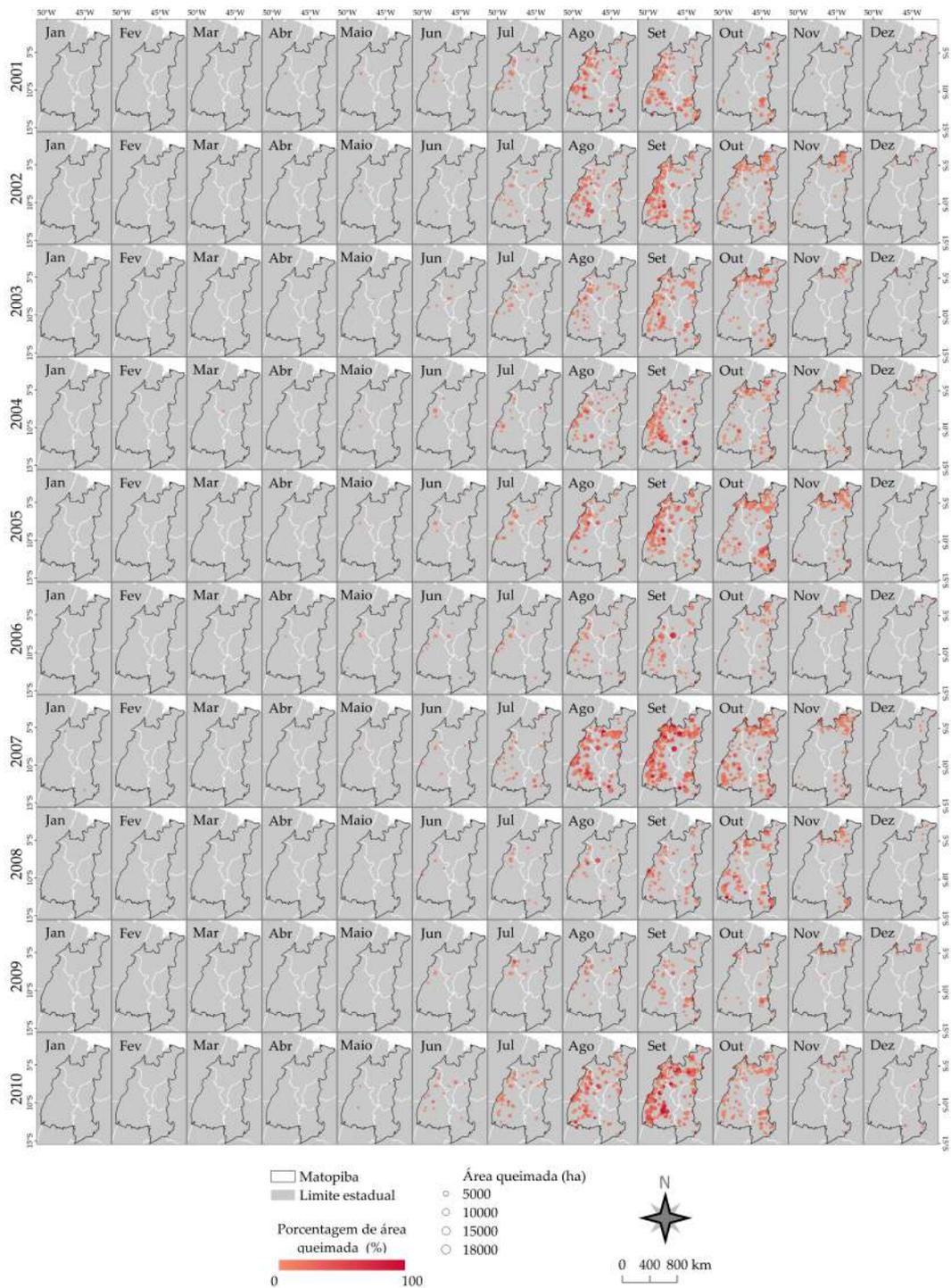
Não identificamos um padrão espacial claro de queimadas que afetaram os projetos de assentamento do Matopiba (Figura 5.5), exceto para o ano de 2017, quando na região norte (exceto na zona costeira) e oeste houve concentração de projetos de assentamento com maiores áreas queimadas. Durante o período analisado (2001 – 2021), é possível observar que setembro é o mês com maior ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamentos, seguido de outubro e agosto (Figuras 5.6 e 5.7). Em outubro, quando começam as chuvas, há diminuição das áreas afetadas pelo fogo.

Figura 5.5 - Variação interanual de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2001 a 2021.



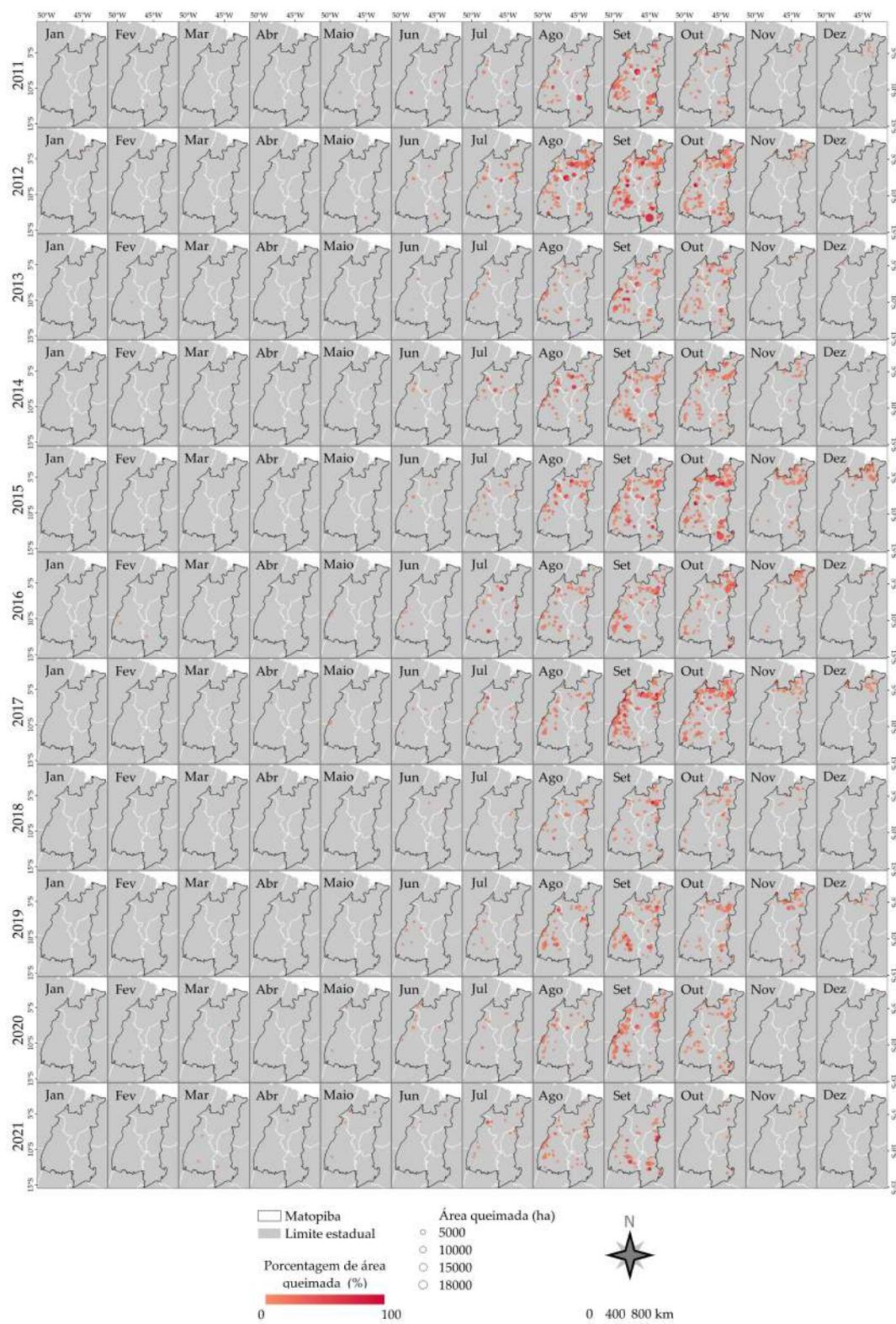
Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites estaduais do IBGE (2019), centroide dos projetos de assentamento INCRA (2021a) e área queimada e porcentagem de área queimada estimadas através dos dados do produto MCD64A1 v006.

Figura 5.6 - Variação mensal de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2001 a 2010.



Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites estaduais do IBGE (2019), centroide dos projetos de assentamento INCRA (2021a) e área queimada e porcentagem de área queimada estimadas através do produto MCD64A1 v006.

Figura 5.7 - Variação mensal de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento na região do Matopiba, no período de 2011 a 2021.

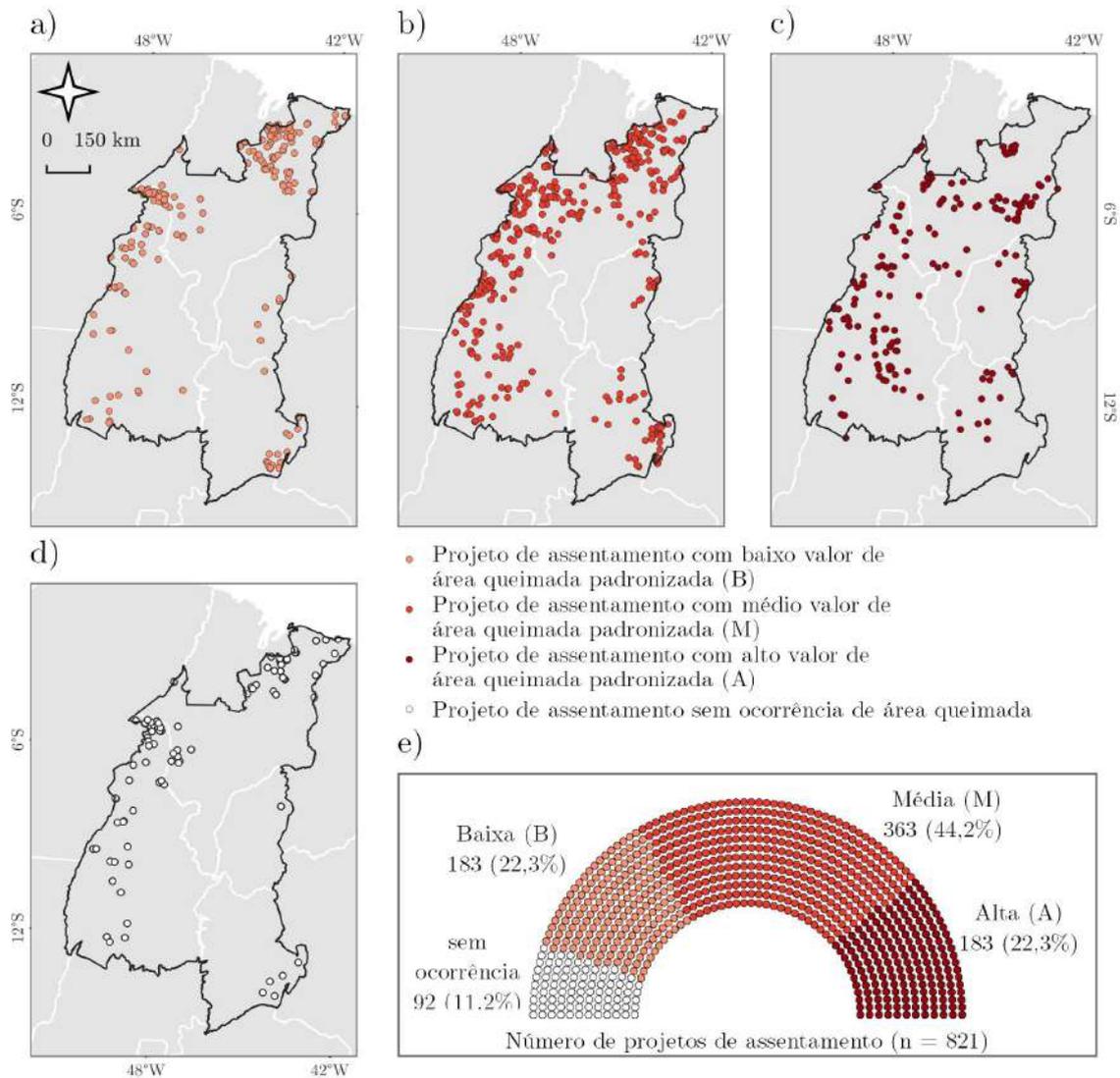


Mapa construído de forma similar ao da Figura 5.6

Utilizando dados de áreas queimadas normalizadas, de 2001 a 2021, classificamos os projetos de assentamento em áreas queimadas normalizadas baixas (B), médias (M) e altas (A) (Figura 5.8), conforme os critérios da Tabela 5.1. Como resultado, 183 projetos de assentamento (22,3%) foram classificados como altos, 363 (44,2%) como médios e 183 (22,3%) como baixos, enquanto os 11,2% restantes não tinham área queimada. Os projetos de assentamento na região central do Matopiba apresentaram alto valor de área queimada normalizada (Figura 5.8c).

A Figura 5.8d mostra a distribuição espacial dos projetos de assentamentos nos quais não identificamos áreas queimadas. Estão localizados no norte e oeste da região do Matopiba, na transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, e 6 projetos de assentamento na região sudeste, na transição entre os biomas Cerrado e Caatinga.

Figura 5.8 - Classificação dos projetos de assentamento da região do Matopiba conforme área queimada padronizada.

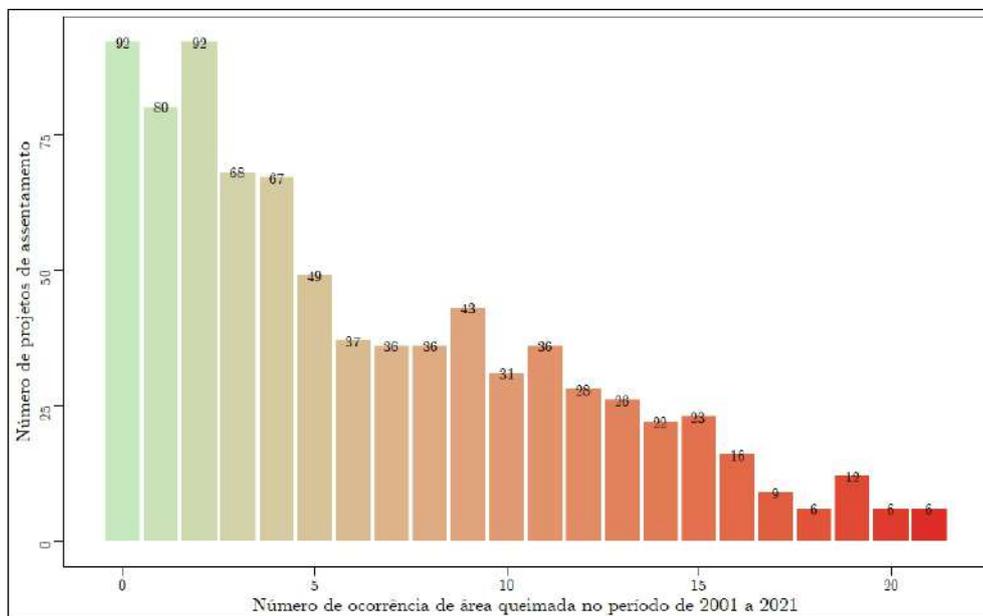


a) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com baixa ocorrência de área queimada; b) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com média ocorrência de área queimada; c) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com alta ocorrência de área queimada; d) Mapa da localização dos projetos de assentamento sem área queimada; e) Diagrama da quantidade de projetos de assentamento por classe. Utilizou-se o centroide dos projetos de assentamento como localização.

### 5.3.2 Frequência

A frequência de áreas queimadas nos projetos de assentamentos variou de zero (nenhuma ocorrência de área queimada) a 21 ocorrências (áreas queimadas anuais) (Figura 5.9). Os seis projetos de assentamento com frequência anual (Figura 5.10) estão em regiões com tendência positiva e com ocorrência de grandes extensões de áreas queimadas (SILVA et al., 2021). Estes seis assentamentos tiveram uma área queimada crescente a cada 2-3 anos.

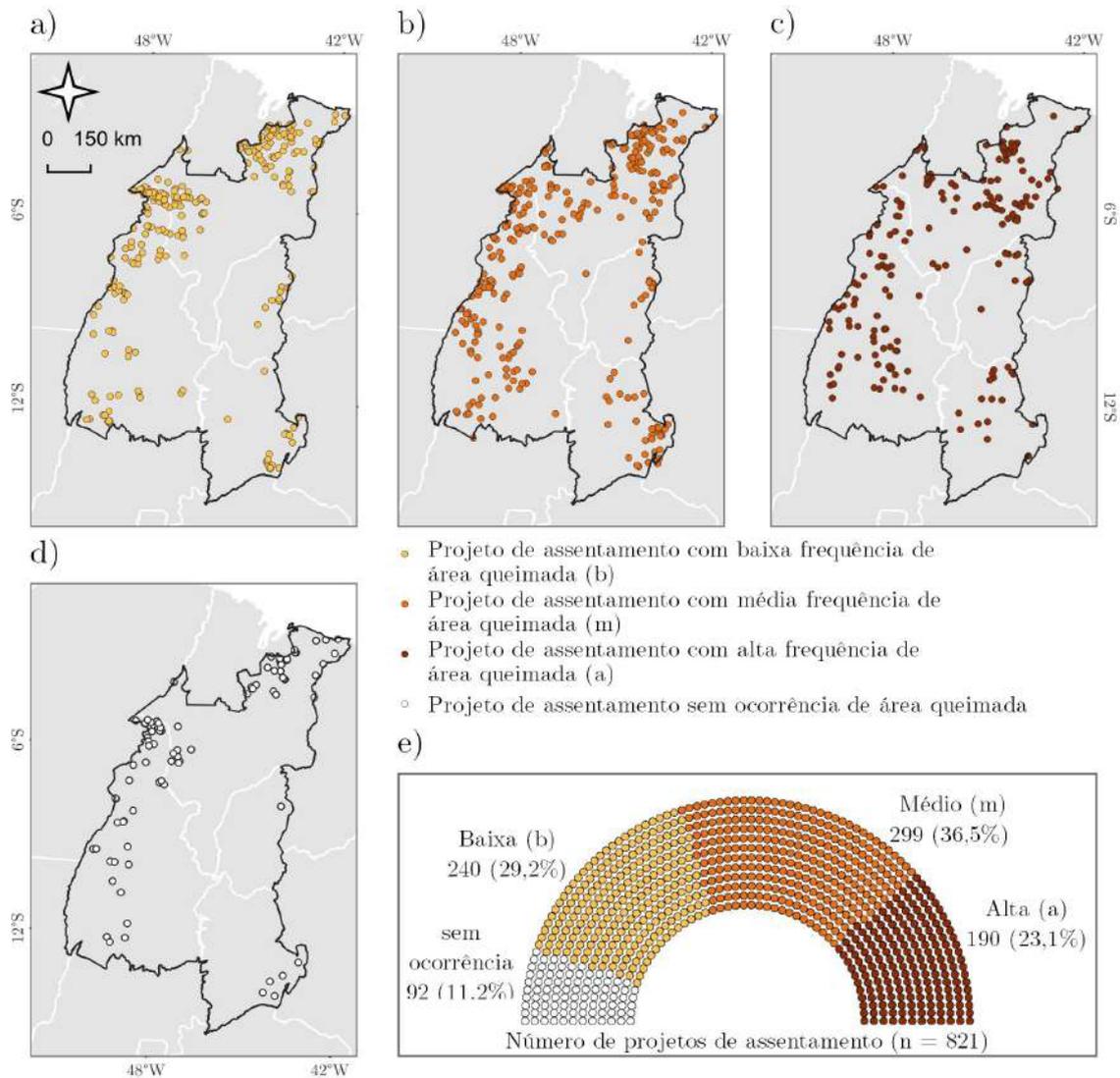
Figura 5.9 - Frequência de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento, de 2001 a 2021, na região do Matopiba.





Utilizando os dados de frequência de áreas queimadas, os projetos de assentamentos foram classificados em baixa (b), média (m) e alta (a) frequência de ocorrência de áreas queimadas (Figura 5.11). Como resultado, 190 projetos de assentamento (23,1%) foram classificados em alta frequência, 299 (36,5%), média, 240 (29,2%) e baixa, enquanto os 11,2% restantes não apresentaram áreas queimadas.

Figura 5.11 - Classificação dos projetos de assentamento da região do Matopiba conforme frequência de área queimada.

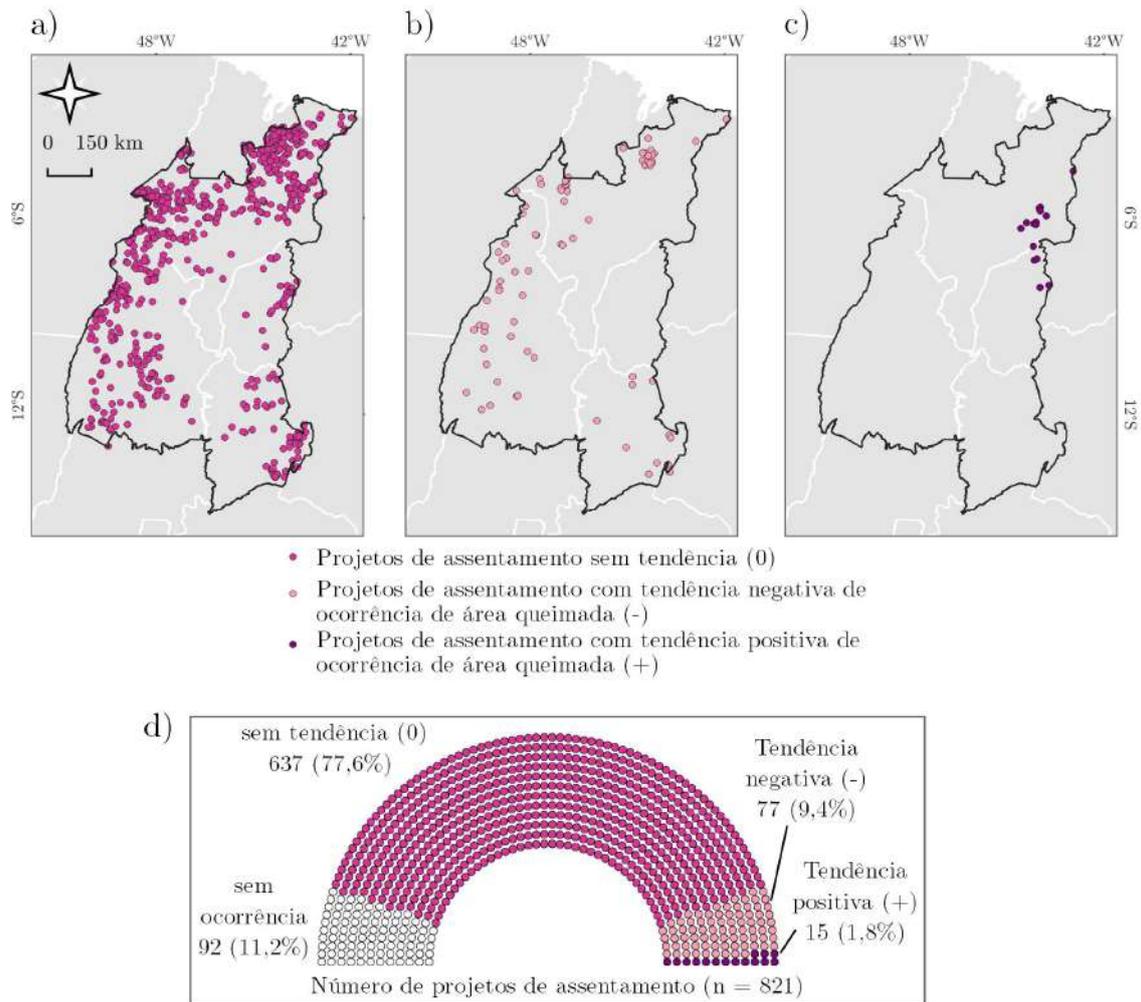


a) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com baixa frequência de área queimada; b) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com média frequência de área queimada; c) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com alta frequência de área queimada; d) Mapa da localização dos projetos de assentamento sem área queimada; e) Diagrama da quantidade de projetos de assentamento por classe. Utilizou-se o centroide dos projetos de assentamento como localização.

### 5.3.3 Tendência

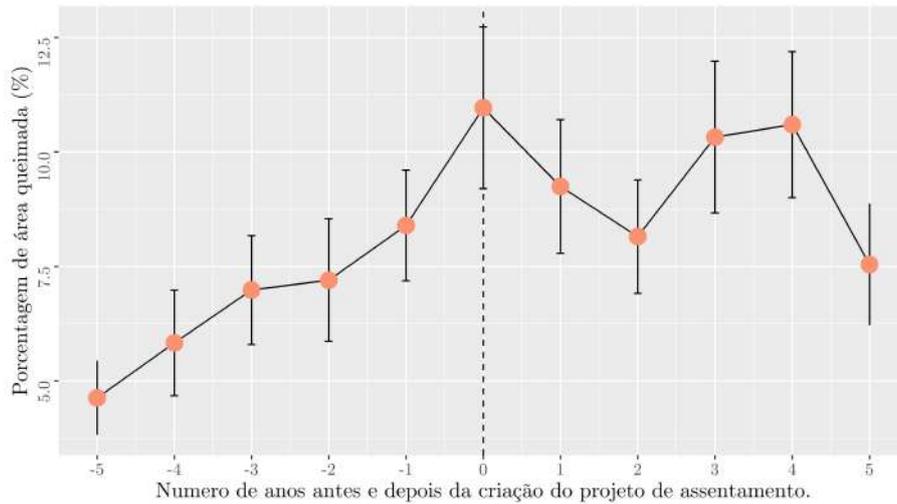
Dos projetos de assentamentos analisados, 77 (9,4%) apresentaram tendência de diminuição da ocorrência de incêndios (-), 15 (1,5%) apresentaram tendência de aumento (+) e 637 (77,6%) não tiveram tendência significativa (0), considerando nível de significância de 0,05 (Figure 5.12). Os projetos de assentamento na região nordeste do Matopiba apresentaram tendência positiva de aumento da ocorrência de áreas queimadas, sendo 2 deles no bioma Caatinga e 13 no bioma Cerrado, totalizando 15 projetos de assentamento. Dos 821 projetos de assentamento analisados, 295 foram criados após 01/01/2001, período inicial dos dados analisados, e 172 projetos de assentamento criados após 2005. Considerando os projetos de assentamento criados após 2005 e antes de 2017, o percentual de áreas queimadas durante 5 anos antes da criação do projeto de assentamento, apresentou uma tendência de aumento de áreas queimadas até o ano da criação do assentamento e uma posterior estabilidade (Figura 5.13). Esse padrão ocorre nos estados do Maranhão e Tocantins, que possuem o maior número de projetos de assentamentos analisados.

Figura 5.12 - Classificação dos projetos de assentamento da região do Matopiba conforme tendência de área queimada.



a) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados sem tendência de área queimada; b) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com tendência de diminuição de área queimada; c) Mapa da localização dos projetos de assentamento classificados com tendência de aumento de área queimada; e e) Diagrama da quantidade de projetos de assentamento por classe. Utilizou-se o centroide dos projetos de assentamento como localização.

Figura 5.13 - Proporção de área queimada em projetos de assentamento antes e depois de sua criação.



Barras de erro indicam erro padrão. Proporção de área queimada estimada através do produto MCD64A1 v006.

### 5.3.4 Categorização

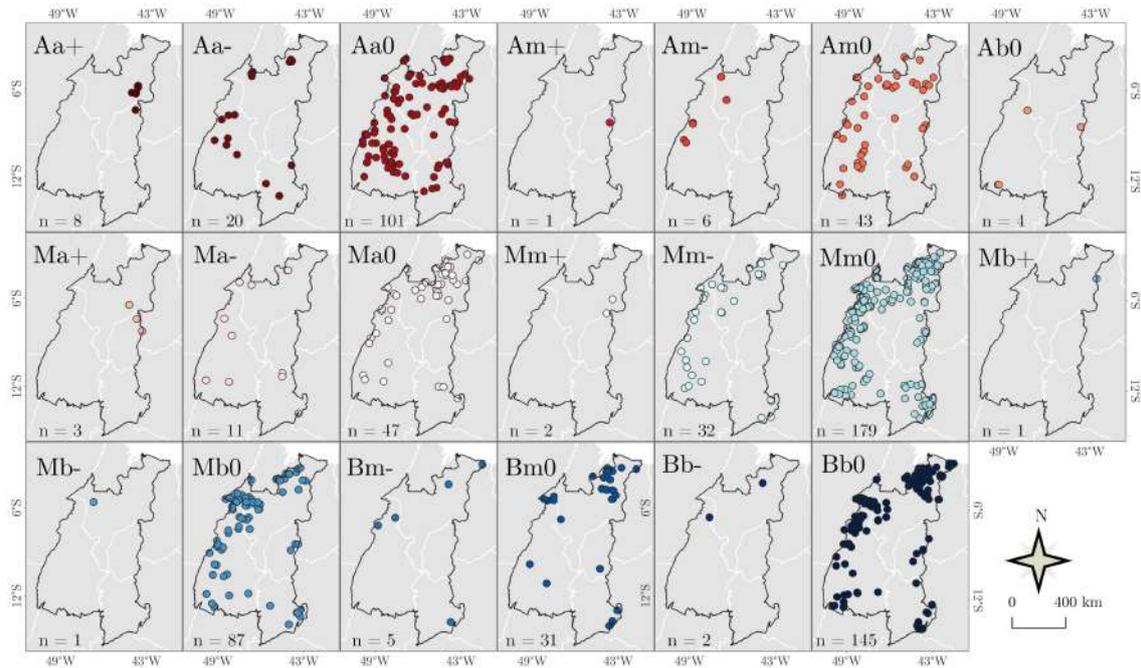
A classificação das características de ocorrência de áreas queimadas nos projetos de assentamento por bioma é apresentada na Tabela 5.2. Nos três biomas, os projetos de assentamento classificados como médios (M) apresentaram o maior número de ocorrências. Nos biomas Amazônia e Caatinga, os assentamentos classificados como médios (M) apresentaram os maiores percentuais, seguidos dos baixos (B) e depois dos altos (A). No bioma Cerrado, os assentamentos classificados como médios (M) apresentaram o maior percentual, seguidos dos altos (A) e depois dos baixos (B). Assim como na classificação normalizada de áreas queimadas, os assentamentos classificados com frequência média (m) tiveram maior número de ocorrências, para os três biomas, seguidos de baixo (b) e depois alto (a). Para os três biomas, o maior percentual foi de assentamentos sem tendência de ocorrência de áreas queimadas, seguido de poucos assentamentos com tendência negativa. Nenhum projeto de assentamento localizado na Amazônia apresentou tendência positiva. Os assentamentos que apresentam tendência positiva estão nos biomas Cerrado e Caatinga.

Tabela 5.2 - Número de projetos de assentamento por bioma conforme classificação normalizada de áreas queimadas (A, M e B), frequência (a, m e b) e tendência (+, 0 e -). SQA = sem área queimada.

Parâmetro	Classe	Amazônia	Cerrado	Caatinga
Área queimada normalizada	A	25 (14,3%)	151 (26,0%)	7 (10,6%)
	M	87 (49,7%)	239 (41,2%)	37 (56,1%)
	B	41 (23,4%)	124 (21,4%)	18 (27,2%)
	SAQ	22 (12,6%)	66 (11,4%)	4 (6,1%)
	Total	175 (100%)	580 (100%)	66 (100%)
Frequência	a	27 (15,4%)	154 (26,5%)	9 (13,6%)
	m	68 (38,9%)	200 (34,5%)	31 (47,0%)
	b	58 (33,1%)	160 (27,6%)	22 (33,3%)
	SAQ	22 (12,6%)	66 (11,4%)	4 (6,1%)
	Total	175 (100%)	580 (100%)	66 (100%)
Tendência	+	0 (0,0%)	13 (2,2%)	2 (3,0%)
	-	23 (13,1%)	47 (8,1%)	7 (10,6%)
	0	130 (74,3%)	454 (78,3%)	53 (80,3%)
	SAQ	22 (12,6%)	66 (11,4%)	4 (6,1%)
	Total	175 (100%)	580 (100%)	66 (100%)

A Figura 5.14 ilustra a classificação final baseada em áreas queimadas normalizadas, frequência e tendência. A classe Mm0 (valor médio de área queimada normalizada, média frequência de incêndios e sem tendência significativa de aumento ou diminuição da ocorrência de incêndios) corresponde a 179 (21,8%) projetos de assentamento, estando distribuídos por toda a extensão da região do Matopiba, exceto sua área central que possui poucos projetos de assentamento. Como mencionado anteriormente, esta área apresenta projetos de assentamento com elevado valor de áreas queimadas normalizadas.

Figura 5.14 - Classificação final dos projetos de assentamento da região do Matopiba baseados em área queimada padronizada, frequência e tendência de ocorrência de área queimada.



Descrição das classes na Tabela 5.1. Utilizou-se o centroide dos projetos de assentamento como localização.

A classe Mm0 (21,8%), seguida de Bb0 (17,7%) e Aa0 (12,3%), foram as classes mais frequentes nos três biomas. No bioma Cerrado, a terceira classe de maior ocorrência foi Aa0, evidenciando maiores áreas queimadas e maior frequência de áreas queimadas, e para a Amazônia e Caatinga, a classe de maior ocorrência foi Mb0, caracterizada por área queimada média e baixa frequência e nenhuma área queimada tendência. Nenhum projeto de assentamento foi classificado como Ab+, Abl-, Ba+, Ba0, Ba-, Bm+ e Bb+. Os projetos de assentamentos nos quais não identificamos áreas queimadas (11,2%) não foram classificados.

#### 5.4 Discussão

Aproximadamente 73.098 famílias sofrem os efeitos diretos e/ou indiretos das queimadas em 729 projetos de assentamento na região do Matopiba, tornando necessários estudos acerca do tema. Embora outros estudos tenham analisado a ocorrência de fogo em projetos de assentamento (SCHNEIDER; PERES, 2015; SILVA et al.,

2018; ALENCAR et al., 2020), esta é a primeira análise considerando os projetos de assentamentos na região do Matopiba.

Os resultados mostraram que a ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamento tem um padrão temporal, sendo mais frequente e por extensas áreas em anos de estiagem, principalmente em setembro. Assim, esta condição exige ações preventivas por parte dos diferentes níveis de governo junto às comunidades desses projetos de assentamento, como a educação ambiental e a criação de brigadas de incêndio. As ações em áreas destinadas à produção agrícola podem contemplar assistência técnica especializada para esclarecimento de usos alternativos do fogo, técnicas de construção e manutenção de aceiros e outras ferramentas para evitar a propagação do fogo, bem como projetos de queima controlada com autorização do órgão ambiental competente. As ações são urgentes diante das projeções de aumento de área queimada no bioma Cerrado por conta das mudanças climáticas (SILVA et al., 2019). Contudo, existe uma quantidade considerável de projetos de assentamento que queimaram em anos sem anomalias de seca (658 - correspondendo a 80,1% do total de projetos de assentamento), evidenciando a importância relevante de fatores extra climáticos. Além da variação anual das condições climáticas, outros fatores relacionados à ocupação dos projetos de assentamento e/ou seu contexto podem contribuir para esta ocorrência.

As maiores áreas queimadas nos meses de agosto, setembro e outubro seguem o padrão observado no bioma Cerrado que, nos últimos 50 – 60 anos, se tornaram mais frequentes e concentradas no final da estação seca (SCHMIDT; ELOY, 2020). A biomassa mais seca neste período é um fator importante que contribui para a ignição e propagação do fogo em grandes extensões de área (SANTOS et al., 2021).

Outra ameaça aos assentados e ao meio ambiente, além da extensão das áreas queimadas, é a frequência de ocorrência de áreas queimadas. Em alguns projetos de assentamento, a ocorrência anual de incêndios na mesma área ao longo dos anos pode degradar áreas agrícolas (SOUZA et al., 2020b), afetando a produção agrícola.

Não identificamos padrões espaciais expressivos de ocorrências de áreas queimadas. Na mesma localidade identificamos existirem projetos de assentamentos com queimadas anuais e outros sem queimadas em nenhum dos anos analisados. Assim, levantamos a hipótese de que características do próprio assentamento (como ano de criação, organização territorial, tipos de atividades produtivas, etc.) podem estar associadas à ocorrência de incêndios, incluindo análises de uso e cobertura da terra, demandando estudos mais aprofundados.

As principais coberturas de solo nos projetos de assentamento estudados são áreas com formação savânica, formação florestal e pastagens (Figura 5.15), as maiores áreas queimadas atingiram áreas com formação savânica, com estimativa de 206.877ha (18% da área total com formação de savana) em 2007. Em 2007 e 2010, as áreas úmidas tiveram 32% e 31% de suas áreas queimadas, respectivamente. Outra hipótese é que as características dos imóveis rurais e regiões vizinhas (atividades produtivas, gestão agrícola, políticas municipais, etc.) estão relacionadas à ocorrência de incêndios, uma vez que os limites dos imóveis, que não são limitados por barreiras físicas, não limitam a propagação do fogo. Assim, futuras análises mais profundas são necessárias para identificar outros fatores associados à ocorrência de incêndios.

Figura 5.15 - Área queimada em projetos de assentamento da região do Matopiba por uso do solo e classe de cobertura para o período de 2001 a 2021. Valores estimados a partir de dados do Projeto Mapbiomas v.7 (agr: agricultura; alg: campo alagado; cam: formação campestre; flo: formação florestal; pt: pastagem; sav: formação savânica).



A maioria dos projetos de assentamento (77,6%) não apresentou tendência crescente ou decrescente de área queimada. Contudo, os projetos de assentamento no nordeste da região do Matopiba mostraram uma tendência positiva. Estes projetos de assentamentos foram criados entre 10 a 40 anos atrás e não estão numa fase inicial em que o fogo é usado comumente vinculado ao desmatamento. Na região onde estão localizados esses projetos de assentamento, estudo realizado por [Silva et al. \(2021\)](#) associou esta tendência crescente à expansão de culturas agrícolas em larga escala e a ocorrência de incêndios ligados ao desmatamento.

Os resultados relacionados às tendências de queimadas encontradas após a criação dos projetos de assentamento diferem dos estudos realizados na Amazônia Legal ([SCHNEIDER; PERES, 2015](#)). Para a Amazônia, os autores mostraram um aumento do fogo nos anos anteriores à criação do projeto de assentamento, o mesmo ocorreu em nossa área de estudo. Porém, após a criação de assentamentos na Amazônia, há um aumento com posterior declínio das queimadas, o que não foi verificado nos projetos de assentamentos na região do Matopiba, onde se estabilizaram. O fogo está associado ao desmatamento para agricultura e conversão de pastagens até 10 anos após a ocupação dos assentamentos ([SCHNEIDER; PERES, 2015](#)).

Dos 172 projetos de assentamento analisados, 86,6% foram criados a partir da desapropriação de fazendas improdutivas, com média de 2,7 anos entre o ano da desapropriação e o ano de criação do projeto de assentamento, daí a hipótese para explicar o incêndio antes da criação oficial dos projetos de assentamentos é que uma ocupação nesse período provoca um aumento dos incêndios antes da criação oficial. Além disso, nos primeiros anos após a criação dos projetos de assentamento, as famílias começam a se estabelecer na área. Sem recursos e organização para ações de prevenção e combate a incêndios, em um bioma caracterizado por estação seca bem definida e um mosaico terrestre de vegetação nativa inflamável e áreas agrícolas, os incêndios recorrentes são esperados. Outro fator é a mudança frequente no uso e cobertura do solo, utilizando o fogo para limpar ou manter campos de cultivo e pastagens.

Apesar do presente estudo trazer informações sobre a dinâmica temporal e espacial dos projetos de assentamento, há uma limitação na resolução espacial dos dados utilizados, em que não é detectada área queimada menor que 25ha; em alguns casos, esta área mínima detectada corresponde à área total de um lote. Assim, as queimadas controladas pelos agricultores para manejo agrícola podem ter sido excluídas da análise.

Para ações de prevenção e manejo, o tipo de classificação proposta neste estudo ajuda a compreender algumas características-chave dos projetos de assentamento e pode contribuir com o estabelecimento de projetos de assentamento prioritários para ações de controle de incêndios, especialmente para aqueles que apresentaram classificação com alta (A) área queimada, alta (a) frequência e tendência de aumento (+) de área queimada.

No bioma Cerrado, onde há maior número de assentamentos classificados como área queimada de alta padronização e alta frequência, uma alternativa para evitar áreas queimadas extensas nos projetos de assentamento é o manejo integrado do fogo (MIF). O MIF considera o uso do fogo pelas comunidades locais, com queimas prescritas em diferentes locais conforme a sensibilidade da vegetação em relação ao fogo e em diferentes locais a cada ano, criando um mosaico de áreas com diferentes históricos de incêndios ((MYERS, 2006; SCHMIDT; ELOY, 2020). Essa gestão já ocorre em unidades de conservação e terras indígenas (BERLINCK; LIMA, 2021; FALLEIRO et al., 2021; SCHMIDT et al., 2018). Embora a política de fogo zero no cerrado tenha consequências negativas em termos de perda de biodiversidade e prevenção de grandes incêndios (DURIGAN; RATTER, 2016; DURIGAN, 2020), bem como a Política Nacional de Manejo e Controle de Queimadas, Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais seja prevista em lei (BRASIL, 2012), não existe regulamentação ao nível nacional. Em 2018, foi proposto na Câmara dos Deputados um projeto de lei para instituir a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (BRASIL, 2018). Embora tenha sido aprovado no plenário em 2021, permanece em pausa para apreciação do Senado Federal. Adicionalmente, deve-se considerar que, devido às suas características de propagação, não é possível afirmar que as áreas queimadas identificadas nos projetos de assentamento tenham começado dentro dos seus limites ou em imóveis rurais privados do entorno. O fogo e os seus efeitos não reconhecem limites de propriedade; assim, não se trata de um problema restrito apenas aos projetos de assentamento ou aos seus lotes (as parcelas onde a família está instalada), mas a toda a paisagem em que estão inseridas. Portanto, são necessárias ações integradas entre entidades privadas e públicas de diferentes esferas, incluindo projetos de assentamento e imóveis rurais privados.

## 5.5 Considerações finais

Conforme resultados, identificou-se um padrão temporal de ocorrência de área queimada, com variações interanuais, e associado à estação seca. Contudo, não identificamos um padrão espacial padronizado de ocorrência e frequência das áreas queimadas.

Nossos resultados mostraram que a maioria dos projetos de assentamentos não apresentou tendência em relação ao fogo durante o período analisado. Entretanto, foram observados em uma pequena região, no nordeste do Matopiba, assentamentos com tendência crescente. Esses projetos de assentamento estão localizados em regiões com histórico recente de aumento de áreas queimadas (SILVA et al., 2021). Projeto de assentamento criados entre 2005 e 2017, nos estados do Maranhão e Tocantins, apresentaram uma tendência de aumento de áreas queimadas até o ano de sua criação e uma posterior estabilidade. Essa estabilidade pode ser resultado do uso do fogo para atividades agrícolas ou das dificuldades encontradas na implementação de medidas preventivas e de combate a incêndios vindas de áreas externas aos projetos de assentamento.

O desafio de conciliar a conservação ambiental num contexto de política social requer análises e ferramentas para compreender a ocorrência de ameaças, como os incêndios, que afetam tanto as comunidades como os ecossistemas. Neste contexto, apresentamos, além da análise individual das áreas queimadas, frequência e tendência, uma classificação dos projetos de assentamento na região do Matopiba, considerando a combinação dessas características. Essa classificação ajuda a compreender as principais características de cada projeto de assentamento, podendo orientar ações de prevenção e gestão, bem como definir prioridades. Identificar quando e onde ocorrem as queimadas é importante para a compreensão do regime de fogo e de suas consequências e, portanto, para propor ações diretas, como o manejo integrado do fogo para prevenção e formulação de medidas de controle.

## 6 AVALIAÇÃO DE FATORES RELACIONADOS AOS PROJETOS DE ASSENTAMENTO NO SUDOESTE DO MATOPIBA ASSOCIADOS A OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS

### 6.1 Introdução

A região do Matopiba se destaca pelas altas taxas de desmatamento e de queimadas (SCHMIDT; ELOY, 2020; SILVA et al., 2020). Nessa região, como mencionado nos capítulos anteriores, observamos a associação dos projetos de assentamento com áreas queimadas, com diferentes respostas e intensidades, dependendo da sub-região e do ano de análise. Os projetos de assentamento representam aproximadamente 4,4% da área da região do Matopiba. Entre 2001 e 2021, apresentaram um total acumulado de 35.265,92 km<sup>2</sup> de área queimada, total estimado através do produto de área queimada MCD64A1 v006 (GIGLIO et al., 2018), representando 2.5% da área queimada na região do Matopiba.

Sendo uma região de fronteira agrícola, encontramos uma pluralidade de formas de ocupação nos assentamentos rurais, com diferentes formas de manejo do fogo e, conseqüentemente, sofrendo diferentes impactos em relação às queimadas provocadas por esse fenômeno. O processo de criação, instalação e desenvolvimento dos projetos de assentamento também não ocorrem de forma homogênea, o que pode influenciar sobre a decisão sobre o uso do fogo ou como a disposição das áreas produtivas e de vegetação nativa se configuram para favorecer ou dificultar a propagação do fogo ou seu combate.

A modalidade predominante dos projetos de assentamento criados pelo Incra na região do Matopiba é a modalidade convencional denominada pela sigla PA, a qual é composta por um conjunto de lotes individualizados e independentes entre si. Cada lote é destinado a uma unidade familiar, acarretando autonomia na escolha das práticas agrícolas e das formas de manejo (INCRA, 2021c).

Como mencionado no Capítulo 2, os projetos de assentamento são criados por meio de obtenção de terras de diferentes formas, sendo as principais por meio da desapropriação, da arrecadação e por processos de compra e venda. De maneira geral, após a criação do projeto de assentamento, há a implantação dos projetos de assentamento, com a divisão dos lotes e a instalação das famílias.

Após a instalação das famílias, é dado o acesso aos primeiros créditos e posteriormente as famílias podem obter as linhas de crédito do Programa Nacional de

Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) para as atividades produtivas. A estruturação do assentamento também é realizada, com a construção de moradias, estradas e obras de eletrificação rural. A instalação de famílias não ocorre apenas na fase de implantação do projeto de assentamento, mas também no caso de lotes vagos, que podem ocorrer após a implantação, em decorrência de desistência, abandono ou reintegração de posse. Dessa forma, a ocupação e o uso e cobertura da terra podem variar ao longo dos anos após a criação do projeto de assentamento.

O Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA) tem como meta garantir aos assentados a propriedade definitiva dos lotes (BRASIL, 1993). Na implantação da área de reforma agrária, um contrato de concessão de uso é celebrado com as famílias, contendo cláusulas indicando os direitos e as obrigações a serem observados. Verificada as condições de permanência e regularização dos beneficiários no PNRA, os assentados tem direito ao Título de Domínio (TD), transferindo os lotes para eles em caráter definitivo. Entretanto, para dispor da terra, como arrendar, vender ou transferir para familiares, o assentado deve cumprir as cláusulas do título no prazo de 10 anos após sua emissão. O descumprimento implica em resolução do contrato e cancelamento do título (INCRA, 2019).

Os projetos de assentamentos são classificados conforme a fase em que se encontram no processo de criação, implantação, estruturação e consolidação do assentamento. A consolidação dos projetos de assentamento é realizada após a concessão de créditos de instalação e a conclusão dos investimentos, bem como após a outorga do instrumento definitivo de titulação (BRASIL, 1993).

Em estudo na Amazônia Legal, os resultados obtidos por Schneider e Peres (2015) demonstraram haver um aumento de queimadas antes da criação dos projetos de assentamentos e logo após a criação, seguido de um pico e posterior declínio, associado ao uso do fogo em processos de desmatamento na instalação inicial das famílias e ao início da produção agrícola nos lotes. Resultados apresentados no Capítulo 4, mostram que no estado do Tocantins e do Maranhão, projetos de assentamento também possuem um pico de aumento de área queimada durante a criação e se mantém estável até 5 anos após a criação. Assim, nossa hipótese é haver associação de ocorrência de área queimadas com os projetos de assentamentos mais novos e nas fases iniciais.

Com a implantação de projetos de assentamento, geralmente há um acréscimo na população rural do município, sendo a densidade populacional maior nos projetos de assentamento comparando com demais imóveis rurais. A densidade populacional

tem relação intermediária com a ocorrência de fogo (HARRISON et al., 2010), onde há um balanço entre a ignição e o controle do fogo.

O local de moradia e o local onde as relações sociais ocorrem no assentamento também podem ter diferentes configurações. Como exemplo, tem-se as agrovilas, que concentram a população do assentamento em determinada área, e moradia em áreas dentro do próprio. Embora não haja disponíveis estudos que analisem a ocorrência e os impactos das queimadas e incêndios nos projetos de assentamento com diferentes configurações de áreas comunitárias e locais de moradia, pode-se levantar a hipótese de que a moradia no lote contribui para que a identificação do fogo seja realizada de forma mais rápida, bem como seu combate e controle, do que quando comparado com as moradias em agrovilas, que podem se localizar distantes dos lotes, exigindo o deslocamento dos moradores, dificultando e atrasando as ações de combate aos incêndios.

Além dos lotes, os quais são destinados principalmente à produção agropecuária, os projetos de assentamento possuem em seu território, assim como em outros imóveis rurais, áreas destinadas à reserva legal <sup>1</sup> que podem ser alocadas de três formas: em condomínio (coletivamente), dentro do lote e de forma mista, sendo esta última alocada de ambas as formas: em área coletiva e dentro nos lotes. A disposição dessas áreas destinadas à conservação dos recursos naturais pode influenciar na propagação do fogo em função da estruturação dos mosaicos de paisagem e dos padrões espaciais e composições dos usos e cobertura da terra.

Cada fitofisionomia do bioma Cerrado tem relação com o fogo de forma diferente. Essa relação varia conforme um gradiente que vai desde áreas com predominância de gramíneas e pouca presença de árvores, como ocorre nas formações campestres, passando pelas formações savânicas, até chegar às formações florestais, onde a cobertura arbórea é mais densa e as gramíneas são escassas. Nas áreas com predominância de gramíneas, a vegetação é mais suscetível ao fogo, porém também mais adaptada a resistir a ele do que as formações florestais (HOFFMANN et al., 2012), apresentando maior taxa de propagação do fogo, intensidade do fogo, calor liberado, consumo de combustível fino, fator de combustão e emissões de carbono associadas ao consumo de combustível fino em pastagens e savanas em comparação com florestas que podem ser explicados por diferenças na estrutura da vegetação e no microclima (GOMES et

---

<sup>1</sup>Área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012)

al., 2020). Já nas formações florestais, a vegetação é menos inflamável, porém mais vulnerável aos impactos do fogo. No Capítulo 4, os resultados demonstraram que de maneira geral no sudoeste do Matopiba as formações campestres e savânicas apresentaram associação positiva com área queimada e formações florestais associação negativa. Nesse capítulo, a hipótese levantada é que nos projetos de assentamento esse mesmo padrão é observado.

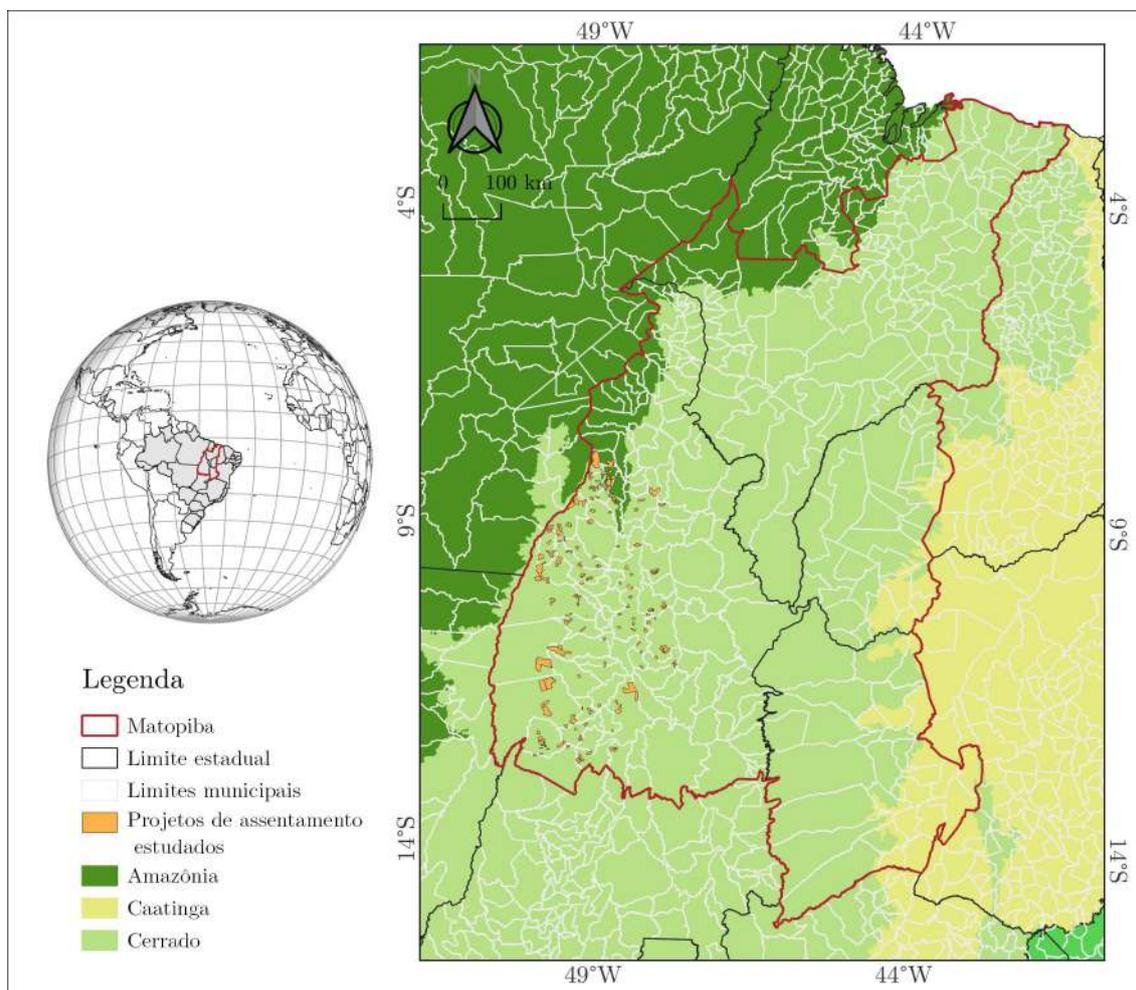
Neste contexto, este capítulo visa identificar quais fatores associados às características dos projetos de assentamento localizados no sudoeste do Matopiba, como densidade de famílias assentadas, fase dos projetos de assentamento, idade do projeto de assentamento, local de moradia, localização da área de reserva legal, uso e cobertura da terra e área desmatada, são associados à ocorrência de área queimada. Levantamos a hipótese de que fatores ambientais e relacionados a criação e desenvolvimento dos projetos de assentamento podem ser associados à ocorrência de queimadas, seja por propiciar a ignição, seja pela existência de ações de combate ao fogo ou pelas condições que facilitam/dificultam sua propagação. Para isso, avaliamos a ocorrência de queimadas no período de proibição de queimada (julho a outubro) no ano de 2017, por meio de modelo aditivo generalizado. Dessa forma, contribui-se assim para compreender quais fatores relacionados aos projetos de assentamentos são associados à ocorrência de queimadas, dando subsídios e auxiliando no planejamento de ações de prevenção e controle de incêndios.

## **6.2 Material e métodos**

### **6.2.1 Área de estudo**

A área de estudo é o sudoeste da região do Matopiba (Figura 6.1), que corresponde a sub-região 4 como estabelecida no Capítulo 4 (Figura 4.3). O objeto de estudo é a área que envolve 141 projetos de assentamento localizados nessa região. Essa região foi escolhida por apresentar projetos de assentamento com maior frequência de área queimada e por todos se localizarem no mesmo estado, sob gestão da mesma Superintendência do Incra, a do estado do Tocantins. O Cerrado é o bioma predominante na área de estudo. A área total dos projetos de assentamento é de aproximadamente 6.341 km<sup>2</sup>.

Figura 6.1 - Área de estudo.



Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites municipais e estaduais do IBGE (2019), limites dos projetos de assentamento do INCRA (2021a).

### 6.2.2 Dados e métodos utilizados

Obteve-se o conjunto de dados espaciais dos projetos de assentamento na base de dados do INCRA, disponível em <[www.acervofundiario.gov.br](http://www.acervofundiario.gov.br)>. Consideramos para nossa análise os projetos de assentamento federais criados pelo INCRA na modalidade de projeto de assentamento convencional, única modalidade presente na área de estudo.

Para dados de área queimada, consideramos a estação de fogo do ano de 2017, que

registou alguns dos valores mais elevados de extensão de área queimada (FIDELIS et al., 2018). O período de proibição de queima controlada para o ano de 2017 estipulado para o estado do Tocantins foi de 3 de julho a 30 de outubro (NATURATINS, 2017). Esse período foi utilizado para seleção dos dados de queimadas, de modo que as estimativas de área queimada se situassem no período de proibição, excluindo assim as queimadas autorizadas.

Foi utilizado os dados de cicatriz de área queimada do Programa Queimadas/INPE (INPE, 2021a) na qual os polígonos são delimitados utilizando imagens do satélite Landsat. As cenas correspondentes selecionadas foram 223/065, 223/066, 223/067, 223/068, 223/069, com data de passagem em 24-09-2017, e das cenas 222/066, 222/067, 222/068 e 222/069 com data de passagem em 17-09-2017.

Para análise dos fatores relacionados ao uso e cobertura da terra, criação e desenvolvimento dos projetos de assentamento, utilizamos como variável resposta a presença (valor 1) e ausência (valor 0) de área queimada por projeto de assentamento. Para cada ponto, foram associadas informações espaciais (latitude e longitude) em função da dependência espacial identificada (Figura B.2) e mais as 13 variáveis que representam potenciais fatores de associação com a ocorrência de queimadas (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Fatores potenciais e variáveis explicativas da ocorrência de queimada.

<b>Fator</b>	<b>Sigla</b>	<b>Variável</b>	<b>Fonte</b>
Densidade de famílias assentadas	idf	Número de famílias por ha	INCRA (2021a)
Titulação	itt	% de lotes titulados no projeto de assentamento	INCRA (2021d)
Fase	gfa	Fase em que se encontra o projeto de assentamento (1 até 9)	INCRA (2021a)
Idade do projeto de assentamento	gid	Número correspondente a idade do projeto de assentamento considerando sua data de criação	INCRA (2021a)
Local de moradia	gmo	Agrovila, para moradias predominantes em agrovila; Lote, para moradias predominantes nos lotes	INCRA (2021a)

Continua

Tabela 6.1 - Continuação.

<b>Fator</b>	<b>Sigla</b>	<b>Variável</b>	<b>Fonte</b>
Localização da área de reserva legal	grl	Reserva legal em bloco; reserva legal nos lotes	INCRA (2021a)
Formação florestal	ifl	% de área com formações florestais no projeto de assentamento em 2017	Mapbiomas (2020)
Formação savânica	isv	% de área com formações savânicas no projeto de assentamento em 2017	Mapbiomas (2020)
Formação campestre	icm	% de área com formações campestres no projeto de assentamento em 2017	Mapbiomas (2020)
Campos alagados	ial	% de área com campos alagados no projeto de assentamento em 2017	Mapbiomas (2020)
Agricultura	ilv	% de área com agricultura no projeto de assentamento em 2017	Mapbiomas (2020)
Pastagem	ipt	% de área com pastagem no projeto de assentamento em 2017	Mapbiomas (2020)
Área desmatada	idm	% de área desmatada no projeto de assentamento em 2017	INPE (2021b)

Para identificar os fatores associados à ocorrência de área de queimadas nos projetos de assentamento, utilizamos o modelo aditivo generalizado (GAM) (WOOD, 2006). Utilizou-se o GAM logístico, em função da variável resposta ser binária (1 - ocorrência de queimada; 0 - não ocorrência de área queimada). Os dados geoespaciais foram adicionados ao modelo e as variáveis explicativas adicionadas por funções suavizadas. Para selecionar as variáveis potenciais para ajuste do GAM, foi avaliada a concurvidade entre as variáveis. As variáveis que tiveram concurvidade acima de 0,5 foram excluídas do modelo.

Foi gerado um GAM com amostras de treinamento (70% dos dados) e as variáveis explicativas selecionadas, sendo retiradas as variáveis que não atingiram um nível mínimo de 5% para o p-valor do teste Z de modo a ajustar o modelo final e identificar os fatores associados. Para verificar a capacidade de predição de cada modelo, dado um conjunto de dados de validação (30% dos dados) foi calculada a curva AUC (do inglês, *Area Under The Curve*) derivada da curva ROC (do inglês, *Receiver Operating*

*Characteristics*). Para avaliação da associação de cada fator com a ocorrência de área queimada foi utilizado *odds ratio*.

### 6.3 Resultados

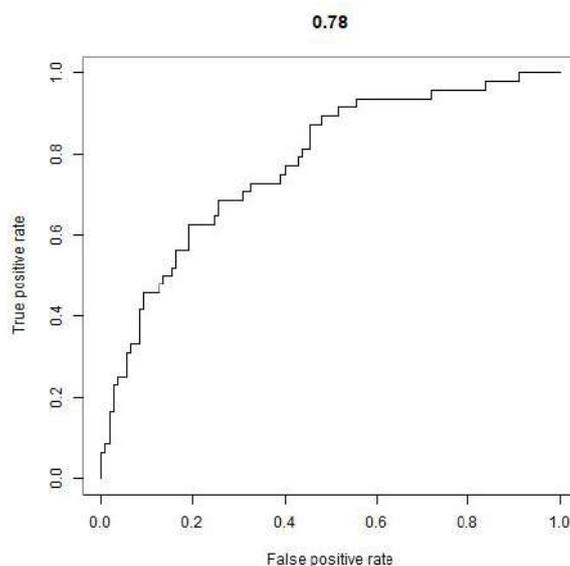
A área queimada estimada para os projetos de assentamento estudos foi de 290 km<sup>2</sup>, correspondendo a 3% da área total. Dos 144 projetos de assentamento, 124 (86%) tiveram área queimada e 50 (34%) não tiveram.

Com base no modelo aditivo generalizado ajustado, identificamos seis variáveis associadas à ocorrência de área queimada (Tabela 6.2): densidade de famílias, idade do assentamento, formação florestal, formação savânica, formação campestre e campo alagado. O modelo gerado apresentou AUC de 0,78 (Figura 6.2).

Tabela 6.2 - Resumo estatístico do modelo aditivo generalizado gerado (idf = densidade de famílias assentadas; gid = idade; ifl = formação florestal; isv = formação savânica; icm = formação campestre; ial = campo alagado).

Fórmula: $q \sim s(idf) + s(gid) + s(ifl) + s(isv) + s(icm) + s(ial)$					
Parametric coefficients					
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
(Intercept)	-1.4617	0.4796	-3.048	0.0023	**
Approximate significance of smooth terms:					
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value	
s(ifl)	1.177	1.332	7.947	0.01262	*
s(isv)	1.000	1.000	7.746	0.00538	**
s(icm)	1.000	1.000	7.230	0.00717	**
s(ial)	2.648	3.171	9.745	0.02538	*
s(idf)	4.450	5.240	11.833	0.04512	*
s(gid)	1,000	1,000	8.824	0.00297	**
Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

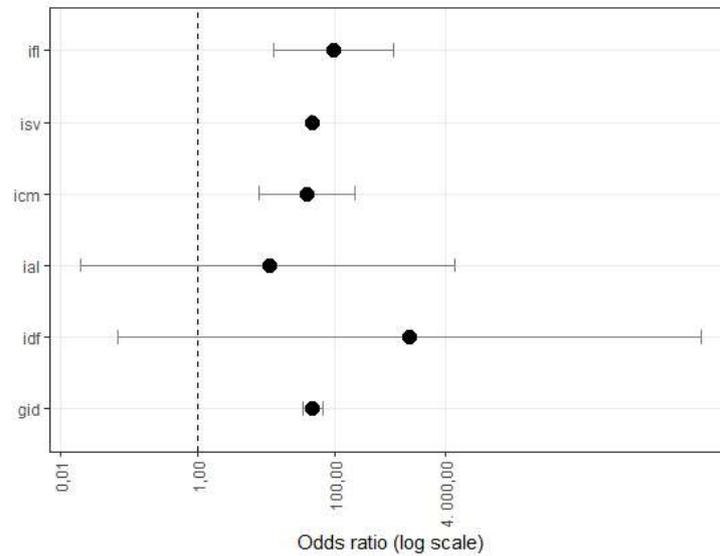
Figura 6.2 - Gráfico ds curva AUC/ROC.



Calculamos *odds ratio* das variáveis selecionadas do modelo (Figure 6.3). Valores acima de 1 há mais chances de ocorrer queimadas do que não ocorrer. Assim, a chance de ocorrer é maior do que não ocorrer em projetos de assentamento mais antigos, com maior porcentagem de área com formação florestal, savânica e campestre. Apesar dos projetos de assentamento com maior densidade de famílias e com maior porcentagem de área com campo alagado apresentaram maior chance de ocorrer área queimada, o intervalo de confiança é amplo, gerando incertezas.

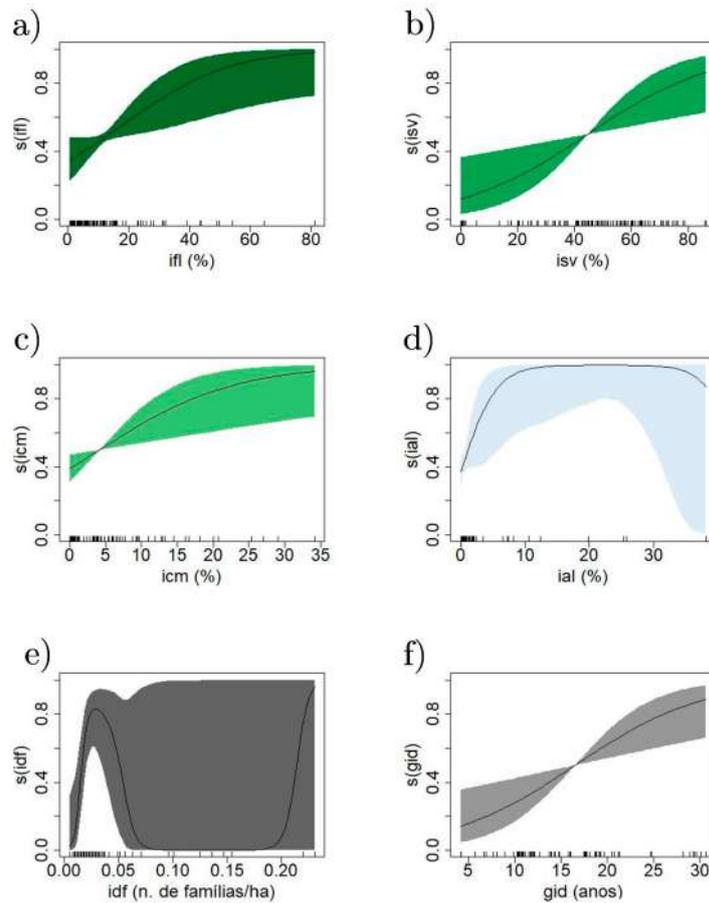
Conforme a Figura 6.4, há probabilidade acima de 50% de ocorrência de área queimada em projetos de assentamento mais antigo com mais de 20 anos, com mais de 20% de área com formação florestal, com mais de 50% de formação savânica e com mais de 5% de formação campestre. Para projetos de assentamento com 5% de área alagada a probabilidade é maior, porém acima de 30% há amplitude no intervalo de confiança que gera incertezas sobre a associação entre campos alagados e área queimada. O mesmo ocorre para a densidade de famílias acima de 0,05 famílias/ha. Em valores abaixo de 0,02, a probabilidade é menor de ocorrer área queimada.

Figura 6.3 - *Odds ratio* de variáveis selecionadas no modelo, traços pretos indicam intervalo de confiança.



ifl = % de área com formação florestal no projeto de assentamento; isv = % de área com formação savânica no projeto de assentamento; icm = % de área com formação campestre no projeto de assentamento; ial = % de área com campos alagados no projeto de assentamento; idf = número de famílias por ha; gid = idade do projeto de assentamento

Figura 6.4 - Probabilidade de ocorrência de queimadas conforme: a) porcentagem de formação florestal (ifl) no projeto de assentamento; b) porcentagem de formação savânica (isv) no projeto de assentamento; c) porcentagem de formação campestre (icm) no projeto de assentamento; d) porcentagem de campo alagado (ial) no projeto de assentamento; e) densidade de famílias assentadas (idf) e; d) idade do projeto de assentamento (gid).



Não foram identificadas associações entre as variáveis de titulação, fase do assentamento, local de moradia, localização da reserva legal, agricultura, pastagem e área desmatada.

#### 6.4 Discussões

Nossos resultados indicam que formações florestais, formações savânicas, formações campestres, campos alagados, densidade de famílias e idade dos projetos de assentamento foram associados à ocorrência de queimadas em projetos de assentamento

durante período de proibição de queima no ano de 2017.

A ocorrência de área queimada associadas com áreas com maior porcentagem de formações campestres e savânicas era esperado, pois a presença de gramíneas e de um microclima favorece aspectos relacionados à ignição e propagação do fogo (GOMES et al., 2020). Em estudo realizado na Ilha do Bananal, área próxima a projetos de assentamento estudados, ARAGÃO et al. (2023) apontaram que as formações campestres e savânicas possuem maior risco, o que concorda com nossos resultados. Os autores também apontaram que áreas com formação florestal são áreas com muito baixo risco. Essas formações apresentam material combustível com menor inflamabilidade. Porém, nossos resultados mostram o oposto, em que projetos de assentamento com maior porcentagem de formação florestal apresentaram maior probabilidade de ocorrência, assim, indicando que a degradação florestal ou os anos de evento de seca alteram o microclima dessa vegetação, propiciando a ignição e/ou propagação nessas áreas. Também foi observada a associação entre ocorrência de área queimada com campos alagados, que pode ser explicado pela predominância de fitofisionomia herbácea e ocorrência de alagamento sazonal que favorece a produção de biomassa, que fica disponível na estação seca, propiciando a ocorrência de fogo (SUNGMIN et al., 2020).

A densidade de famílias foi outra característica identificada com associação com área queimada, em que a baixa densidade de famílias apresentou baixa probabilidade de ocorrência de queimadas, indicando que a presença humana contribui diretamente para a ignição e indiretamente pode alterar o meio propiciando a propagação do fogo. O uso da terra e o comportamento humano têm uma influência importante sobre como a fragmentação afeta o fogo, por seres humanos, tanto na sua ignição quanto no controle de incêndios (DRISCOLL et al., 2021).

Conforme os resultados obtidos, quanto maior a idade do assentamento maior a probabilidade de área queimada, o que não era esperado, já que em estudos anteriores em projetos de assentamento na Amazônia Legal apontaram a maior ocorrência nos anos iniciais (SCHNEIDER; PERES, 2015).

Com o avanço da idade dos assentamentos, há o aumento das áreas produtivas, resultado em fragmentação e diferentes configurações de áreas produtivas e de vegetação nativa. Com a fragmentação, o aumento do fogo pode ocorrer devido à facilitação de ignições antropogênicas e ao aumento da inflamabilidade da borda dos fragmentos (DRISCOLL et al., 2021). Por outro lado, a fragmentação da vegetação nativa pode limitar a propagação por meio da redução da vegetação inflamável, expansão de ve-

getação não inflamável e obstrução física por infraestrutura. Assim, a relação entre a dinâmica da fragmentação em projetos de assentamento deve ser melhor estudada.

Uma das limitações do presente trabalho é que os resultados se limitam à ocorrência de queimadas em um ano específico (2017) e à região estudada. Sendo assim, é necessário ampliar as análises considerando períodos maiores e expandir para projetos de assentamento de outras regiões. Destaca-se que, o ano de 2017 foi atípico pela ocorrência de extensas áreas queimadas (FIDELIS et al., 2018), condição esta que tornar mais recorrente em função das mudanças do clima. Esses impactos podem ser potencializados, já que o clima é um fator importante que afeta a intensidade e as possibilidades de controle do fogo (ANDELA et al., 2017). O aumento da temperatura aumentará o risco de incêndio e levará ao aumento da área queimada no Cerrado (SILVA et al., 2019), o que pode ter como consequência grandes perdas sociais, econômicas e ambientais, gerando um aumento nos gastos com ações para a mitigação de incêndios, mesmo para um bioma propenso ao fogo.

## 6.5 Considerações finais

Nossos resultados demonstraram que o tipo de cobertura vegetal, densidade de famílias e idade do projeto de assentamento estão associados à ocorrência de área queimada.

O resultado da associação entre idade dos projetos de assentamento e área queimada diferem de trabalhos anteriores e isso implica que as ações de prevenção à queimadas tem que ser planejadas de forma diferente para os projetos de assentamento, considerando o bioma em que estão inseridos. Esses resultados são diferentes porque grande parte dos projetos de assentamento do bioma Amazônia são criados em áreas que não foram desmatadas. Assim, demandam abertura de áreas para plantio, utilizando fogo como ferramenta para desmatamento. Já para os projetos de assentamento do bioma Cerrado, majoritariamente originados de desapropriação e por vezes se encontram em áreas previamente desmatadas, o fogo também é utilizado para manejo de agrícola ou de pastagens e os incêndios ocorrem devido à propagação do fogo pela vegetação inflamável presente em determinadas fitofisionomias do Cerrado.

Apesar da falta de regulamentação do uso de queimas prescritas em áreas de vegetação nativa em imóveis rurais privados e projetos de assentamento, principalmente em áreas de reserva legal, essa prática pode reduzir a intensidade das queimadas, ajudando a manter a heterogeneidade natural do cerrado e evitar a ocorrência de incêndios de maior intensidade (DURIGAN; RATTER, 2016). Como discutido em

capítulos anteriores, os resultados apresentados reforçam a necessidade da expansão do manejo integrado do fogo (MIF) para os projetos de assentamento localizados no bioma Cerrado.

Por fim, esse capítulo analisou os fatores relacionados aos projetos de assentamento não considerando a heterogeneidade que ocorre dentro de seus limites, com diferentes formas de ocupação realizadas pelas famílias assentadas. Assim, é necessária uma análise em escala local para melhor compreensão de como ocorrem as queimadas, para isso, o próximo capítulo (Capítulo 7) traz uma abordagem ao nível dos lotes dos projetos de assentamento.

## 7 USO DO FOGO, INCÊNDIOS E OCUPAÇÃO DE LOTES: ANÁLISE DE PROJETOS DE ASSENTAMENTO NO SUDOESTE DO ESTADO DO TOCANTINS

### 7.1 Introdução

Os projetos de assentamentos (PA) têm enfrentado desafios em termos de questões ambientais (LE TOURNEAU; BURSZTYN, 2010), incluindo a ocorrência de incêndios (ANDERSON et al., 2017; REIS et al., 2021; SCHNEIDER; PERES, 2015; SILVA et al., 2021) que causam efeitos na saúde, perdas econômicas e diminuição da qualidade de vida (SOARES; PEIXINHO, 2020). Porém, o fogo nem sempre é ruim (BERLINCK; BATISTA, 2020): nas savanas, o fogo é um componente natural que molda a evolução das espécies há milhares de anos, e sua exclusão pode causar impactos negativos na biodiversidade. O fogo também é ferramenta de trabalho no meio rural. Os agricultores têm utilizado o fogo para múltiplas finalidades, principalmente renovação de pastagens e preparação de terras para cultivo (ASSUNÇÃO et al., 2017; BOND; KEELEY, 2005; LARA et al., 2007; MISTRY, 1998; PIVELLO, 2011). A agricultura de subsistência por vezes requer o uso do fogo, que é uma ferramenta de baixo custo e ocasionalmente necessária, e também está associada a questões culturais (MOURA et al., 2019).

Segundo ASSUNÇÃO et al. (2017), mais da metade dos assentados utilizam o fogo continuamente e em pequenas áreas no PA Vale Verde, no estado do Tocantins. Os autores apontam o uso do fogo como elemento cultural em diversas atividades do meio rural, como limpeza do terreno, queima de lixo doméstico, estímulo à frutificação de alguns frutos do Cerrado, auxílio na coleta do mel produzido e queima de capim para renovar as pastagens.

No entanto, o fogo utilizado no manejo agrícola muitas vezes escapa para as áreas vizinhas e contribui em grande parte para os incêndios (CANO-CRESPO et al., 2015), gerando perdas ou danos à propriedade, com custos econômicos (MENDONÇA et al., 2004). Os incêndios não são resultantes apenas da falta de controle nas práticas agrícolas, também podem ser desencadeados por causas naturais, como raios, ações intencionais por incendiários, e atividades recreativas com fogo, além de descuidos por parte de fumantes.

No Brasil, a legislação ambiental considera provocar incêndios florestais como um crime ambiental (BRASIL, 1998); no entanto, permite o uso do fogo em determinadas situações. Entre elas, em regiões onde o uso controlado do fogo é justificado

por algumas peculiaridades, por exemplo, o uso do fogo em práticas agropastoris ou florestais. O uso do fogo deve ocorrer apenas com autorização prévia de órgão ambiental competente (BRASIL, 2012).

Existem estudos sobre queimadas em assentamentos (ANDERSON et al., 2017; REIS et al., 2021; SCHNEIDER; PERES, 2015; SILVA et al., 2021), mas não há informações suficientes sobre como o fogo é usado na agricultura. Não há estimativas que mostre a diferença entre queimadas controladas e incêndios e sua associação com o uso e ocupação do lote pelas famílias assentadas ao longo do desenvolvimento do projeto de assentamento.

As formas de ocupação e as características socioeconômicas dos projetos de assentamento são dinâmicas e podem ser caracterizadas a partir da análise de padrões de desmatamento (LORENA; LAMBIN, 2009). Diferentes tipos de atores têm padrões de desmatamento distintos (YANAI et al., 2020). Os pequenos agricultores tendem a desmatar menos enquanto tendem a manter sistemas de produção diversificados, mas tendem a aumentar o desmatamento onde dependem mais da produção de gado (PACHECO, 2009). Alguns agricultores assentados aumentam suas áreas de produção através da compra irregular de novos lotes, aumentando suas atividades e, assim, caracterizando reconcentração de terras. Yanai et al. (2020) identificaram padrões de desmatamento associados à ocupação inicial (manchas lineares de desmatamento), padrões associados à agricultura familiar com uso de lote único (pequenas manchas de desmatamento com formatos irregulares ou geométricos) e a reconcentração de lotes (grandes manchas de desmatamento que ultrapassam os limites dos lotes) no PA Matupi, no estado do Amazonas.

Estudos relacionando atores e processos aos padrões de desmatamento foram realizados na Amazônia, mas ainda existem lacunas nos estudos no bioma Cerrado. O bioma Cerrado vem sofrendo tanto com altas taxas de desmatamento quanto com incêndios, principalmente no contexto de regiões de fronteira agrícola, como a região do Matopiba (SCHMIDT; ELOY, 2020; SILVA et al., 2020).

Nesse contexto, neste estudo visamos responder as seguintes questões: como ocorre o processo de ocupação do lote (através de pequenos ou geométricos padrões de desmatamento, ocupação total do lote ou sem ocupação) e onde ocorrem as diferentes classes de área queimada (incêndios e queima controlada) considerando as diferentes classes de ocupação do lote? Para isso, analisamos três projetos de assentamento na região sudoeste do Matopiba, com os seguintes objetivos: identificar e classificar as áreas queimadas que ocorrem nos lotes, em incêndios e queimas controladas; classifi-

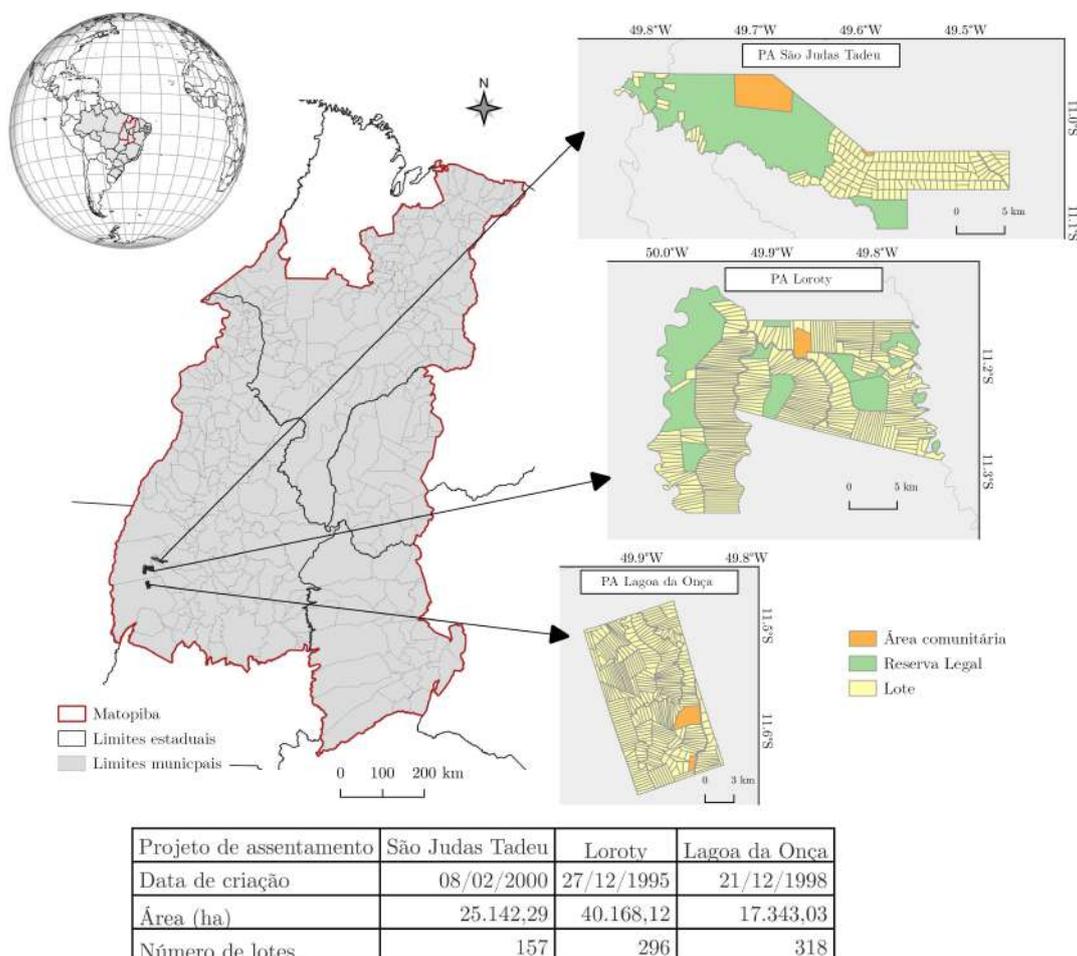
car os lotes de três projetos de assentamento conforme formas de ocupação (através de pequenos ou geométricos padrões de desmatamento, ocupação total do lote ou sem ocupação); avaliar associação entre tipos de queimada e formas de ocupação nos lotes de projetos de assentamento. A compreensão dessas associações pode contribuir para um melhor entendimento do uso do fogo por esses agricultores e oferecer informações para a prevenção de incêndios, diferenciando os processos e os efeitos do fogo, o que possibilita orientar, de forma diferenciada, as ações de combate e controle das queimadas.

## **7.2 Material e métodos**

### **7.2.1 Área de estudo**

A área de estudo está localizada na região sudoeste do Matopiba, que corresponde a sub-região 4 como estabelecida no Capítulo 4 (Figura 4.3). O objeto de estudo foram três projetos de assentamento de reforma agrária (Figura 7.1): PA São Judas Tadeu (157 lotes, tamanho médio do lote = 63ha), PA Loroty (296 lotes, tamanho médio do lote = 97 ha) e PA Lagoa da Onça (318 lotes, tamanho médio do lote = 51 ha). A escolha desses projetos considerou o resultado da classificação realizada no Capítulo 5 onde os três projetos apresentaram alta frequência de ocorrência de queimadas e selecionados entre outros projetos de assentamento com a mesma classificação em função do acesso aos projetos de assentamento e proximidade entre eles para trabalho de campo, além de disponibilidade de dados dos lotes e das famílias assentadas.

Figura 7.1 - Área de estudo.



Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites estaduais e de países do IBGE (2019), limites dos projetos de assentamento do INCRA (2021a).

O PA Loroty, o PA Lagoa da Onça e o PA São Judas Tadeu foram criados em 1995, 1998 e 2000, respectivamente. As terras dos três projetos de assentamento foram adquiridas através da desapropriação de grandes propriedades consideradas improdutivoas. O imóvel rural é desapropriado quando considerado improdutivo pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), que ocorre quando não é explorado econômica e racionalmente, e não apresenta, simultaneamente, atividades produtivas associadas ao uso da terra e eficiência na produção (BRASIL, 1993). A legislação ambiental brasileira determina que os imóveis rurais, incluindo projetos de assentamento, em áreas de Cerrado na Amazônia Legal Brasileira, des-

tinem a conservação pelo menos 35% de sua área com cobertura vegetal nativa; esta área é chamada de reserva legal (BRASIL, 2012). A reserva legal tem a função de garantir o uso econômico sustentável dos recursos naturais, auxiliar na conservação e reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como abrigar e proteger a fauna silvestre e a flora nativa (BRASIL, 2012). O PA Loroty e o PA São Judas possuem suas áreas de reservas legais em condomínio, localizadas de forma coletiva fora dos lotes, enquanto o PA Lagoa da Onça possui as áreas de reservas legais nos lotes.

Os três projetos de assentamento estão na Amazônia Legal brasileira e no bioma Cerrado, que se caracteriza por um mosaico de fitofisionomias que possuem diferentes relações com o fogo. As formações de pastagens e savanas são mais inflamáveis e tolerantes ao fogo do que as formações florestais (HOFFMANN et al., 2012). A principal atividade econômica nesses três projetos de assentamento é a pecuária, com a utilização de pastagens cultivadas e nativas.

### **7.2.2 Dados utilizados**

Os dados utilizados são descritos na Tabela 7.1. Os dados coletados em campo consistiu em visitar aos três projetos de assentamento com levantamento fotográfico do uso da terra dos lotes e consulta com os moradores para verificar o uso do fogo e histórico de queimadas. O levantamento de dados de campo foram utilizados para: (1) ajuste da tipologia de ocupação dos lotes; e 2) avaliação qualitativa da classificação estrutural.

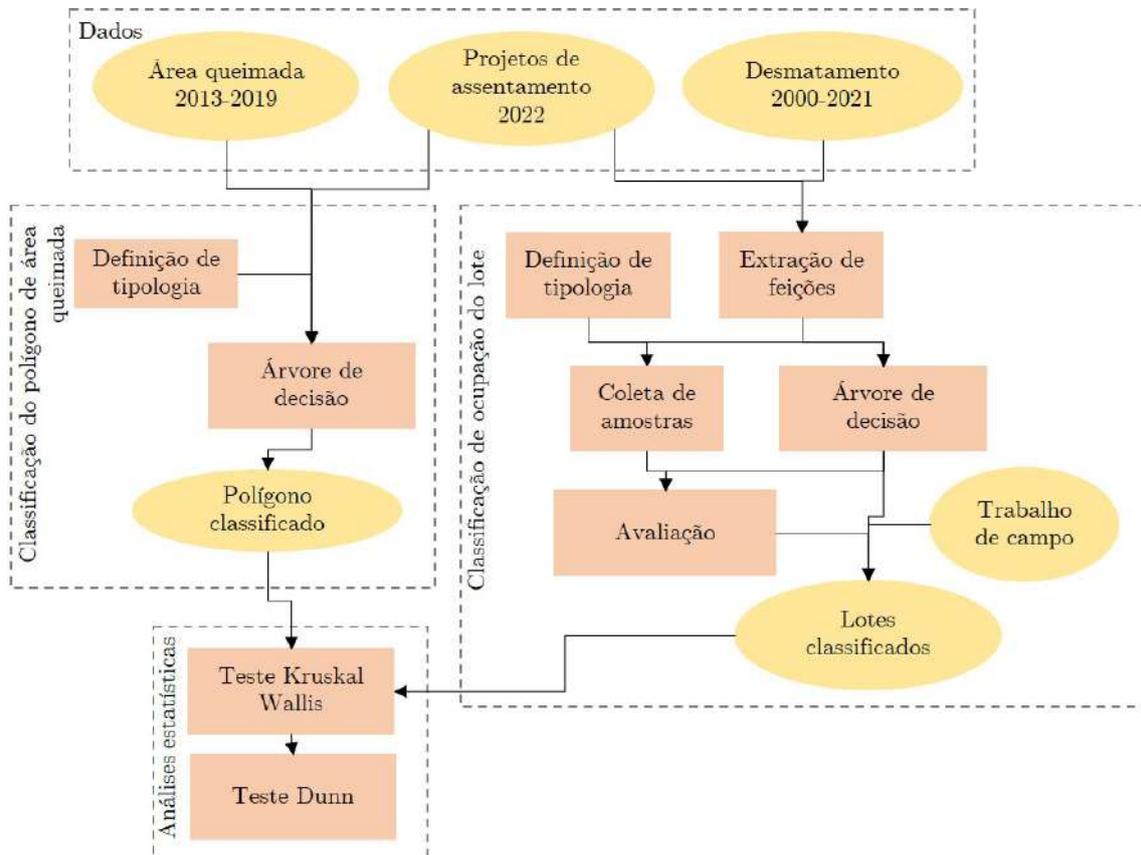
Tabela 7.1 - Descrição dos dados utilizados.

Dado	Descrição	Período	Fonte
Projetos de assentamento	Dados espaciais dos lotes dos projetos de assentamento	2022	Via solicitação ao INCRA (2022)
	Dados de uso do fogo e uso da terra	2022	Coleta de campo em julho e agosto de 2022
	Na relação estão informações gerais sobre o assentamento, o município, os nomes de cada beneficiário e ex-beneficiário, data na qual a seleção foi validada e a situação da unidade familiar		INCRA (2023)
Desmatamento	Polígono de desmatamento	2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021	INPE (2021b)
Área queimada	Polígono de área queimada	2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019	INPE (2021a)

### 7.2.3 Métodos

A Figura 7.2 apresenta o fluxograma dos métodos aplicados, dividido em três etapas: (1) classificação da ocupação do lote; (2) classificação da área queimada; e (3) análise estatística.

Figura 7.2 - Fluxograma dos métodos utilizados.



### 7.2.3.1 Classificação dos tipos de área queimada

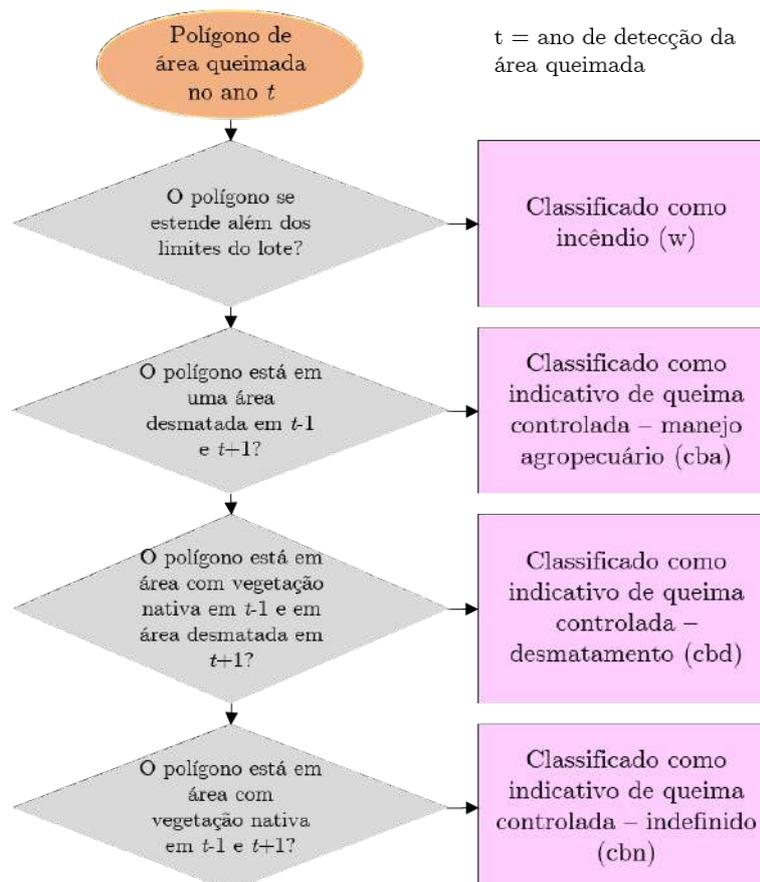
Rotulamos os polígonos das áreas queimadas como indicativos de: incêndio (w), quando o fogo está fora de controle e se propaga além dos limites dos lotes, atingindo tanto a vegetação nativa quanto outros usos e cobertura da terra; queima controlada – desmatamento (cbd): quando se configura como prática cultural de queima de resíduos provenientes do desmatamento; queimadas controladas – manejo agrícola (cba): quando se configura como prática de manejo para limpeza de áreas agrícolas e/ou renovação de pastagens; queima controlada – vegetação nativa (cbn): quando a queima em vegetação nativa não foi identificada e associada à alguma classe de uso da terra.

Utilizamos dados espaciais dos limites dos lotes dos projetos de assentamento e

analisamos os dados de desmatamento do ano anterior e posterior ao ano da área queimada. Além disso, criamos um buffer de 30 metros ao redor do lote para minimizar os efeitos da resolução espacial das imagens Landsat utilizadas para produzir os dados da área queimada, portanto consideramos que o polígono queimado está no lote mesmo que parte do *pixel* esteja localizado fora do perímetro do lote. Para esta classificação, utilizamos a árvore de decisão descrita na Figura 7.3.

Consideramos este procedimento ‘indicativo’ porque não é possível realizar a validação uma vez que seria necessário estar em campo no momento desses eventos. Consideramos ser ‘controlado’ porque está localizado no lote sob responsabilidade de uma família. A queima legalmente controlada depende de autorização prévia do órgão ambiental competente (BRASIL, 2012) e quando requerida, é emitida ao titular do lote. Assim, a área autorizada para queima controlada tem como limite a área do lote, que deve restringir o tamanho da área queimada.

Figura 7.3 - Árvore de decisão para classificação do polígono de área queimada.

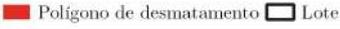
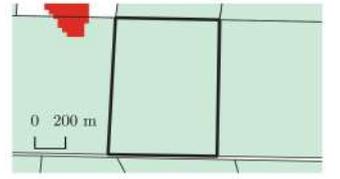
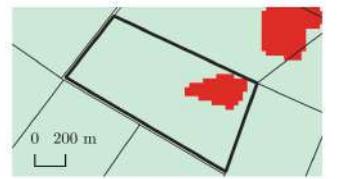
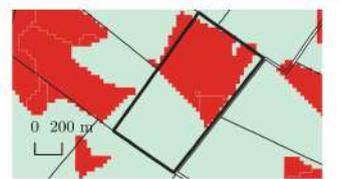


### 7.2.3.2 Classificação das formas de ocupação do lote

Classificamos os lotes com base nas características dos polígonos de desmatamento presentes em cada um deles (Figura 7.4): (a) Não observado (NoO): lotes sem polígonos de desmatamento; (b) ocupação indefinida (UnO): lotes com polígonos de desmatamento anteriores a 2002; (c) Ocupação pequena (SmO): lotes com polígonos de desmatamento pequenos e difusos; (d) Ocupação geométrica (GeO): lotes com polígonos de desmatamento em formato geométrico; e (e) ocupação total (ToT): lote totalmente ou quase totalmente desmatado. Classificamos 771 lotes dos três projetos de assentamento estudados (PA São Judas Tadeu: 157 lotes; PA Loroty: 296 lotes; e PA Lagoa da Onça: 318 lotes) para cada um dos seguintes anos: 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, anualmente até 2021 (15 anos), resultando em 11.565 classificações.

Para classificação, primeiramente, os lotes que se sobrepuseram aos polígonos de desmatamento no ano 2000 não foram classificados, os lotes foram separados e após a classificação das outras classes, esses lotes foram incluídos na análise como ocupação indefinida (UnO). Para os demais lotes, selecionamos 247 amostras de lotes e classificamos sua ocupação anual do lote com base em informações sobre polígonos de desmatamento, dados de uso do solo e data de início de ocupação do lote, para classificação em SoO, SmO, GeO e ToT (Figura 7.4). Dividimos as amostras entre treinamento (70%) e teste (30%).

Figura 7.4 - Padrões de ocupação de lotes e desmatamento associados a projetos de assentamentos de reforma agrária na região sudoeste do Matopiba.

Ocupação do lote	Padrão de desmatamento	Descrição da ocupação	
NoO Não observado	Lotes sem polígonos de desmatamento	Ocupação do lote sem conversão da vegetação nativa para outros usos	
SmO Ocupação pequena	Lote com polígonos de desmatamento pequenos e difusos	Ocupação do lote associado com agricultura de subsistência	
GeO Ocupação geométrica	Lote com polígonos de desmatamento geométrico	Ocupação do lote com pastagem e/ou agricultura. Possível uso de mecanização agrícola.	
ToT Ocupação total	Lote quase ou totalmente desmatado	Aproveitamento total do lote principalmente com pecuária; possível uso de mecanização agrícola	

Em seguida, baseado na proposta de [Silva et al. \(2008\)](#), gerou-se uma árvore de decisão para os três projetos de assentamento, considerando o período de: (i) extração de características com base nas características dos polígonos de desmatamento do lote, onde foram calculadas métricas para cada lote e salvas na tabela de atributos do mapa vetorial do lote; (ii) classificação dos lotes utilizando amostras de treinamento e árvore de decisão com o algoritmo C5.0; e (iii) avaliação da classificação de ocupação do solo com base na matriz de confusão por meio de amostras de teste. Utilizamos o plugin GeoDMA ([KÖRTING et al., 2013](#)) no software TerraView 5.6.3. Após classificação dos lotes no período de 2002 a 2021, avaliamos a trajetória de ocupação dos lotes para identificar inconsistências. As transições consideradas incorretas foram: ToT para NoO, SmO e GeO; GeO para NoO e SmO; e SmO para NoO. As inconsistências identificadas foram reclassificadas manualmente.

As classes de ocupação do lote definidas neste estudo correspondem às áreas em uso dentro do lote que foram convertidas em algum momento de vegetação nativa para outros usos agropecuários. Não consideramos o uso de recursos naturais sem que tenha sido constatada a conversão de vegetação nativa e não consideramos o abandono da atividade do lote em anos subsequentes ao desmatamento nas análises.

### **7.2.3.3 Análises estatísticas**

Para compreender a distribuição das classes de áreas queimadas nas diferentes ocupações do lote, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis. A hipótese nula é que os grupos de diferentes ocupações de lotes possuem a mesma distribuição de valores. Rejeitada a hipótese nula, aplicamos o teste de Dunn para identificar quais categorias diferem umas das outras e, assim, identificar a associação entre os tipos de queimadas e formas de ocupação do lote.

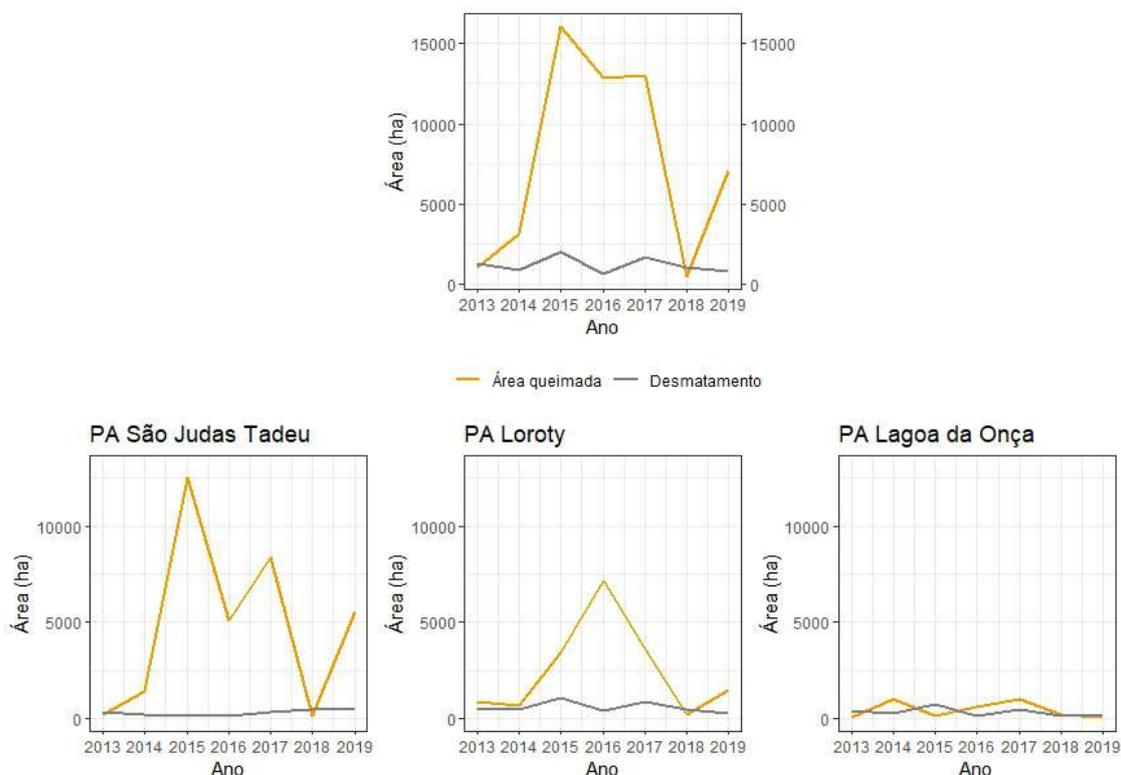
## **7.3 Resultados**

### **7.3.1 Desmatamento e queimadas**

Estimamos um total acumulado de 53.756 ha de área queimada nos três projetos de assentamento no período de 2013 a 2019. No PA São Judas Tadeu, estimamos um acumulado de 33.262 ha de área queimada, sendo 25.086 ha em área de reserva legal, 4.023 ha na área comunitária e 4.153 ha em lotes. No PA Loroty estimamos um acumulado de 17.379 ha de área queimada, sendo 7.797 ha em área de reserva legal, 94 ha em área comunitária e 9.488 ha em lotes. No PA Lagoa da Onça estimamos um acumulado de 3.114 ha de área queimada, sendo 208 ha em área comunitária e 2.906 ha em lotes.

As maiores áreas queimadas foram em 2015, 2016 e 2017 (Figura 7.5). A PA São Judas Tadeu teve a maior área queimada em 2015 e 2017, enquanto a PA Loroty teve a maior em 2016. A PA Lagoa da Onça teve uma área queimada menor. Os anos de 2015 e 2017 estão associados a eventos de seca (MARENGO et al., 2022).

Figura 7.5 - Área queimada anual e desmatamento anual nos assentamentos estudados, considerando o período de 2013 a 2019.



Estimamos 16.548 ha de área queimada em lotes nos três assentamentos e 2.078 polígonos de área queimada nos três assentamentos, 487 polígonos no PA São Judas Tadeu, 933 polígonos no PA Loroty e 658 polígonos no PA Lagoa da Onça. Do total de polígonos, classificamos 1.273 polígonos como indicativos de incêndio (w) totalizando 14.821 ha, 424 polígonos como indicativos de queima controlada – manejo agrícola (cba) totalizando 254 ha, 319 polígonos como indicativos de queima controlada – vegetação nativa (cbn) totalizando 490 ha, e 62 polígonos como indicativos de queimadas controladas – desmatamento (cbd) totalizando 127 ha.

As áreas com indícios de incêndio (w), por não se restringir aos limites dos lotes, alcançaram maiores extensões (Figura 7.6) e maior número de lotes (Figura 7.7). O PA Loroty apresentou maior área com queimadas nos lotes (Figura 7.6). Em 2016, os incêndios atingiram 2.871,95 ha, 10% da área dos lotes. Embora com área total menor em relação ao PA Loroty, as áreas de queimadas no PA São Judas Tadeu

atingiram 19,2% da área dos lotes em 2017 e 11% em 2015. Da mesma forma, o número de lotes atingidos por incêndios foi maior no PA Loroty em 2016, atingindo 112 lotes, o que representa 37,8% do total de lotes, seguida pelo PA São Judas Tadeu com 109 lotes em 2017, representando 69,4% dos lotes (Figura 7.7).

Figura 7.6 - Área queimada (ha) por classe de área queimada e por projeto de assentamento de 2013 a 2019 (cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa; w: incêndio).

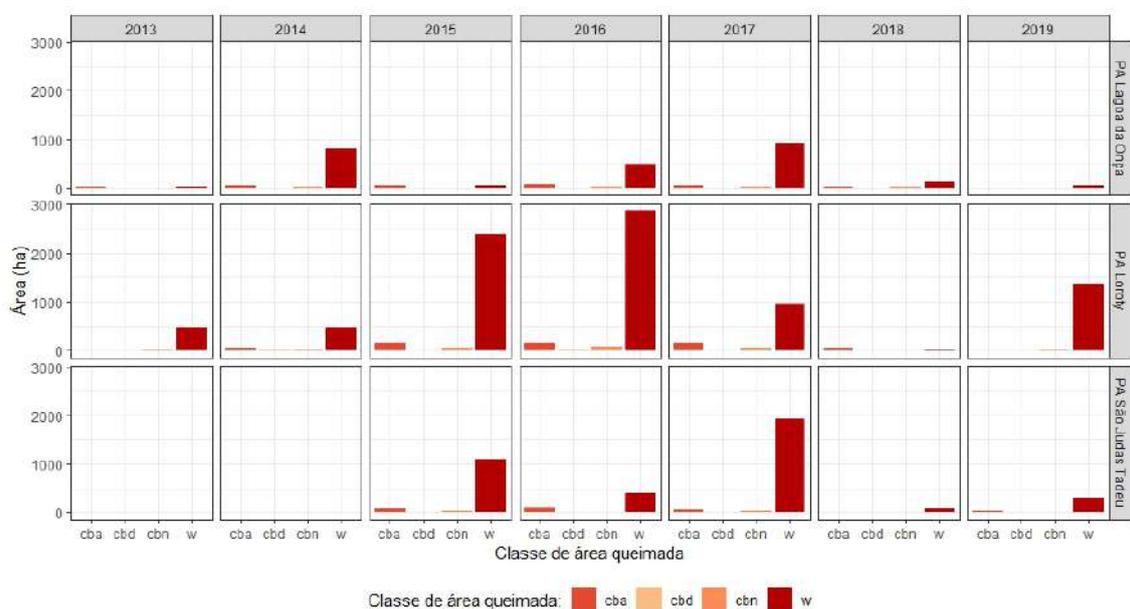
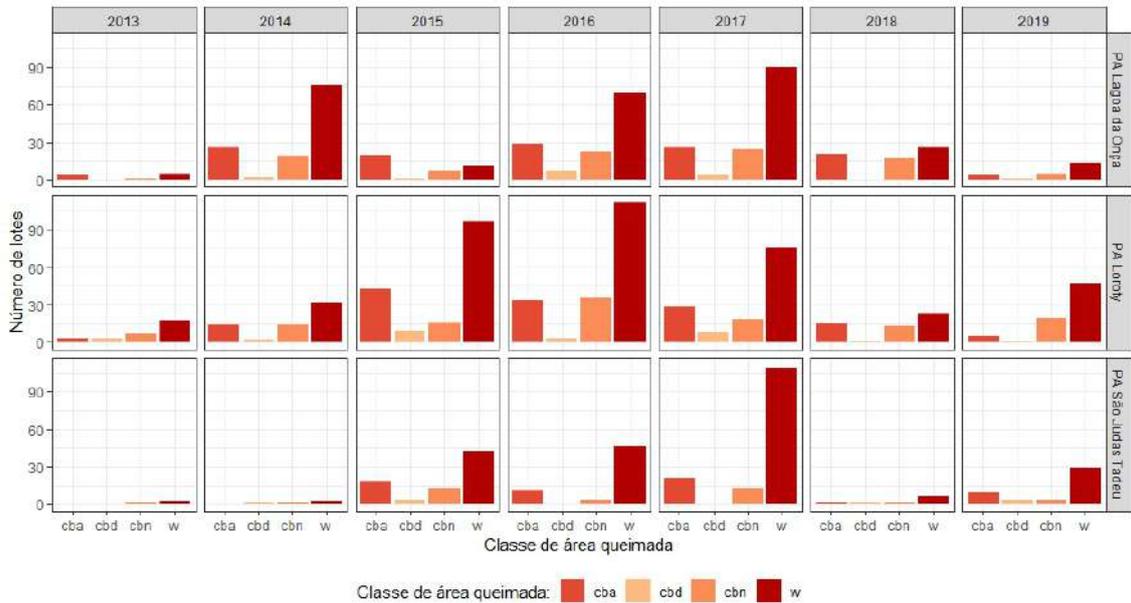


Figura 7.7 - Número de lotes por classe de área queimada e por projeto de assentamento de 2013 a 2019 (cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa; w: incêndio).



Dentre os indicativos de queima controlada, o cba apresenta maior extensão de área queimada e ocorrência em maior número de lotes. O PA Loroty é o que possui maior número de lotes com cba com 43 (14,5%) lotes em 2015, totalizando 147,3ha, e 34 (11,5%) lotes em 2016, totalizando 147ha. O PA Loroty também possui o maior número de lotes cbn com 35 (11,8%) lotes em 2016, totalizando 85,5 ha em 9 lotes em 2015. Também no PA Loroty, mas com menor número de lote e área, identificamos cbd em 9 (3%) lotes em 2015, atingindo 17,2 ha; entretanto, a maior área alcançada foi em 2014, com 21 ha em 2 lotes (0,07%). De 2013 a 2019, 83% dos lotes tiveram sua área queimada pelo menos uma vez, sendo 72,5% por w, 36,5% por cba, 27,2% por cbn e 5,8% por cbd.

### 7.3.2 Classificação das formas de ocupação nos lotes

Os resultados da classificação de ocupação dos lotes revelaram que 81 (10,5%) lotes apresentavam áreas desmatadas em 2000, o que levou à sua classificação como ocupação indefinida. Para classificar os 690 (89,5%) lotes restantes, utilizamos um

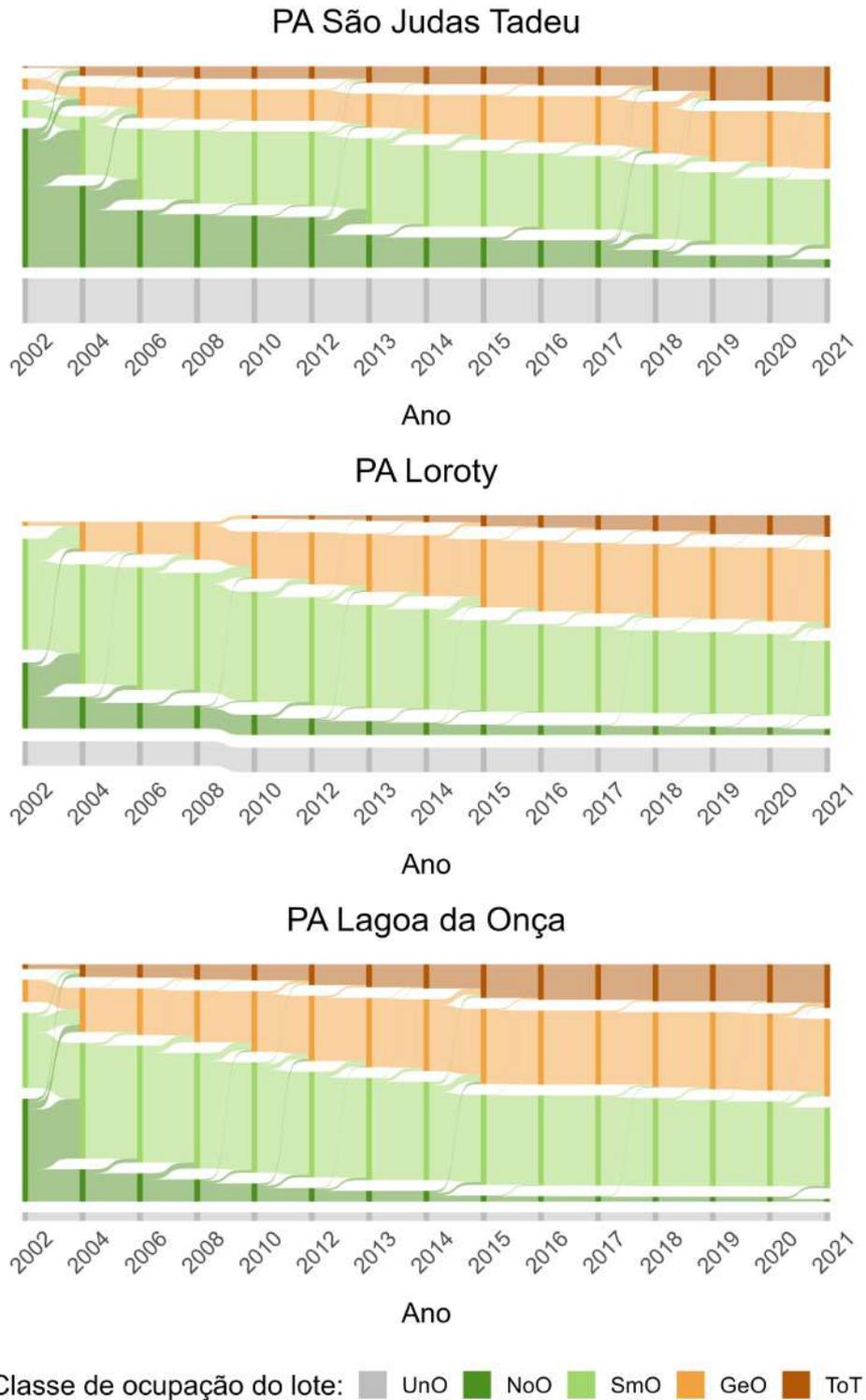
algoritmo de classificação estrutural por árvore de decisão. O algoritmo selecionou 17 atributos espaciais dos lotes baseados nos padrões de desmatamento e uso da terra (Apêndice Tabela C.1). A métrica Índice de Diversidade de Simpson foi o primeiro atributo a separar as classes, e a Maior Área de Interseção foi o mais frequente (Apêndice Figura C.1).

Nos primeiros anos de criação do PA São Judas Tadeu, a maioria dos lotes não apresentava sinais de ocupação (Figura 7.8a). Em 2002, dos 157 lotes, 102 (65%) lotes foram classificados como NoO (sem ocupação observada), 33 (21%) como UnO (ocupação indefinida), 13 (8,3%) como SmO (pequena ocupação), 8 (5,1%) como GeO (ocupação geométrica) e 1 (0,6%) como ToT (ocupação total). Ao longo dos anos, a ocupação dos lotes foi dinâmica, caracterizada pela ocupação realizada pela agricultura familiar. Em 2021, 51 (32,5%) lotes foram classificados como SmO, 41 (26,1%) como GeO, 33 (21%) como UnO, 26 (16,6%) como ToT e 6 (3,8%) como NoO.

No PA Loroty, em 2002, de 296 lotes, 160 (54,13%) lotes foram classificados como SmO, 95 (32,1%) como NoO, 35 (11,8%) como UnO, 6 (2%) como GeO e nenhum lote classificados como ToT até 2010 (Figura 7.8b). O PA Loroty também teve uma ocupação de lote dinâmica, predominantemente de agricultura familiar, e um baixo percentual de lote totalmente ocupado e sem ocupação observada. Em 2021, 113 (38,2%) lotes foram classificados como GeO, 108 (36,5%) como SmO, 35 (11,8%) como UnO, 31 (10,5%) como ToT e 9 (3%) como NoO.

No PA Lagoa da Onça, em 2002, dos 318 lotes, 153 (48,1%) lotes foram classificados como NoO, 112 (35,2%) como SmO, 33 (10,4%) como GeO, 13 (4,1%) como UnO, e 7 (2,2%) como ToT (Figura 7.8c). A PA Lagoa da Onça, assim como a PA São Judas Tadeu e a PA Loroty, também houve uma ocupação dinâmica, caracterizado pela ocupação da agricultura familiar. Em 2021, 120 (37,7%) lotes foram classificados como SmO, 116 (36,5%) como GeO e 65 (20,4%) como ToT, 13 (4,1%) como UnO e 4 (1,2%) como NoO.

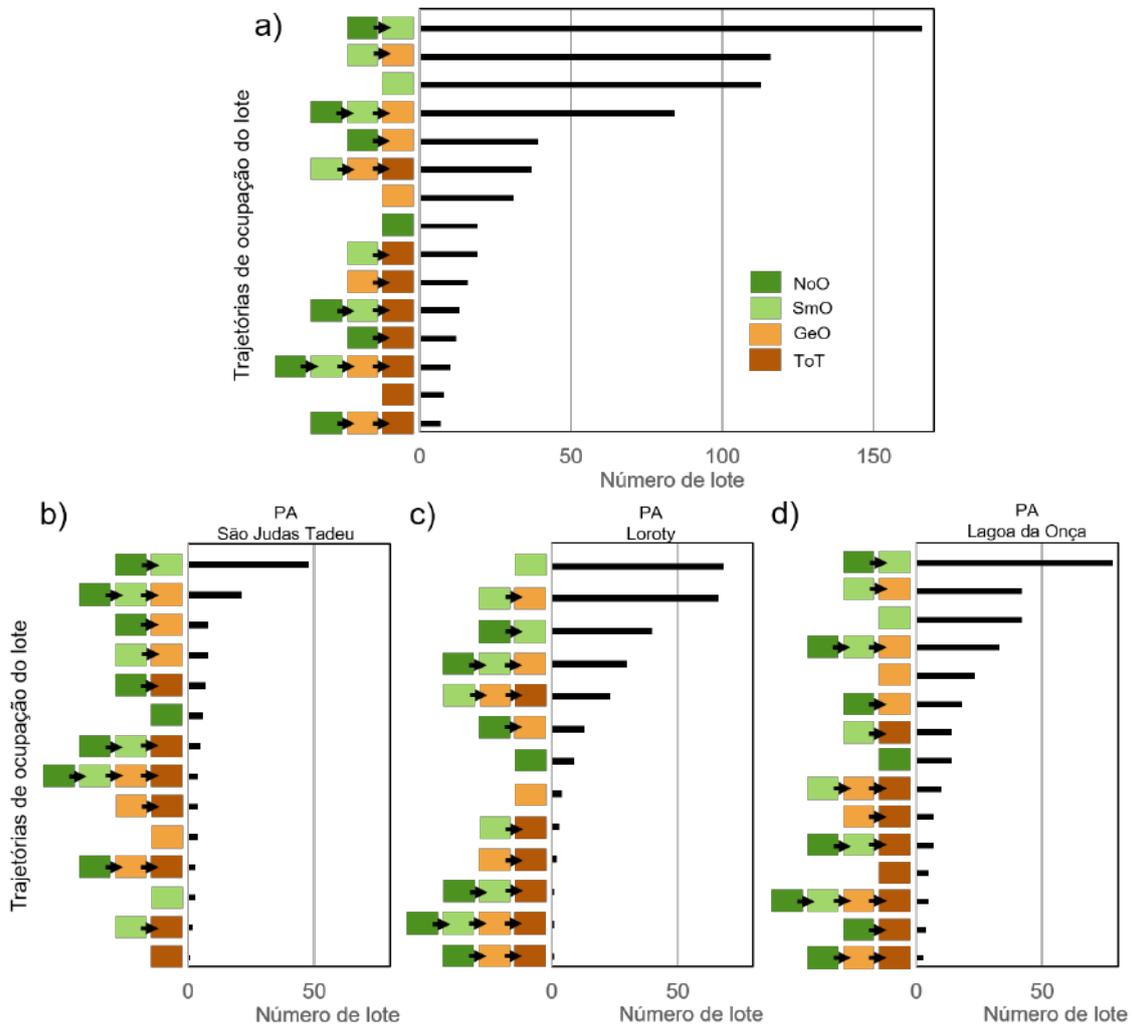
Figura 7.8 - Transições de ocupação de lote nos PA São Judas Tadeu, PA Loroty e PA Lagoa da Onça, entre os anos de 2002 a 2021 (UnO: ocupação indefinida; NoO: lotes sem polígonos de desmatamento; SmO: lote com pequenos polígonos difusos de desmatamento; GeO: lote com polígonos geométricas de desmatamento; Tot: lote totalmente ou quase totalmente desmatado).



Em 2002, de todos os projetos de assentamento analisados, 350 (45,4%) lotes foram classificados como NoO, 285 (37%) como SmO, 81 (10,5%) como UnO, 47 (6,1%) como GeO e 8 (1%) como ToT. Como esperado, devido ao assentamento de famílias ao longo dos anos, houve diminuição dos lotes classificados como NoO, sendo que em 2021, 279 (36,2%) lotes foram classificados como SmO, 270 (35%) como GeO, 122 (15,8%) como ToT, 81 (10,5%) como UnO e 19 (2,5%) como NoO.

Considerando os lotes dos três assentamentos, a trajetória de NoO para SmO foi mais frequente durante os anos estudados (Figura 7.9a). O mesmo ocorreu para PA São Judas Tadeu e PA Lagos da Onça (Figura 7.9b e Figura 7.9d), porém para PA Loroty o mais frequente foi a ocorrência de SmO sem trajetória para outras classes (Figura 7.9c), seguido de lotes com trajetória de SmO para GeO.

Figura 7.9 - Trajetória de ocupação dos lotes no período de 2002 a 2020: a) todos os lotes, b) PA São Judas Tadeu, c) PA Loroty e d) PA Lagoa da Onça.



De 2013 a 2019, as classificações de ocupação dos lotes exibiram uma proporção distinta de lotes em termos de classe de área queimada (Tabela 7.2). Entre os lotes com polígonos de incêndio, os lotes classificados como NoO tiveram o maior percentual, seguido de SmO, GeO e ToT. Considerando o número de lotes, a classe SmO apresentou o maior número de lotes, seguida pela GeO. A avaliação estatística por meio do teste de Kruskal-Wallis levou à rejeição da hipótese de que a ocorrência de incêndios nas diferentes classes de ocupação dos lotes seguiu a mesma distribuição ( $p\text{-valor} = 2,566e-05$ ). Os lotes NoO exibiram maior porcentagem de polígonos w, sem diferença significativa observada com os lotes Smo (Apêndice: Figura C.2). No

entanto, houve diferenças significativas com os lotes GeO (p-valor = 8,65e-03) e ToT (p-valor = 1,16e-04).

Tabela 7.2 - Ocorrência de classes de área queimada por classes de ocupação do lote, no período de 2013 a 2019.

	NoO	SmO	GeO	ToT	Total de lotes
w	73 (23,8%)	430 (18,9%)	274 (16,3%)	70 (12,3%)	847
cba		119 (5,2%)	136 (8,0%)	45 (7,9%)	300
cbn	64 (20,8%)	146 (6,4%)	64 (3,8%)	3 (0,5%)	277
cbd		17 (0,7%)	21 (1,2%)	7 (1,2%)	45
nba	225 (73,3%)	1.715 (75,5%)	1.294 (76,8%)	460 (81,0%)	3.694
<b>Número de lotes</b>	<b>307</b>	<b>2.270</b>	<b>1.685</b>	<b>568</b>	<b>4.830</b> (690 lotes x 7 anos)

Entre parênteses está o percentual em relação ao número do lote da classe de ocupação do lote. Diferentes classes de área queimada podem ocorrer no mesmo lote (cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa; w: incêndio; UnO: ocupação indefinida; NoO: lotes sem polígonos de desmatamento; SmO: lote com pequenos polígonos difusos de desmatamento; GeO: lote com polígonos geométricas de desmatamento; Tot: lote totalmente ou quase totalmente desmatado.)

O teste de Kruskal-Wallis revelou a rejeição da hipótese de que as queimadas controladas para manejo agrícola (cba) ocorreram de maneira uniforme nas diferentes classes de ocupação dos lotes (p-valor = 0,0007471). Especificamente, os lotes GeO tiveram a maior porcentagem de ocorrência de polígonos classificados como cba, mas nenhuma diferença significativa com os lotes ToT (Apêndice: Figura C.4). Porém, com SmO os lotes apresentaram diferença significativa (p-valor = 1,11e-03). A ocorrência de polígonos classificados como cbd não foi significativamente diferente entre as classes de ocupação dos lotes (Apêndice: Figura C.5).

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis demonstraram rejeição da hipótese de que as queimadas controladas na vegetação nativa ocorreram de forma semelhante nas diferentes classes de ocupação dos lotes (p-valor = 8,816e-09). Especificamente, os lotes NoO exibiram uma maior porcentagem de polígonos cbn, sem diferença significativa observada com os lotes Smo e GeO (Apêndice: Figura C.3). Porém, houve diferença significativa nos lotes ToT (p-valor = 2,45e-03).

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis levaram à rejeição da hipótese de que diferentes classes de áreas queimadas estavam igualmente distribuídas (valor de  $p < 2,2e-16$ . Apêndice: Figura C.6, Figura C.7, Figura C.8). Para todas as classes de ocupação dos lotes, o maior percentual de lotes não possuía área queimada (nba). Porém, entre as classes de área queimada, a classe w apresentou o maior percentual entre todas as classes de ocupação do lote. Nos lotes SmO e GeO, w diferiu entre as demais classes de área queimada. Nos lotes ToT, w e cba não diferiram estatisticamente (Apêndice: Figura C.6).

## 7.4 Discussões

Neste estudo, investigamos se havia associação entre a ocorrência de incêndios e a ocupação de lotes. Embora estudos anteriores tenham analisado o padrão de desmatamento de projetos de assentamentos e sua associação com características dos agentes de uso da terra (ALENCAR et al., 2023; ALVES et al., 2021; LORENA; LAMBIN, 2009; YANAI et al., 2020), esse é o primeiro estudo realizado no bioma Cerrado que integra análises de padrão de desmatamento com ocorrências de queimadas e incêndios.

### 7.4.1 Padrões de desmatamento e ocupação dos lotes

A criação de projetos de assentamentos impulsiona o desmatamento através da ocupação inicial dos lotes com a conversão de áreas de vegetação em áreas produtivas. No entanto, o desmatamento permanece ao longo dos anos (CARRERO et al., 2020; PEREIRA et al., 2022), resultando em ocupação e uso do solo dinâmicos.

De modo geral, o padrão de desmatamento nos PAs estudados difere de outros estudos na Amazônia, como as tipologias identificadas no estado do Acre (LORENA; LAMBIN, 2009) e no estado de Rondônia (ALVES et al., 2021; CAVIGLIA-HARRIS; HARRIS, 2011), que apresentaram o padrão espinha de peixe, com o desmatamento concentrado ao longo das rodovias; e padrão espacial radial, que visa maior interação entre assentados em uma área destinada ao convívio social. Este último foi utilizado na área comunitária do PA Loroty, mas não nos lotes destinados à produção agrícola, objeto de estudo do presente trabalho. Entretanto, semelhante aos estudos na Amazônia, houve a presença do padrão difuso caracterizado por manchas difusas de desmatamento.

A forma predominante de ocupação dos lotes está associada à agricultura familiar (SmO e GeO), o que era esperado para projetos de assentamentos com padrões

de desmatamento pequenos e difusos/geométricos. Da mesma forma, Yanai et al. (2020) identificaram os padrões de pequenos lotes de desmatamento com formatos regulares e irregulares, associados à agricultura familiar, que constituem como os mais representativos no PA Matupí, estado do Amazonas. Yanai et al. (2020) também identificaram um padrão de desmatamento associado à reconcentração de lotes, que não foi identificado em nossa área de estudo. Polígonos de desmatamento que ultrapassavam os limites dos lotes pertenciam a famílias diferentes.

Os dados de desmatamento utilizados foram coletados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES/INPE), que possui a maior área mínima detectada de 6,25 ha (ALMEIDA; PEREIRA, 2021). Assim, lotes com desmatamento em áreas menores que 6,25 que possam estar relacionadas à agricultura familiar de subsistência podem não ter sido identificados, e o lote ser classificado como NoO. Outra limitação na classificação é não considerar ocupações que envolvam atividades que não exijam desmatamento, como o extrativismo ou o uso de pastagens naturais, atividades presentes nesses assentamentos.

#### **7.4.2 Conectando classes de área queimada com ocupação dos lotes**

O projetos de assentamento estudados sofreram com a ocorrência anual de incêndios florestais, com extensas áreas queimadas principalmente durante anos de anomalia de seca, como 2015 e 2017; no entanto, 2016 também foi um ano com grande área queimada. Em 2016, o PA Loroty foi o mais afetado, seguida pelo PA São Judas Tadeu. Segundo notícias locais (G1 TOCANTINS, 2016), a suspeita é que o incêndio tenha começado em fazendas vizinhas, afetando principalmente a agrovila do PA Loroty, onde vivem centenas de famílias. Em estudo realizado na Ilha do Bananal, área vizinha ao PA Loroty, ARAGÃO et al. (2023) apontaram que 75,9% dos incêndios que ocorrem na ilha são criminosos.

Os projetos de assentamento estudados se localizam na ecorregião do Bananal, que apresentam uma área anual queimada duas vezes maior que outras ecorregiões do Cerrado (SILVA et al., 2021). A cicatriz da área queimada é um indicador da ocorrência de incêndios na área de estudo; entretanto, a ignição que provocou a queima pode ter início em uma área externa aos projetos de assentamento, sendo necessária a incorporação da dinâmica de dispersão do fogo em estudos futuros.

Nossos resultados mostraram que a classe de área queimada com maior ocorrência é a dos incêndios, que ultrapassam os limites da PA. Os lotes mais afetados são aqueles com mais vegetação nativa (NoO e SmO). Essa ocorrência pode ser expli-

cada pela sua localização no bioma Cerrado, com predominância de gramíneas nas fitofisionomias campestres e savânicas. A associação entre queimadas e as formações savânicas e campestres foi encontrada nos resultados descritos nos Capítulos 4 e 6. Essa vegetação é mais inflamável, principalmente na estação seca. Outro fator a ser considerado é a presença de gramíneas invasoras pela dispersão de sementes por zoocoria que pode ocorrer pela movimentação do gado entre pastagens plantadas e vegetação nativa (SCHMIDT et al., 2011).

A proximidade de estradas é um fator associado à ocorrência de incêndios florestais, que pode facilitar incêndios criminosos. As estradas estaduais pavimentadas TO-374 e TO-181 cruzam o PA São Judas Tadeu e o PA Lagoa da Onça. Já o PA Loroty, é atravessado pela parte da TO-181 que não está pavimentada e cruzaa TO-481 não pavimentada, terminando no projeto de assentamento.

O uso predominante de queima controlada está em lotes com áreas que já tiveram vegetação nativa convertida para outros usos, principalmente pastagem (exemplo na Figura 7.10a). O fogo é usado principalmente para reformar e limpar pastagens. Os resíduos são acumulados em fileiras, denominadas leiras, para secagem e posterior queima; normalmente a limpeza é realizada na estação seca e a queima antes do início da estação chuvosa.

A Figura 7.10 mostra outras duas situações observadas em campos. Na Figura 7.10b, uma área de vegetação nativa queimada, e na Figura 7.10c, a formação de leiras após o desmatamento da área. O lote da Figura 7.10a foi classificado como pequeno em 2020 e posteriormente sofreu mais desmatamento. O lote da Figura 7.10b foi classificado como pequeno, e na Figura 7.10c como geométrico.

Figura 7.10 - Imagem CBERS-04A resultante de fusão de imagens do sensor WPM (bandas 0,2,3 e 4), passagem em 07 de julho de 2022, da área de estudo mostradas com falsa-cor RGB (Caminho/linha: 211/126). Fotografias tiradas no dia 26 de julho de 2022 durante o trabalho de levantamento de campo: (a) área de pastagem com formação de leiras para queima, (b) área com vegetação nativa queimada; e (c) área desmatada com formação de leiras para queima.



Estudos anteriores associam queimadas ao desmatamento (SCHNEIDER; PERES, 2015), entretanto, observamos menor ocorrência de lotes com polígonos de incêndio associados ao desmatamento, sem diferença entre as classes de ocupação dos lotes. Altas taxas de desmatamento são observadas nos anos iniciais dos projetos de assentamento e, com o tempo, a taxa diminui (GOSCH et al., 2017). Os PA estudados já estão consolidados, o que pode explicar a baixa ocorrência de queimadas controladas para desmatamento. A dissociação entre queimadas e desmatamento também foi observada na Amazônia, em áreas dos estados de Mato Grosso, Rondônia e Pará, em que a área queimada foi observada principalmente em áreas de pastagens (CANO-CRESPO et al., 2015).

Incêndios têm ocorrido anualmente e são necessárias ações de monitoramento, controle e fiscalização. A legislação do estado do Tocantins, onde estão localizados os projetos de assentamentos estudados, apresenta o procedimento que os agricultores devem seguir para receber autorização para queima controlada (NATURATINS, 2017) e define o período de queima. No entanto, os incêndios continuam a ocorrer. Em consulta ao Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), o PA de Loroty apresentou restrições por infração ao uso do fogo em áreas agropastoris sem autorização do órgão competente ou em desacordo com o obtido.

Alternativas técnicas ao uso do fogo na produção agrícola podem ser uma opção, por visarem reduzir os impactos negativos das queimadas, mas demandam políticas de incentivo e créditos; sendo necessário reconhecer o uso do fogo como elemento ecológico e cultural. O planejamento contra incêndios, como a elaboração de um plano de manejo de incêndios para o imóvel, se torna necessário, além de requer autorização do órgão ambiental para garantir o controle das queimadas.

Para auxiliar os assentados na determinação do manejo mais adequado para cada situação, a assistência técnica e extensão rural são fundamentais, garantidas pela Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para Agricultura Familiar e Reforma Agrária (PNATER) por meio do Programa Nacional de Assistência Técnica e Rural. Extensão em Agricultura Familiar e Reforma Agrária (PRONATER) (BRASIL, 2010).

Um incentivo para prevenir contra incêndios florestais é o pagamento por serviços ambientais. O pagamento por serviços ambientais já foi implementado em projetos de assentamento por meio do Programa de Apoio à Conservação Ambiental, conhecido como Bolsa Verde, que forneceu recursos financeiros para famílias em extrema pobreza e incentivou práticas de proteção à natureza. Realizado de 2011 a 2016, apresentou resultados positivos em relação à redução do desmatamento em estados da Amazônia Legal (SIMÃO et al., 2013). O Programa foi retomado em 2023 (BRASIL, 2023) com aplicação em outros tipos de assentamentos, chamados de assentamentos ambientalmente diferenciados da Reforma Agrária (florestais, agroextrativistas e de desenvolvimento sustentável).

Embora não sejam objeto de estudo, as áreas de reserva legal são afetadas anualmente por incêndios. As áreas de reserva legal na PA São Judas Tadeu e na PA Loroty estão localizadas fora das áreas dos lotes, e na PA Lagoa da Onça, estão localizadas dentro dos lotes, limitando a conversão da vegetação nativa para outros usos. Uma alternativa para evitar áreas extensamente queimadas dentro da reserva

legal é o manejo integrado do fogo (MIF). Com queimas prescritas no início da estação seca e em locais diferentes a cada ano considerando os diferentes tipos de vegetação e a sensibilidade ao fogo, o MIF possibilita o uso do fogo pelas comunidades locais, cujo efeito é a geração de um mosaico de áreas com diferentes históricos de incêndios (MYERS, 2006; SCHMIDT et al., 2018). Embora a Política Nacional de Gestão e Controle de Queimadas, Prevenção e Combate a Incêndios Florestais esteja prevista em lei (BRASIL, 2012), não há regulamentação em nível nacional, mas há discussão em andamento de um projeto de lei no Congresso brasileiro sobre manejo de incêndios.

Compreender as práticas de uso do fogo e sua identificação por meio de dados de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento pode auxiliar na resolução de questões relacionadas ao manejo do fogo e no direcionamento de ações de prevenção. Nesse contexto, destacamos a importância de ter disponível dados como os do Programa Queimadas/INPE, de foco de queimadas e de área queimada, bem como os dados de desmatamento, como os do PRODES/INPE.

## 7.5 Conclusões

Os resultados mostram que a ocupação de um mesmo lote muda ao longo dos anos, mostrando a dinâmica diferenciada dessa ocupação. As classes predominantes são aquelas associadas à agricultura familiar, como pequenos polígonos irregulares ou geométricos de desmatamento. Os lotes sem ocupação observada e com padrões de desmatamento pequenos ou geométricos tiveram mais incêndios, enquanto os lotes com ocupação total tiveram tanto incêndios quanto queimadas controladas em áreas de pastagens. Essa queima controlada também afetou os lotes com padrões geométricos, representando o segundo maior percentual depois dos incêndios.

Num cenário de mudanças climáticas, com projeções de aumento de área queimada no bioma Cerrado (SILVA et al., 2019), a compreensão das práticas culturais e de como monitorá-las em ambientes específicos contribui para os esforços que visam minimizar os efeitos do fogo à saúde humana, propriedades, economia e ecossistemas.



## 8 INDICADOR DE SUSCETIBILIDADE A QUEIMADA APLICADO AOS PROJETOS DE ASSENTAMENTO DA REGIÃO DO MATOPIBA<sup>1</sup>

### 8.1 Introdução

Os projetos de assentamento de reforma agrária são implementados visando garantir o acesso da população à terra, de modo a atender aos princípios de justiça social e aumentar a produtividade no meio rural (BRASIL, 1964; INCRA, 2021b). Assim como outras comunidades rurais, os projetos de assentamento sofrem com a ocorrência de queimadas decorrentes de áreas de manejo agrícola dentro e fora de seus limites. Entretanto, os projetos de assentamento apresentam características específicas e formas de manejo do uso da terra próprias e necessitam de instrumentos adequados para indicação e monitoramento de áreas suscetíveis a queimada para apoiar ações de prevenção a incêndios, como uso de indicadores.

O uso de indicadores visa a comunicação de informações sobre determinado tema, tornando perceptível uma tendência ou fenômeno que não é imediatamente detectável, desempenhando, assim, papel útil no monitoramento e na tomada de decisão (HAMMOND et al., 1995) em relação às medidas de controle e combate ao fogo.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivos construir um Indicador de Suscetibilidade a Queimada aplicado aos Projetos de Assentamento (ISQPA) para a região do Matopiba e construir um painel para sua visualização, visando contribuir para tomada de decisão, possibilitando a seleção de áreas prioritárias para ações de prevenção.

### 8.2 Material e métodos

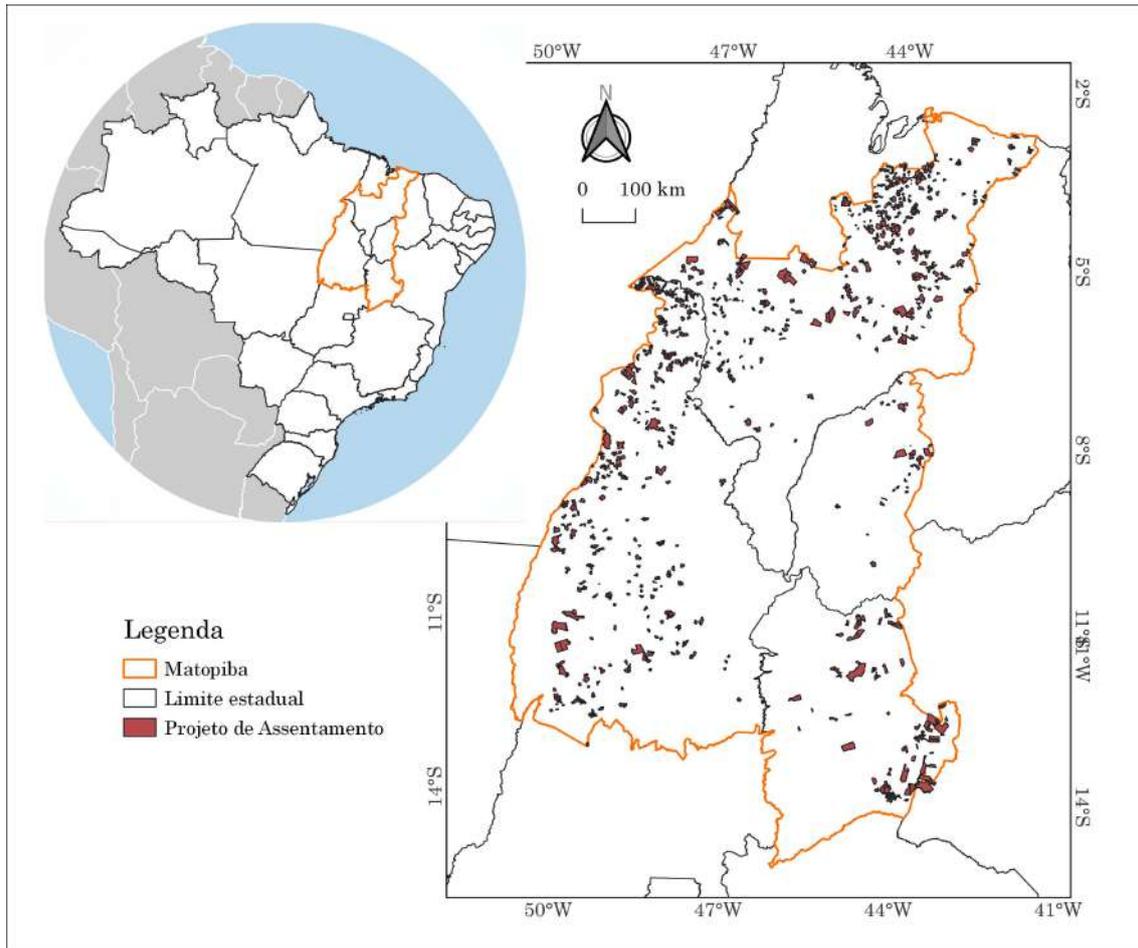
Para criação do ISQPA, selecionamos como área de estudo 812 projetos de assentamento (INCRA, 2021a), localizados na região do Matopiba (Figura 8.1). Foi utilizado o método Processo Analítico Hierárquico (AHP, em inglês *Analytic Hierarchy Process*) que consiste em um método para tomada de decisão através de comparações pareadas e com definição de escalas de prioridade (SAATY, 2008). As vantagens da utilização desse método para construção de indicadores são a transparência na composição do indicador, ponderação baseada na opinião de especialistas e o forne-

---

<sup>1</sup>Este capítulo é uma versão adaptada de: MILARE, G.; GIAROLLA, A.; ESCADA, M. I. S. Indicador de suscetibilidade à queimada aplicado aos projetos de assentamento da região do Matopiba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 24. (GEOINFO), 2023, Online. Anais... São José dos Campos: INPE, 2023.

cimento de uma medida da inconsistência. A construção do indicador é dependente do conjunto de critério escolhidos e do conhecimento do avaliador que atribui pesos às variáveis que compõe o indicador conforme o seu grau de importância (COMMISSION et al., 2008).

Figura 8.1 - Área de estudo.



Mapa construído com dados do limite do Matopiba conforme descrito em Miranda et al. (2014), dados de limites estaduais e de países do IBGE (2019), limites dos projetos de assentamento do INCRA (2021a).

Para aplicação do método, elencamos os critérios descritos na Tabela 8.1. Os critérios foram selecionados com base nos resultados satisfatórios do uso de características da ocorrência de queimada descritos no Capítulo 5, como área queimada, frequência de área queimada e tendência de área queimada. Adicionalmente, os critérios de tipo

de vegetação foram selecionados com base nos resultados dos Capítulos 4, 6 e 7, que mostram uma associação de área queimada com áreas de formações savânicas e campestres.

As comparações entre as variáveis foram feitas, par a par, em uma escala de julgamento entre 1 e 9, em que o maior valor representa um fator que possui mais importância sobre o outro (Tabela 8.2). A partir da comparação pareada (Tabela 8.3), calcula-se os autovetores normalizados e a média dos autovetores para derivar os pesos globais. Estes pesos indicam o quanto cada fator contribuiu para gerar o indicador. Posteriormente, calculou-se a razão de consistência (RC) para avaliar o balanceamento dos pesos. A escolha dos pesos para a comparação pareada é considerada satisfatória quando RC é igual ou menor do que 0,1 (SAATY, 2008).

Tabela 8.1 - Critérios utilizados na construção do indicador de suscetibilidade à queimadas.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Premissa</b>	<b>Fonte</b>
FRQ	Número de anos com ocorrência de área queimada no projeto de assentamento, no período de 2017 a 2021.	Maior frequência, maior será a suscetibilidade	Área queimada MCD64A1 v006 (GIGLIO et al., 2018)
TND	Tendência do incremento da área queimada no projeto de assentamento, no período de 2017 a 2021, definida através do teste de Mann-Kendall	Tendência de aumento, indica maior suscetibilidade	
AQN	Soma de área queimada acumulada dividida pela área do projeto de assentamento, no período de 2017 a 2021.	Maior a área queimada padronizada, indica maior suscetibilidade	
CAM	Porcentagem (%) de área com formação campestre no projeto de assentamento. Tipo de vegetação com predominância de estrato herbáceo.	Maior % de formação campestre, maior será a suscetibilidade	Projeto Mapbiomas Coleção 6 Ano 2021 (MAPBIOMAS, 2020)
SAV	Porcentagem de área com formação savânica no projeto de assentamento. Tipo de vegetação com estrato arbóreo e arbustivo-herbáceo.	Maior % de formação savânica, maior será a suscetibilidade	

Tabela 8.2 - Descrição da escala de valores de importância.

<b>Intensidade da importância</b>	<b>Descrição</b>
1	Os dois fatores são igualmente importantes
2	
3	A experiência e o julgamento favorecem levemente um fator em detrimento de outro
4	
5	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um fator em detrimento de outro
6	
7	Uma atividade é favorecida fortemente contra outra; seu domínio demonstrado na prática.
8	
9	A evidência que favorece uma atividade em detrimento de outra é da mais alta ordem possível de afirmação

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Tabela 8.3 - Pesos atribuídos para cada critério (FRQ = frequência de ocorrência de área queimada; TND = tendência de ocorrência de área queimada; AQN = área queimada padronizada; CAM = Formação campestre e; SAV = formação savânica).

	<b>FRQ</b>	<b>TND</b>	<b>AQN</b>	<b>CAM</b>	<b>SAV</b>
<b>FRQ</b>	1	2	3	4	6
	<b>TND</b>	1	2	3	4
		<b>AQN</b>	1	2	3
			<b>CAM</b>	1	2
				<b>SAV</b>	1

Para analisar a robustez atribuída aos pesos estabelecidos sem alterar a hierarquia dos critérios, aplicamos um teste de sensibilidade: variando-se 0,5 para cada importância atribuída na comparação pareada em 1000 simulações e derivando os pesos globais novamente para cada simulação. Posteriormente, para cada simulação foi calculada a diferença interquartil (DIQ) que mostra a variabilidade entre o 1º quartil e o 3º quartil do índice calculado (MACUL, 2019).

De modo a facilitar a visualização dos resultados do ISQPA, criamos um painel em linguagem R (R CORE TEAM, 2021) e com o pacote *Shiny* (CHANG et al., 2021).

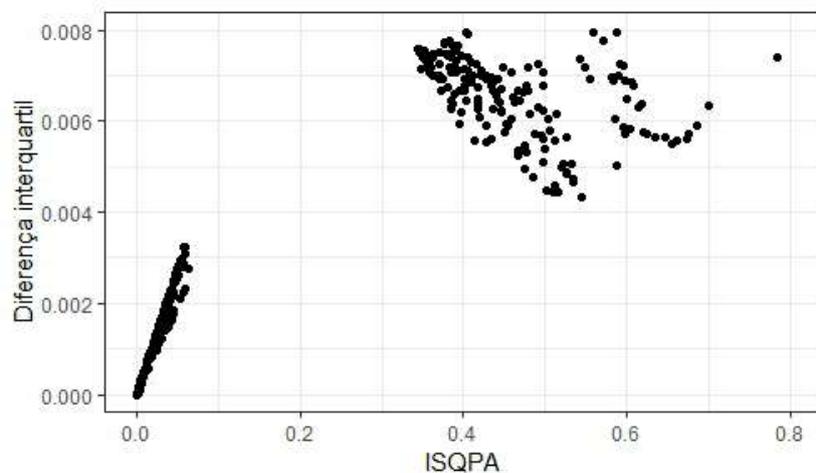
### 8.3 Resultado e discussão

A partir da comparação pareada dos critérios, os resultados dos autovetores normalizados e a média dos autovetores estão na Tabela 8.4. A atribuição de pesos se mostrou consistente com RC de 0,03. Como resultado da aplicação do teste de sensibilidade, verificou-se que os resultados do indicador é mais sensível para valores em torno de 0,4 a 0,6 (Figura 8.2). No entanto, o maior valor da diferença interquartil do teste de sensibilidade causado pelas perturbações foi de 0,008, representando baixo impacto no valor do indicador. Portanto, os valores do indicador pouco se alterariam com atribuição de pesos diferentes sem alteração da hierarquia estipulada.

Tabela 8.4 - Pesos derivados (FRQ = frequência de ocorrência de área queimada; TND = tendência de ocorrência de área queimada; AQN = área queimada padronizada; CAM = Formação campestre; SAV = formação savânica; e RC = razão de consistência).

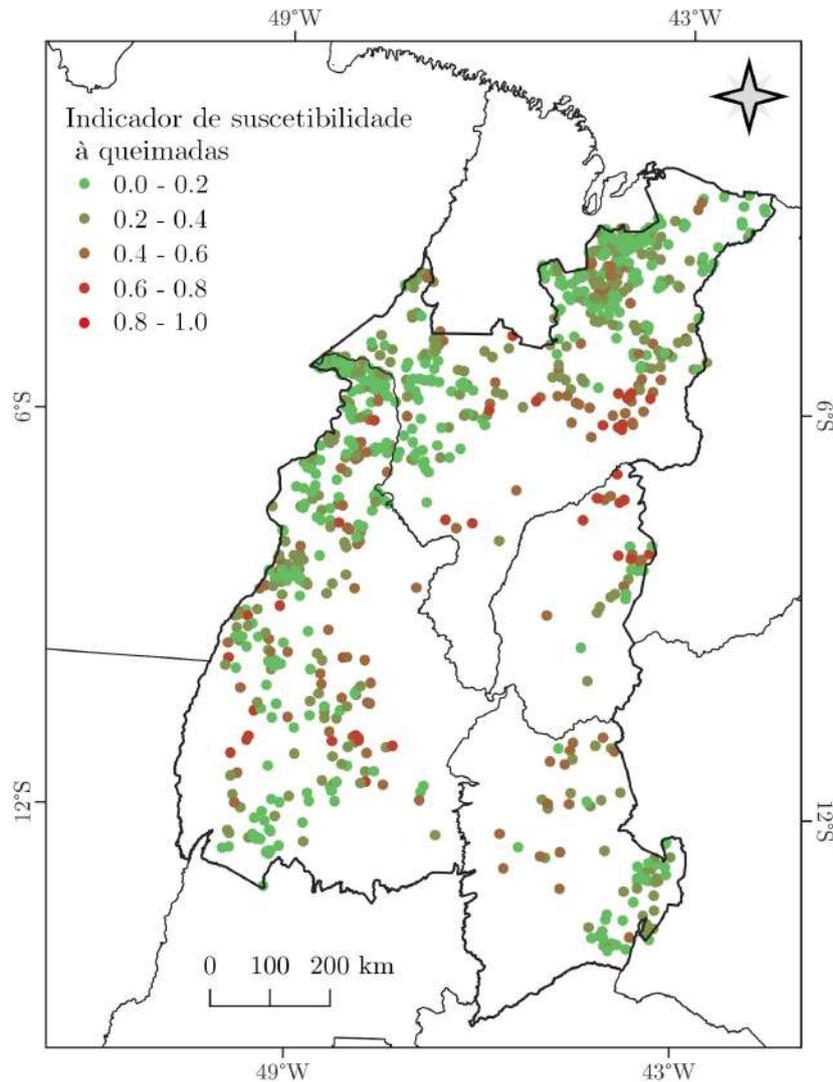
Critério	Pesos derivados
FRQ	0,42
TND	0,26
AQN	0,16
CAM	0,10
SAV	0,06
RC	0,03

Figura 8.2 - Gráfico de dispersão entre a diferença interquartil gerado pelo teste de sensibilidade e o ISQPA.



Os resultados da aplicação do ISQPA são apresentados na Figura 8.3. Cerca de 48% dos projetos de assentamento são menos suscetível a queimada, com valores menores que 0,2. Cerca de 32% tiveram valores de ISQPA entre 0,2 e 0,4, 15% entre 0,4 e 0,6 e 4,6% entre 0,6 a 0,8. Somente um projeto de assentamento apresentou valor acima de 0,8, o Projeto de Assentamento Lagoa do Frio, município de Buriti Bravo/MA.

Figura 8.3 - Mapa do resultado do ISQPA. Utilizou-se o centroide dos projetos de assentamento como localização.



Para visualizar os resultados do ISQPA, o painel criado pode ser acessado através do link: <<https://b01z3q-gisele-milare.shinyapps.io/ISQPA/>>. O painel é dividido em três menus: (1) Sobre (Figura 8.4): informações gerais sobre o objetivo do painel e descrição resumida de como foi construído o indicador; (2) ISQPA (Figura 8.5): retorna uma lista de projetos de assentamento conforme seleção do analista do intervalo de valores do ISQPA ; e (3) Assentamentos (Figura 8.6): retorna as características gerais, o valor de ISQPA e seus critérios conforme seleção do projeto de assentamento de interesse do analista.

Figura 8.4 - Visualização do menu "Sobre" do painel ISQPA.

ISQPA

☰

## Sobre o painel

A ocorrência de queimadas e incêndios florestais causam impactos ambientais, sociais e econômicos em projetos de assentamento. Saber quais projetos de assentamento são mais suscetíveis às queimadas é útil para criar planos de ação de prevenção e seleção de áreas prioritárias. Nesse contexto, o objetivo desse painel é apresentar uma visualização da suscetibilidade dos projetos de assentamento através do Indicador de suscetibilidade às queimadas aplicados a projetos de assentamento (ISQPA). O ISQPA foi aplicado em 812 projetos de assentamento localizados na região do Matopiba (Figura 1), para o ano de 2021. A região do Matopiba é formada pelo Estado do Tocantins e parte dos Estados do Maranhão, Piauí e Bahia. A região é considerada uma fronteira agrícola e seu nome é um acrônimo formado com as iniciais dos nomes dos estados que a compõe.



Figura 1. Mapa de localização dos projetos de assentamento na região do Matopiba. Fonte dos dados dos limites dos projetos de assentamento: INCRA (2022) e dos limites estaduais: IBGE (2019).

## Indicador de suscetibilidade às queimadas aplicado à projetos de assentamento (ISQPA)

Para criação do ISQPA foi utilizado o método processo analítico hierárquico (AHP), em inglês Analytic Hierarchy Process) que consiste em um método para tomada de decisão através de comparações pareadas entre critérios pré-selecionados e com definição de escalas de prioridade (Saaty, 2008). Para aplicação do método, elencamos os seguintes critérios (Figura 2) baseados em características da ocorrência de queimadas: (1) frequência de ocorrência de área queimada no projeto de assentamento, no período de 2017 a 2021. A premissa é que projetos de assentamento com maior frequência são mais suscetíveis; (2) tendência de ocorrência de área queimada no projeto de assentamento, no período de 2017 a 2021. A premissa é que projetos de assentamento com tendência de aumento são mais suscetíveis, e com estabilidade ou com tendência de diminuição são menos suscetíveis; (3) área queimada normalizada no projeto de assentamento, q refere-se a área queimada no período de 2017 a 2021, dividida pela área do projeto de assentamento. A premissa é que projetos de assentamento com maior área padronizada são mais suscetíveis. Considerando que os ecossistemas mais inflamáveis têm abundância de combustível fino, de fácil ignição, próximo ao solo e muito seco, característico das formações campestres e savânicas que estão sujeitas a secas sazonais, consideramos os seguintes critérios: (4) porcentagem de área com formação campestre no projeto de assentamento no ano 2021. A premissa é que projetos de assentamento com maior porcentagem são mais suscetíveis; e (5) porcentagem de área com formação savânica no projeto de assentamento no ano 2021. A premissa é que projetos de assentamento com maior porcentagem são mais suscetíveis.



Figura 2. Critérios e dados utilizados na construção do ISQPA.

## Referências

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., and Justice, C. O. (2018). The collection 6 modis burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*, 217:72–85.

IBGE (2019). Geociências. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>

INCRA (2022). Acervo Fundiário. 2021. Disponível em: <<https://acervofundario.incra.gov.br/acervo/acv.php>>.

Mapbiomas (2022). Projeto mapbiomas – coleção 6 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1):83–98.

Figura 8.5 - Visualização do menu "ISQPA" do painel ISQPA.

The image displays the ISQPA application interface. On the left is a menu titled "ISQPA" with the subtitle "Indicador de suscetibilidade à queimadas aplicado a projetos de assentamento (ISQPA)". It includes a search bar and a "Consulta baseada no valor do ISQPA" section with a slider set to 0.7. Below the menu is a table of settlement projects.

The main part of the image shows a detailed configuration screen titled "Consulta baseada nos valores dos critérios". It features five sliders for different criteria, each with a value of 0.7 selected:

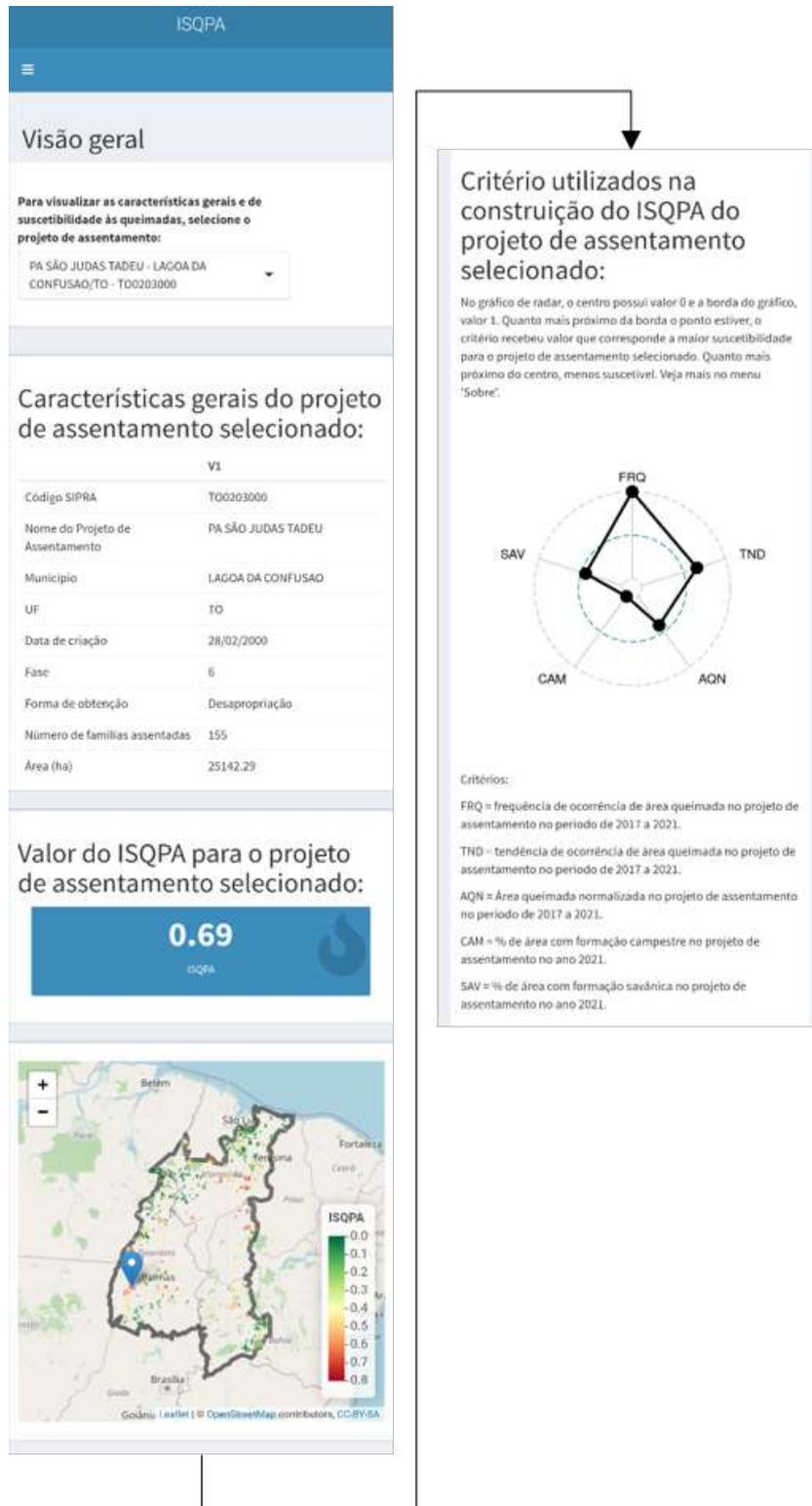
- Seleção o intervalo de valores do critério de frequência de queimada (FRQ):** Valor próximo a 0 (zero) corresponde a menor frequência e valor próximo a 1 (um) corresponde a maior frequência.
- Seleção o intervalo de valores do critério de tendência de queimada (TND):** Valor próximo a 0 (zero) corresponde a tendência de diminuição e valor próximo a 1 (um) corresponde a tendência de aumento.
- Seleção o intervalo de valores do critério de área de queimada padronizada (AQN):** Valor próximo a 0 (zero) corresponde a menor área queimada padronizada e valor próximo a 1 (um) corresponde a maior área queimada padronizada.
- Seleção o intervalo de valores do critério de formação campestre (CAM):** Valor próximo a 0 (zero) corresponde a menor porcentagem de formação campestre e valor próximo a 1 (um) corresponde a maior porcentagem de formação campestre.
- Seleção o intervalo de valores do critério de formação savânica (SAV):** Valor próximo a 0 (zero) corresponde a menor porcentagem de formação savânica e valor próximo a 1 (um) corresponde a maior porcentagem de formação savânica.

On the right, a table titled "Lista de projetos de assentamento" displays the results of the search. It shows 10 rows of data with columns for Código SIPRA, Nome do Projeto de Assentamento, Município, and UF.

Código SIPRA	Nome do Projeto de Assentamento	Município	UF
PI0146000	PA REGALO	PORTO ALEGRE DO PIAUI	PI
TO0168000	PA ÁGUA FRIA	TOCANTINIA	TO
MA0738000	PA ENCENHO DAGUA	CAXIAS	MA
MA0938000	PA JOÃO LEOCADIO	BURITI BRAVO	MA
MA0996000	PA ALTO RÔNITO	BARREIRINHAS	MA
TO0304000	PA ZE PEREIRA	PORTO NACIONAL	TO
MA1055000	PA VALE DO TAPUIO	RIACHAO	MA
MA0510000	PA PRIMAVERA CAPEFE	SANTA RITA DE CASSIA	BA
MA0184000	PA CACHIMBEIRO	BARRA DO CORDA	MA
TO0168000	PA ÁGUA FRIA II	TOCANTINIA	TO

At the bottom of the table, it indicates "1-10 of 41 rows" and provides navigation options: Previous, 1, 2, 3, 4, 5, Next.

Figura 8.6 - Visualização do menu "Assentamento" do painel ISQPA.



## 8.4 Considerações finais

Os resultados da aplicação do ISQPA apontam projetos de assentamento mais suscetíveis às queimadas e ressaltam a necessidade de medidas preventivas e estratégias para reduzir queimadas em projetos de assentamento. Embora o indicador não garanta que projetos de assentamento mais suscetíveis sofrerão queimadas, ele orienta a seleção de prioridades para planejamento regional, prevenção e educação ambiental, além de possibilitar pensar previamente em medidas que possibilitem ações rápidas, caso ocorram as queimadas.

A elaboração de indicadores regionais capazes de abarcar toda a heterogeneidade espacial representa um desafio. No entanto, ao adotar critérios embasados em resultados específicos apresentados nesta tese, como frequência, tendências, extensão das áreas queimadas e tipos de vegetação afetados, o indicador demonstrou ser uma opção de ferramenta útil na identificação de áreas suscetíveis a queimadas. A implementação em R e *Shiny* do painel ISQPA proporcionou visualização dinâmica e de fácil compreensão dos resultados para tomada de decisão. Em futuras versões, o indicador deve ser atualizado, podendo incluir outros indicadores ambientais e socioeconômicos e expandir a área de estudo.



## 9 DISCUSSÃO GERAL

Neste trabalho foi analisada a ocorrência de queimadas e incêndios florestais em projetos de assentamento na região do Matopiba. Para isso, foi necessário analisar múltiplas escalas: a região do Matopiba, os projetos de assentamento e os lotes dos projetos de assentamento. Nesse contexto, este capítulo discute, de forma integrada, os aspectos centrais dos resultados obtidos nesta tese.

O Capítulo 4 visou atingir o objetivo de identificar fatores ambientais e antropogênicos associados à ocorrência de áreas queimadas na região do Matopiba. Para isso, dividiu-se a região do Matopiba em sub-regiões homogêneas e aplicou-se o modelo aditivo generalizado, para cada ano do período de 2016 a 2020. Os resultados indicam haver uma heterogeneidade nos fatores associados à ocorrência de área queimada na região do Matopiba, variando no espaço e no tempo. Estudos anteriores apontaram que o clima é um dos fatores condicionantes para ocorrência de queimadas (SILVA et al., 2020) e há uma relação entre o tipo de vegetação e o fogo (HARDESTY et al., 2005; ALVES; ALVARADO, 2019). O que há de novo no presente estudo é a análise de sub-regiões homogêneas agrupadas em microrregiões com padrões semelhantes de variáveis meteorológicas, bioma e uso da terra, evidenciando os fatores que poderiam não ser evidenciados por considerar áreas extensas e muito heterogêneas.

Outros estudos analisaram associações de variáveis ambientais e antrópicas com fogo, entretanto o estudo apresentado no Capítulo 4 também visou contribuir em três aspectos: (1) área pouco estudada e com extensa área queimada anualmente; (2) utilização de modelo espacial, o que nos permite incorporar a dependência espacial da ocorrência de área queimada; e (3) além dos fatores socioeconômicos e biofísicos adotados em trabalhos anteriores, o modelo inclui categorias fundiárias como variáveis de gestão da terra.

Embora a tese seja focada em projetos de assentamento, o Capítulo 4 explora associações da queimada com vários fatores e reforça a importância de conservação de áreas protegidas, como unidades de conservação e terras indígenas, que vêm sofrendo pressão externa sobre seus recursos naturais.

Demonstramos que houve variação na probabilidade de ocorrência de queimadas em projetos de assentamento dependendo da sub-região e do ano de análise. No Capítulo 5 apresentamos uma análise da dinâmica espaço-temporal da ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamentos de reforma agrária na região do Matopiba. Para isso, foram analisados 821 projetos de assentamento no período de 2001 a 2021

e foi gerada uma classificação baseado em área queimada, frequência e tendência de ocorrência de área queimada. Os resultados mostraram um padrão temporal de ocorrência de incêndios, com variações interanuais. A ocorrência de extensas áreas de incêndios esteve associada a anos de anomalia de seca. Esse padrão acompanha o que ocorre nas demais regiões do Cerrado (SCHMIDT; ELOY, 2020). Não foram identificados padrões espaciais expressivos de ocorrências de áreas queimadas. Na mesma localidade identificamos existirem projetos de assentamentos com queimadas anuais e outros sem queimadas em nenhum dos anos analisados.

Identificar características dos projetos de assentamento associadas à ocorrência de área queimada foi o objetivo do Capítulo 6. Para isso, foi analisada as ocorrências de área queimada no ano de 2017, ano que apresentou maiores extensões de área queimada no bioma Cerrado (FIDELIS et al., 2018). O foco foi no sudoeste do Matopiba. Os resultados mostraram que projetos de assentamento mais antigos, com maior porcentagem de formações campestres, savânicas e florestais foram associados à ocorrência de área queimada. A associação com os que possuíam menor densidade de famílias, a probabilidade de ocorrência de área queimada foi menor. A fase do assentamento, localização da moradia, localização da reserva legal, agricultura, pastagem e área desmatada não foram associadas à ocorrência de área queimada.

O Capítulo 7 visou alcançar o quarto e o quinto objetivo desta tese: identificar e classificar as áreas queimadas, que ocorrem nos lotes, em incêndios e queimadas controladas; e, avaliar associação entre tipos de queimada e formas de ocupação nos lotes de projetos de assentamento. Ao analisar a ocupação dos lotes de três projetos de assentamento no sudoeste do Matopiba, identificamos que lotes com padrão de desmatamento pequeno ou geométrico tiveram mais incêndios, enquanto lotes com desmatamento total tiveram tanto incêndios quanto queimadas controladas para manejo de pastagens.

Considerando os resultados dos capítulos anteriores, foi selecionado critérios para construção de um indicador para seleção de áreas prioritárias e monitoramento. Assim, o Capítulo 8 descreve a construção do indicador de suscetibilidade a queimada aplicado aos projetos de assentamento (ISQPA) para a região do Matopiba. Embora tenha sido demonstrado que a região do Matopiba tenha fatores heterogêneos associados às queimadas, o indicador buscou sintetizar através dos critérios os principais fatores que foram discutidos e apresentados nos resultados. Uma limitação é não abarcar essa heterogeneidade, mas as bases do indicador pode ser aplicado regionalmente, incorporando as variáveis regionais. A escolha metodológica para criação do

indicador se demonstrou robusta e pode ser aperfeiçoada em outras versões atualizadas, já que utiliza ferramentas livres e gratuitas.

Alguns dos resultados encontrados neste trabalho diferem dos encontrados em outros Biomas, demonstrando a necessidade de estudos em diferentes escalas e regionalizações para se obter conhecimento mais completo das queimadas em projetos de assentamentos. Neste trabalho os projetos de assentamento foram analisados em relação às queimadas em diferentes escalas, observando o Matopiba em toda a sua extensão em uma abordagem regional até a análise da ocorrência de queimadas dentro dos projetos de assentamento, no lote.

Por fim, destaca-se a importância do uso de diferentes abordagens e arcabouços metodológicos para a análise deste fenômeno em uma região tão extensa e complexa como o Matopiba, que apresenta regiões e contextos de ocupação e ambientais diferenciados, sendo essa uma das principais contribuições desse trabalho. Destaca-se também que as análises realizadas neste estudo limitaram-se a região do Matopiba de forma que generalizações para o restante do Brasil podem ser limitadas pelas condições específicas do tipo de vegetação, clima e manejo agrícola dessas áreas.



## 10 CONCLUSÃO

Nesta seção, resumimos as principais conclusões em relação às quatro questões que nortearam esta tese, as quais são apresentadas a seguir.

*1) quais fatores ambientais e antrópicos, incluindo projetos de assentamento como um potencial fator, estão associados a ocorrência de área queimada na região do Matopiba?*

Nossos resultados sugerem que, no período de 2016 a 2020, houve uma heterogeneidade nos fatores associados à ocorrência de área queimada na região do Matopiba, variando no espaço e no tempo. Entretanto, alguns fatores apresentaram o mesmo padrão nos anos analisados: na sub-região 1, localizada na porção norte da região do Matopiba, houve probabilidade maior de ocorrência de queimadas em áreas de desmatamento, terras indígenas e em formações campestres e menor probabilidade em áreas de formação florestal; na sub-região 2, na porção leste, probabilidade maior quanto mais distante a área for de estradas, em áreas de imóvel rural privado e em áreas com formação savânica; na sub-região 3, na porção centro-sul, probabilidade menor em áreas de agricultura e probabilidade alta em áreas declivosas; e para a sub-região 4, na porção oeste, probabilidade menor em áreas com formações florestais. Não houve um padrão de associação entre os projetos de assentamento da região do Matopiba e área queimada, apresentando variação na probabilidade de ocorrência de queimadas dependendo da sub-região e do ano de análise.

*2) Há um padrão espacial e temporal de ocorrência de áreas queimadas em projetos de assentamentos?*

Os projetos de assentamento apresentaram um padrão temporal de ocorrência de queimadas com variações interanuais e associação com a estação seca. Não foi identificado um padrão espacial de ocorrência de área queimada e frequência de queimadas. Entretanto, apesar de observar que a maioria dos projetos de assentamentos não apresentou tendência em relação ao fogo, foram observados em uma pequena região no nordeste do Matopiba, projetos de assentamentos com tendência crescente. Esses projetos de assentamento estão localizados em regiões com histórico recente de aumento de áreas queimadas, associado à expansão de agricultura de larga escala (SILVA et al., 2021).

*3) Quais usos e cobertura da terra e quais fatores relacionados à criação e desenvolvimento dos projetos de assentamentos são associados à ocorrência de área*

*queimada?*

No sudoeste do Matopiba, no ano de 2017, projetos de assentamento mais antigos, com maior porcentagem de formações campestres, savânicas e florestais foram associados a ocorrência de área queimada. Já os que possuíam menor densidade de famílias a probabilidade de ocorrência de área queimada foi menor. A fase do assentamento, titulação, localização da moradia, localização da reserva legal, agricultura, pastagem e área desmatada não foram associadas a ocorrência de área queimada.

*4) Como ocorre o processo de ocupação do lote e onde ocorrem as diferentes classes de área queimada (incêndios e queima controlada) considerando as diferentes classes de ocupação do lote?*

Nossos resultados mostram que a ocupação de um mesmo lote muda ao longo dos anos, mostrando a dinâmica dessa ocupação. As classes predominantes são aquelas associadas à agricultura familiar, com pequenos polígonos irregulares ou geométricos de desmatamento. Os lotes sem ocupação observada e com padrões de desmatamento pequenos ou geométricos tiveram mais incêndios, enquanto os lotes com ocupação total tiveram tanto incêndios quanto queimadas controladas em áreas de pastagens. Essa queima controlada também afetou lotes com padrões geométricos, com o segundo maior percentual depois dos incêndios.

Para trabalhos futuros sugerem-se: (1) analisar o local de ignição, para identificar se a ocorrência é dentro ou fora dos limites dos projetos de assentamento; (2) analisar aspectos de vizinhança e relacionar com fatores associados a propagação e ignição; e (3) sugere-se também estudos visando análise e implementação de manejo integrado do fogo em projetos de assentamento.

Por fim, destaca-se que a problemática das queimadas e incêndios é de múltiplas partes interessadas, multi-variáveis e multi-escala (GILL, 2005). As ações e políticas de prevenção e combate às queimadas devem considerar tanto o contexto local quanto o regional, considerando as causas específicas de cada região e buscando soluções que minimizem os danos ambientais, sociais e econômicos, principalmente para as populações mais vulneráveis em um contexto de mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, A.; MOUTINHO, P.; ARRUDA, V.; SILVÉRIO, D. **Amazônia em chamas-O fogo e o desmatamento em 2019 e o que vem em 2020: nota técnica nº 3**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2020. Disponível em: <<<https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2020/04/NT3-Fogo-em-2019.pdf>>>. Acesso em: 13 out. 2004. 16, 109, 110
- ALENCAR, L.; ESCADA, M. I. S.; CAMARGO, J. L. C. Forest regeneration pathways in contrasting deforestation patterns of Amazonia. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 98, Jan. 2023. 148
- ALMEIDA, C. A. d.; PEREIRA, E. **Programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas**. [S.l.]: São José dos Campos: INPE, 2021. 149
- ALVARADO, S. T.; FORNAZARI, T.; CÓSTOLA, A.; MORELLATO, L. P. C.; SILVA, T. S. F. Drivers of fire occurrence in a mountainous brazilian cerrado savanna: tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270–281, July 2017. 21, 41
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. d. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, Jan. 2013. 32
- ALVES, D. B.; ALVARADO, S. T. Variação espaço-temporal da ocorrência do fogo nos biomas brasileiros com base na análise de produtos de sensoriamento remoto. **Geografia**, v. 44, n. 2, p. 321–345, Jun. 2019. 12, 17, 89, 167
- ALVES, D. B.; PÉREZ-CABELLO, F.; MIMBRERO, M. R.; FEBRER-MARTÍNEZ, M. Accuracy assessment of the latest generations of MODIS burned area products for mapping fire scars on a regional scale over campos amazônicos savanna enclave (Brazilian Amazon). **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 12, n. 2, p. 026026, Apr. 2018. 89
- ALVES, M. T. R.; PIONTEKOWSKI, V. J.; BUSCARDO, E.; PEDLOWSKI, M. A.; SANO, E. E.; MATRICARDI, E. A. T. Effects of settlement designs on deforestation and fragmentation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 109, p. 105710, Oct. 2021. 85, 148
- ANDELA, N.; MORTON, D.; GIGLIO, L.; CHEN, Y.; WERF, G. van der; KASIBHATLA, P.; DEFRIES, R. S.; COLLATZ1, G. J.; HANTSON, S.; KLOSTER, S.; BACHELET, D.; FORREST, M.; LASSLOP, G.; LI, F.; MANGEON, S.; MELTON, J. R.; YUE, C.; RANDERSON, J. A human-driven decline in global burned area. **Science**, v. 356, n. 6345, p. 1356–1362, June 2017. 1, 127
- ANDERSON, D.; DAVIDSON, R. A.; HIMOTO, K.; SCAWTHORN, C. Statistical modeling of fire occurrence using data from the Tōhoku, Japan earthquake and Tsunami. **Risk Analysis**, v. 36, n. 2, p. 378–395, Feb. 2016. 30

ANDERSON, L. O.; MARCHEZINI, V.; MORELLO, T. F.; CUNNINGHAM, C. A. Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos e desastres associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil. **Territorium**, v. 26, n. 1, p. 43–61, Abr. 2019. 2

ANDERSON, L. O.; YAMAMOTO, M.; CUNNINGHAM, C.; FONSECA, M. G.; FERNANDES, L. K.; PIMENTEL, A.; BROWN, F.; JUNIOR, C. H. L. S.; LOPES, E. S. S.; MOREIRA, D. S.; SALAZAR, N.; ANDERE, L.; ROSAN, T. M.; REIS, V.; ARAGÃO, L. E. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, Jan. 2017. 3, 22, 85, 86, 129, 130

ANJOS, A. G.; ALVARADO, S. T.; SOLÉ, M.; BENCHIMOL, M. Patch and landscape features drive fire regime in a Brazilian flammable ecosystem. **Journal for Nature Conservation**, v. 69, p. 126261, Oct. 2022. ISSN 1617-1381. 27, 81

ARAGÃO, M. de A.; FIEDLER, N. C.; RAMALHO, A. H. C.; MENEZES, R. A. S.; SILVA, E. C. G. da; JUVANHOL, R. S.; BIAZATTI, L. D.; SILVA, E. F. da; PEREIRA, R. S.; GUANAES, G. M. da S.; LUCAS, F. M. F. Risk of forest fires occurrence on a transition island amazon-cerrado: where to act? **Forest Ecology and Management**, v. 536, p. 120858, 5 2023. ISSN 03781127. 126, 149

ASSUNÇÃO, R.; TETTO, A. F.; BATISTA, A. C. O uso tradicional do fogo no assentamento Vale Verde, em Gurupi/TO. **Espacios**, v. 38, n. 17, Oct. 2017. 2, 129

ASSUNÇÃO, R. M.; NEVES, M. C.; CÂMARA, G.; FREITAS, C. da C. Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 797–811, February 2006. 45

BACANI, V. M. Geoprocessamento aplicado à avaliação de risco de incêndio florestal no município de Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Revista Árvore**, v. 40, p. 1003–1011, Nov. 2016. 42, 77

BARROS, A. M.; DAY, M. A.; PREISLER, H. K.; ABATZOGLOU, J. T.; KRAWCHUK, M. A.; HOUTMAN, R.; AGER, A. A. Contrasting the role of human-and lightning-caused wildfires on future fire regimes on a Central Oregon landscape. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 6, p. 064081, June 2021. 30

BARROS, L. A.; MENDONÇA, B. A. F. d.; SOTHE, C.; FERNANDES FILHO, E. I.; ELKIN, C. Fire in the Atlantic rainforest: an analysis of 20 years of fire foci distribution and their social-ecological drivers. **Geocarto International**, p. 1–25, Mar. 2021. 25, 27

BARROS-ROSA, L.; ARRUDA, P. H. Z. de; MACHADO, N. G.; PIRES-OLIVEIRA, J. C.; EISENLOHR, P. V. Fire probability mapping and prediction from environmental data: what a comprehensive savanna-forest

transition can tell us. **Forest Ecology and Management**, v. 520, p. 120354, 2022. 41, 42, 81

BEM, P. P. de; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; MATRICARDI, E. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Predicting wildfire vulnerability using logistic regression and artificial neural networks: a case study in Brazil's Federal District. **International Journal of Wildland Fire**, v. 28, n. 1, p. 35–45, Nov. 2018. 23

BERLINCK, C. N.; BATISTA, E. K. Good fire, bad fire: it depends on who burns. **Flora**, v. 268, p. 151610, July 2020. 15, 16, 86, 129

BERLINCK, C. N.; LIMA, L. H. A. Implementation of integrated fire management in brazilian federal protected areas: eesults and perspectives. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 128–138, Maio 2021. 15, 113

BOND, W. J.; KEELEY, J. E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 7, p. 387–394, July 2005. 11, 129

BOWMAN, D. M. J. S.; BALCH, J.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; COCHRANE, M. A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MACK, M.; MORITZ, M. A.; PYNE, S.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SODHI, N. S.; SWETNAM, T. W. The human dimension of fire regimes on earth. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 12, p. 2223–2236, Dec. 2011. 11

BOWMAN, D. M. J. S.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON, J. M.; COCHRANE, M. A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R. S.; DOYLE, J. C.; HARRISON, S. P.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MARSTON, J. B.; MORITZ, M. A.; PRENTICE, I. C.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SWETNAM, T. W.; WERF, G. R. van der; PYNE, S. J. Fire in the earth system. **Science**, v. 324, n. 5926, p. 481–484, Apr. 2009. 1

BRASIL. Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964: dispõe sobre o Estatuto da Terra e dá outras providências. 1964. Disponível em: <<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l4504.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4504.htm)>>. Acesso em: 23 abr. 2021. 37, 155

\_\_\_\_\_. Lei n. 8.629, de 25 de fevereiro de 1993: dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII da Constituição Federal. 1993. Disponível em: <<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8629.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8629.htm)>>. Acesso em: 06 out. 2021. 116, 132

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998: dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. 1998. Disponível em: <<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm)>>. Acesso em: 23 abr. 2021. 86, 129

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010: institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária - PNATER e o Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural na Agricultura Familiar e na Reforma Agrária - PRONATER, altera a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e dá outras providências. 2010. Disponível em: <<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm)>>. Acesso em: 08 maio 2021. 152

\_\_\_\_\_. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012: dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Disponível em: <<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>>. Acesso em: 23 abr. 2021. 2, 86, 113, 117, 130, 133, 136, 153

\_\_\_\_\_. Projeto de Lei n. 11276/2018, de 27 de dezembro de 2018: institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo; e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. 2018. Disponível em: <<<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2190265>>>. Acesso em: 21 jun. 2022. 113

\_\_\_\_\_. Decreto N. 11.635, de 16 de agosto de 2023: altera o Decreto nº 7.572, de 28 de setembro de 2011, que regulamenta dispositivos da Lei nº 12.512, de 14 de outubro de 2011, que tratam do Programa de Apoio à Conservação Ambiental - Programa Bolsa Verde. 2023. Disponível em: <<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2023/decreto/D11635.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11635.htm)>>. Acesso em: 08 set. 2023. 152

CABRAL, L.; SAUER, S.; SHANKLAND, A. Introdução: Lutando pelo cerrado—um olhar territorial sobre uma fronteira disputada. **IDS Bulletin**, v. 54, n. 1, 2023. 79

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise espacial de eventos. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. C. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. [S.l.]: Embrapa, 2004. 191

CANO-CRESPO, A.; OLIVEIRA, P. J.; BOIT, A.; CARDOSO, M.; THONICKE, K. Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 120, n. 10, p. 2095–2107, Oct. 2015. 129, 151

CARRERO, G. C.; FEARNSSIDE, P. M.; VALLE, D. R. do; ALVES, C. de S. Deforestation trajectories on a development frontier in the Brazilian Amazon: 35 years of settlement colonization, policy and economic shifts, and land accumulation. **Environmental Management**, v. 66, n. 6, p. 966–984, Dec. 2020.

ISSN 1432-1009. Disponível em:

<<<https://doi.org/10.1007/s00267-020-01354-w>>>. 85, 148

CASTRO, R.; CHUVIECO, E. Modeling forest fire danger from geographic information systems. **Geocarto International**, v. 13, n. 1, p. 15–23, Dec. 1998. 42

CAVIGLIA-HARRIS, J. L.; HARRIS, D. The impact of settlement design on tropical deforestation rates and resulting land cover patterns. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 40, n. 1203-2016-95428, p. 451–470, Dec. 2011. 148

CHANG, W.; CHENG, J.; ALLAIRE, J.; SIEVERT, C.; SCHLOERKE, B.; XIE, Y.; ALLEN, J.; MCPHERSON, J.; DIPERT, A.; BORGES, B. **shiny: Web Application Framework for R**. [s.n.], 2021. R package version 1.7.1. Disponível em: <<<https://CRAN.R-project.org/package=shiny>>>. 159

CHEN, Y.; MORTON, D. C.; JIN, Y.; COLLATZ, G. J.; KASIBHATLA, P. S.; WERF, G. R. van der; DEFRIES, R. S.; RANDERSON, J. T. Long-term trends and interannual variability of forest, savanna and agricultural fires in South America. **Carbon Management**, v. 4, n. 6, p. 617–638, Apr. 2013. 76, 93

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. [S.l.]: Blucher, 1999. 19

COMMISSION, J. R. C.-E. et al. **Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide**. [S.l.]: OECD Publishing, 2008. 156

CONCEIÇÃO, D. S.; VANCCIN, P. D. A.; BATISTA, A. K. R.; VIANA, V. S. S.; ALCÂNTARA, A. d. S. S.; ELERES, V. M.; RIBEIRO, R. de S.; ROCHA, A. M. O impacto das queimadas na saúde pública. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 59498–59502, Out. 2020. 1

CONCIANI, D. E.; SANTOS, L. P. dos; SILVA, T. S. F.; DURIGAN, G.; ALVARADO, S. T. Human-climate interactions shape fire regimes in the cerrado of São Paulo state, Brazil. **Journal for Nature Conservation**, v. 61, p. 126006, June 2021. 26

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. **ERA5: fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate**. [S.l.]: CDS, 2017. 44

COSTAFREDA-AUMEDES, S.; COMAS, C.; VEGA-GARCIA, C. Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. **International Journal of Wildland Fire**, v. 26, n. 12, p. 983–998, Dec. 2017. 19, 30

DRISCOLL, D. A.; ARMENTERAS, D.; BENNETT, A. F.; BROTONS, L.; CLARKE, M. F.; DOHERTY, T. S.; HASLEM, A.; KELLY, L. T.; SATO, C. F.; SITTERS, H.; AQUILUÉ, N.; BELL, K.; CHADID, M.; DUANE, A.; MEZA-ELIZALDE, M. C.; GILJOHANN, K. M.; GONZÁLEZ, T. M.; JAMBHEKAR, R.; LAZZARI, J.; MORÁN-ORDÓÑEZ, A.; WEVILL, T. How fire

interacts with habitat loss and fragmentation. **Biological Reviews**, v. 96, p. 976–998, June 2021. ISSN 1464-7931. 126

DURIGAN, G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. **Flora**, v. 268, p. 151612, July 2020. 16, 113

DURIGAN, G.; PILON, N. A.; ABREU, R. C.; HOFFMANN, W. A.; MARTINS, M.; FIORILLO, B. F.; ANTUNES, A. Z.; CARMIGNOTTO, A. P.; MARAVALHAS, J. B.; VIEIRA, J.; VASCONCELOS, H. L. No net loss of species diversity after prescribed fires in the Brazilian Savanna. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, p. 13, Feb. 2020. 2, 16

DURIGAN, G.; PILON, N. A.; SOUZA, F. M.; MELO, A. C.; RE, D. S.; SOUZA, S. C. Low-intensity cattle grazing is better than cattle exclusion to drive secondary savannas toward the features of native cerrado vegetation. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 789–800, Apr. 2022. 77

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11–15, Oct. 2016. 16, 113, 127

ELOY, L.; SCHMIDT, I. B.; BORGES, S. L.; FERREIRA, M. C.; SANTOS, T. A. D. Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. **Ambio**, v. 48, n. 8, p. 890–899, Nov. 2019. 16

ESKANDARI, S.; POURGHASEMI, H. R.; TIEFENBACHER, J. P. Fire-susceptibility mapping in the natural areas of Iran using new and ensemble data-mining models. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1–12, Sept. 2021. 30

FALLEIRO, R. de M.; STEIL, L.; OLIVEIRA<sup>1</sup>, M. S. de; LANDO, I.; MACHADO, L. de O. R.; CUNHA, A. M. C. Histórico, avaliação, oportunidades e desafios do manejo integrado do fogo nas terras indígenas brasileiras. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, v. 11, n. 11, p. 75–98, 2021. 113

FERNANDES, P. M. Fire-smart management of forest landscapes in the mediterranean basin under global change. **Landscape and Urban Planning**, v. 110, p. 175–182, Feb. 2013. ISSN 01692046. 81

FERREIRA, I. J.; CAMPANHARO, W. A.; BARBOSA, M. L.; SILVA, S. S. d.; SELAYA, G.; ARAGÃO, L. E.; ANDERSON, L. O. Assessment of fire hazard in southwestern Amazon. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 6, p. 1107417, Mar. 2023. 28

FIDELIS, A. Is fire always the “bad guy”? **Flora**, v. 268, p. 151611, July 2020. 16

FIDELIS, A.; ALVARADO, S. T.; BARRADAS, A. C. S.; PIVELLO, V. R. The year 2017: megafires and management in the cerrado. **Fire**, v. 1, n. 3, p. 49, Dec. 2018. 16, 120, 127, 168

FONSECA, M. G.; ALVES, L. M.; AGUIAR, A. P. D.; ARAI, E.; ANDERSON, L. O.; ROSAN, T. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E. O. E. C. de. Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 25, n. 9, p. 2931–2946, Sept. 2019. 23, 42, 76

FONSECA, M. G.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E.; XAUD, H. A.; XAUD, M. R.; MADANI, N.; WAGNER, F. H.; ARAGÃO, L. E. Climatic and anthropogenic drivers of northern amazon fires during the 2015–2016 el niño event. **Ecological Applications**, v. 27, n. 8, p. 2514–2527, 2017. 22, 42, 81

FREITAS, F. L. M. de; GUIDOTTI, V.; SPAROVEK, G.; HAMAMURA, C. **Nota técnica: malha fundiária do Brasil**. [S.l.]: IMAFLORA, 2018. 44

FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. **Geoprocessamento e mapas**. 2021. Disponível em: <<<https://www.gov.br/funai>>>. Acesso em: 01 maio 2021. 44

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, n. 1, p. 1–21, 2015. xiv, 44, 93

G1 TOCANTINS. **Brigadistas combatem incêndio há dois dias em Lagoa da Confusão**. Tocantins, Agosto 2016. 1 p. Disponível em: <<<https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2016/08/brigadistas-combatem-incendio-ha-dois-dias-em-lagoa-da-confusao.html>>>. Acesso em: 09 ago. 2023. 149

GALIZIA, L. F. d. C.; RODRIGUES, M. Modeling the influence of eucalypt plantation on wildfire occurrence in the Brazilian savanna biome. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 844, Sept. 2019. xiv, 24, 42, 77, 81, 93

GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. P.; HUMBER, M. L.; JUSTICE, C. O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. **Remote Sensing of Environment**, v. 217, p. 72–85, Nov. 2018. 43, 89, 115, 157

GILL, A. M. Landscape fires as social disasters: an overview of ‘the bushfire problem’. **Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards**, v. 6, n. 2, p. 65–80, June 2005. 172

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; SILVÉRIO, D. V.; BUSTAMANTE, M. M. Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 458, Feb. 2020. 118, 126

GOSCH, M. S.; FERREIRA, M. E.; MEDINA, G. d.S. The role of the rural settlements in the Brazilian savanna deforesting process. **Journal of Land Use Science**, v. 12, p. 55–70, 1 2017. 85, 151

GRABINSKI, Z. S.; SHERRIFF, R. L.; KANE, J. M. Controls of reburn severity vary with fire interval in the Klamath Mountains, California, USA. **Ecosphere**, v. 8, n. 11, Nov. 2017. 30

HAMMOND, A. L.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. [S.l.]: World Resources Institute Washington, DC, 1995. 155

HANTSON, S.; PUEYO, S.; CHUVIECO, E. Global fire size distribution is driven by human impact and climate. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 1, p. 77–86, 2015. 30

HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. **Fire Management**, v. 22, n. 4, p. 78–87, 2005. 12, 167

HARRISON, S.; MARLON, J.; BARTLEIN, P. Fire in the earth system. In: DODSON, J. (Ed.). **Changing climates, earth systems and society**. [S.l.]: Springer, 2010. p. 21–48. 1, 117

HASTIE, T. J. Generalized additive models. In: CHAMBERS, M.; HASTIE, T. J. (Ed.). **Statistical models in S**. [S.l.]: Routledge, 2017. p. 249–307. 49

HERRMANN, P. B.; NASCIMENTO, V. F.; CASAGRANDE, F.; FREITAS, M. W. D. de; KLUG, A. C. Spatial modeling of fire in the atlantic forest considering future climate change scenarios in Rio Grande do Sul state, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 131, p. 104614, Nov. 2023. 28

HOFFMANN, W. A.; GEIGER, E. L.; GOTSCH, S. G.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L. C.; LAU, O. L.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology Letters**, v. 15, n. 7, p. 759–768, May 2012. 86, 117, 133

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores municipais - censo agropecuário 2017**. 2017. Disponível em: <<<https://mapasinterativos.ibge.gov.br/agrocompara/>>>. Acesso em: 01 maio 2021. 43

\_\_\_\_\_. **Sidra: banco de tabelas estatísticas**. 2017. Disponível em: <<<https://sidra.ibge.gov.br/>>>. Acesso em: 15 jan. 2023. 76

\_\_\_\_\_. **Geociências**. 2019. Disponível em: <<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>>. Acesso em: 01 maio 2021. 31, 35, 36, 39, 43, 44, 51, 88, 96, 97, 119, 132, 156

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Geoprocessamento**. 2021. Disponível em: <<<https://www.gov.br/icmbio>>>. Acesso em: 01 maio 2021. 44

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Instrução Normativa nº 99, de 30 de dezembro de 2019: fixa os procedimentos administrativos para titulação de imóveis rurais em Projetos de Assentamento de Reforma Agrária.** 2019. Disponível em: <<<https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-99-de-30-de-dezembro-de-2019-236098411>>>. Acesso em: 13 out. 2021. 116

\_\_\_\_\_. **Acervo fundiário.** 2021. Disponível em: <<<https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>>>. Acesso em: 01 maio 2021. 38, 39, 44, 88, 96, 97, 119, 120, 121, 132, 155, 156

\_\_\_\_\_. **Assentamentos.** 2021. Disponível em: <<<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos>>>. Acesso em: 15 set. 2021. 155

\_\_\_\_\_. **Assentamentos - relação de projetos.** 2021. Disponível em: <<<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos-relacao-de-projetos>>>. Acesso em: 15 set. 2021. 2, 37, 44, 115

\_\_\_\_\_. **Titulação de Assentamento.** 2021. Disponível em: <<<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/titulacao>>>. Acesso em: 23 abr. 2023. 120

\_\_\_\_\_. **Consulta pública de beneficiários.** 2023. Disponível em: <<<https://saladacidadania.incra.gov.br/Beneficiario/ConsultaPublica>>>. Acesso em: 09 fev. 2023. 134

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO).** 2021. Disponível em: <<<http://sisdagro.inmet.gov.br/>>>. Acesso em: 12 out. 2021. 44

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa Queimadas.** 2021. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 01 out. 2021. 120, 134

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA E DEMAIS BIOMAS. **Avisos – Bioma Cerrado.** 2021. Disponível em: <<<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>>>. Acesso em: 15 dez. 2022. 43, 121, 134

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** [S.l.]: Cambridge University Press, 2014. 1

JUVANHOL, R. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M.; SILVA, W. B.; PINHEIRO, C. J. G.; SOUSA, H. C. P. Use of machine learning as a tool for determining fire management units in the brazilian atlantic forest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, p. e20201039, 2023. 29

KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M.; CÂMARA, G. GeoDMA-Geographic Data Mining Analyst. **Computers and Geosciences**, v. 57, p. 133–145, 2013. Disponível em: <<<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.02.007>>>. 138

KOUASSI, J.-L. K.; WANDAN, N. E.; MBOW, C. Assessing the impact of climate variability on wildfires in the N’Zi river Watershed in Central Côte d’Ivoire. **Fire**, v. 1, n. 3, p. 36, Sept. 2018. 30

LARA, D. X.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, M. B. de. Uso do fogo em propriedades rurais do Cerrado em Cavalcante, GO. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 9–15, Jan./Mar. 2007. 17, 129

LAZZARINI, G. M. J.; FERREIRA, L. C. C.; FELICÍSSIMO, M. F. G.; LIRA, R. G.; JUSTINO, A. G.; GOMES, C. S.; RIBEIRO, J. C. N.; MAGALHÃES, G. R. D. Análise da distribuição de focos de calor no Tocantins entre 2002 e 2011. **Interface**, v. 5, p. 24–35, 2012. 3

LE TOURNEAU, F.-M.; BURSZTYN, M. Rural settlements in the Amazon: contradictions between the agrarian policy and environmental policy. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 1, Jan./Jul. 2010. 85, 129

LIMA, C. H.; AGHAKOUCHAK, A.; RANDERSON, J. T. Unraveling the role of temperature and rainfall on active fires in the Brazilian Amazon using a nonlinear poisson model. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 123, n. 1, p. 117–128, Jan. 2018. 23, 41

LORENA, R. B.; LAMBIN, E. F. The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon. **Applied Geography**, v. 29, n. 2, p. 171–181, 2009. 130, 148

MACUL, M. S. **Índice de valorização da terra e desmatamento em uma região de fronteira agropecuária na amazônia: região de Novo Progresso, Pará**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019. 158

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias – coleção 6 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**: Projeto de mapeamento anual do uso e cobertura da terra no brasil - mapbiomas. 2020. Disponível em: <<<https://mapbiomas.org/>>>. Acesso em: 27 abr. 2021. 32, 33, 34, 43, 121, 157

MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J.-C.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–10, Jan. 2022. 83, 93, 139

- MATAVELI, G. A.; PEREIRA, G.; CHAVES, M. E.; CARDOZO, F. d. S.; STARK, S. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E.; OLIVEIRA, G. de; CHEN, J. M. Deforestation and land use and land cover changes in protected areas of the Brazilian Cerrado: impacts on the fire-driven emissions of fine particulate aerosols pollutants. **Remote Sensing Letters**, v. 12, n. 1, p. 79–92, Feb. 2021. 80
- MELO, M. H. F. de; SILVA, F. B.; SANTOS FILHO, O. O. Conhecimento indígena, sistema de manejo e mudanças ambientais na região de transição Amazônia-Cerrado. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 59, Mar. 2022. 78
- MELO, P.; SPARACINO, J.; ARGIBAY, D.; SOUSA JÚNIOR, V.; BARROS, R.; ESPINDOLA, G. Assessing wildfire regimes in indigenous lands of the brazilian savannah-like Cerrado. **Fire**, v. 4, n. 3, p. 34, July 2021. 78
- MENDONÇA, M. J. C. D.; DIAZ, M. D. C. V.; NEPSTAD, D.; MOTTA, R. S. D.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, v. 49, p. 89–105, 5 2004. 129
- MIRANDA, E. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. **Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA**. [S.l.]: Campinas: Embrapa, 2014., 2014. 31, 35, 36, 39, 45, 51, 88, 96, 97, 119, 132, 156
- MIRANDA, G. J. D.; MENDONÇA, B. A. F. de; OLIVEIRA, E. R. S. de; OLIVEIRA, K. A. de; ROMEIRO, J. M. N.; TORRES, F. T. P. Large fires and fire danger indices in ‘Governador’ Indigenous Territory, Maranhão State. **Floresta**, v. 52, n. 1, p. 083–092, Nov. 2022. 78
- MIRANDA, H. S.; NASCIMENTO NETO, W.; NEVES, B. M. C. Caracterização das queimadas de cerrado. In: MIRANDA, H. S. (Ed.). **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades do Cerrado: resultados do Projeto Fogo**. Brasília: Ibama, 2010. p. 23–33. 15, 86
- MISTRY, J. Decision-making for fire use among farmers in savannas: an exploratory study in the Distrito Federal, central Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 54, n. 4, p. 321–334, Dec. 1998. 17, 86, 129
- MISTRY, J.; BERARDI, A.; ANDRADE, V.; KRAHÔ, T.; KRAHÔ, P.; LEONARDOS, O. Indigenous fire management in the cerrado of Brazil: the case of the Krahô of Tocantíns. **Human Ecology**, v. 33, n. 3, p. 365–386, June 2005. 79
- MOURA, L. C.; SCARIOT, A. O.; SCHMIDT, I. B.; BEATTY, R.; RUSSELL-SMITH, J. The legacy of colonial fire management policies on traditional livelihoods and ecological sustainability in savannas: impacts, consequences, new directions. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 600–606, Feb. 2019. 129
- MUSCHELLI III, J. Roc and auc with a binary predictor: a potentially misleading metric. **Journal of Classification**, v. 37, n. 3, p. 696–708, Dec. 2020. 50

MYERS, R. **Living with fire — sustaining ecosystems livelihoods through integrated fire management**. [S.l.]: Global Fire Initiative, The Nature Conservancy, 2006. 29 p. 80, 113, 153

NATURATINS. Portaria/naturatins nº 44, de 25 de janeiro de 2017. 2017. Disponível em: <<<https://central.to.gov.br/download/43085>>>. Acesso em: 31 ago. 2023. 120, 152

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. **Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fires**. [S.l.]: Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest, Brasilia (Brasil), 1999. 190 p. 16

NEWBERRY, B. M.; POWER, C. R.; ABREU, R. C.; DURIGAN, G.; ROSSATTO, D. R.; HOFFMANN, W. A. Flammability thresholds or flammability gradients? determinants of fire across savanna–forest transitions. **New Phytologist**, v. 228, n. 3, p. 910–921, June 2020. 15

NOGUEIRA, J. M.; RAMBAL, S.; BARBOSA, J. P. R.; MOUILLOT, F. Spatial pattern of the seasonal drought/burned area relationship across Brazilian biomes: sensitivity to drought metrics and global remote-sensing fire products. **Climate**, v. 5, n. 2, p. 42, June 2017. 21, 41

NORTON, E. C.; DOWD, B. E.; MACIEJEWSKI, M. L. Odds ratios—current best practice and use. **Jama**, v. 320, n. 1, p. 84–85, 2018. 50

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; CORREIA FILHO, W. L. F.; ALVES, L. E. R.; LYRA, G. B.; GOIS, G. de; SILVA JUNIOR, C. A.; SANTOS, P. J. D.; SOBRAL, B. S. Fire foci dynamics and their relationship with socioenvironmental factors and meteorological systems in the state of Alagoas, Northeast Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 10, p. 1–26, Sept. 2020. 24, 34

OPENSTREET MAP CONTRIBUTORS. **Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>**. 2020. Disponível em: <<<https://www.openstreetmap.org>>>. Acesso em: 23 mar. 2022. 44

PACHECO, P. Agrarian reform in the Brazilian Amazon: its implications for land distribution and deforestation. **World Development**, v. 37, n. 8, p. 1337–1347, 2009. 130

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: the role of fire in the history of life. **BioScience**, v. 59, n. 7, p. 593–601, 2009. 9, 10, 11

PEREIRA, A. S. A. de P.; SANTOS, V. J. D.; ALVES, S. do C.; AMARAL, A.; SILVA, C. G. D.; CALIJURI, M. L. Contribution of rural settlements to the deforestation dynamics in the Legal Amazon. **Land Use Policy**, v. 115, p. 106039, Apr. 2022. 85, 148

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, Apr. 2011. 2, 14, 15, 41, 86, 129

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V.; RIBEIRO, D. B.; MENEZES, L. da S.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P.; MARENGO, J. A.; TORNQUIST, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECK, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, Jul./Sept. 2021. 13, 14, 41, 80, 83, 86

POURTAGHI, Z. S.; POURGHASEMI, H. R.; ARETANO, R.; SEMERARO, T. Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 72–84, May 2016. 30

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <<<https://www.R-project.org/>>>. 159

RAMOS JUNIOR, D. V.; AGUIAR, V. G. de; KANTAMANENI, K. Mapping fire: the case of Matopiba. **IDS Bulletin**, v. 54, n. 1, p. 107–127, 2023. 79

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, p. 675–684, Dec. 2000. 41, 86

REIS, L. C. D.; BEZERRA, B. G.; MUTTI, P. R.; SPYRIDES, M. H. C.; SILVA, P. E. da. Analysis of climate extreme indices in the MATOPIBA region, Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, v. 177, n. 9, p. 4457–4478, Apr. 2020. 87

REIS, M. D.; GRAÇA, P. M. L. de A.; YANAI, A. M.; RAMOS, C. J. P.; FEARNSIDE, P. M. Forest fires and deforestation in the central Amazon: effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. **Journal of Environmental Management**, v. 288, p. 112310, June 2021. 42, 76, 77, 78, 81, 129, 130

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**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151–212. 15

ROCHA, M.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1220–1235, Jul. 2021. 34, 81

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Ocorrência de focos de queimadas em áreas legalmente protegidas do bioma Cerrado (1999/2018). **Revista Ateliê Geográfico**, v. 16, n. 2, Aug. 2022. 78, 80

RODRIGUES, C. A.; ZIRONDI, H. L.; FIDELIS, A. Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118850, Feb. 2021. 16

RODRIGUES, J. A.; LIBONATI, R.; PEREIRA, A. A.; NOGUEIRA, J. M.; SANTOS, F. L.; PERES, L. F.; ROSA, A. S.; SCHROEDER, W.; PEREIRA, J. M.; GIGLIO, L.; TRIGO, I. F.; SETZER, A. W. How well do global burned area products represent fire patterns in the Brazilian Savannas biome? an accuracy assessment of the MCD64 collections. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 78, p. 318–331, June 2019. 89

RODRIGUES, M. F.; ROCHA, F. E. C.; CORTE, J. L. D.; SALVIATI, M. E.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Aspectos Motivacionais para o uso do fogo na agricultura no Distrito Federal e entorno**. [S.l.]: Embrapa Cerrados, 2016. 108 p. 17

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; ORDÓÑEZ, C.; ROCA-PARDIÑAS, J.; VECÍN-ARIAS, D.; CASTEDO-DORADO, F. Evaluating lightning-caused fire occurrence using spatial generalized additive models: a case study in central Spain. **Risk Analysis**, v. 40, n. 7, p. 1418–1437, July 2020. 30

RORATO, A. C.; PICOLI, M. C.; VERSTEGEN, J. A.; CAMARA, G.; BEZERRA, F. G. S.; ESCADA, M. I. S. Environmental threats over Amazonian indigenous lands. **Land**, v. 10, n. 3, p. 267, Mar. 2021. 79

ROSAN, T. M.; SITCH, S.; MERCADO, L. M.; HEINRICH, V.; FRIEDLINGSTEIN, P.; ARAGÃO, L. E. Fragmentation-driven divergent trends in burned area in Amazonia and Cerrado. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, p. 801408, Feb. 2022. 76

ROSSI, F. S.; SANTOS, G. A. d. A. Fire dynamics in Mato Grosso state, Brazil: the relative roles of gross primary productivity. **Big Earth Data**, v. 4, n. 1, p. 23–44, Jan. 2020. 89

RUBÍ, J.; GONDIM, P. R. A performance comparison of machine learning models for wildfire occurrence risk prediction in the Brazilian Federal District region. **Environment Systems and Decisions**, p. 1–18, Aug. 2023. 29

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83–98, 2008. 155, 157, 158

SANT'ANNA, C. d. M.; PEREIRA, J.; BORÉM, R. **Prevenção e combate a incêndios florestais**. [S.l.]: UFLA/FAEPE, 2001. 88 p. 9

SANTOS, A. C. D.; MONTENEGRO, S. da R.; FERREIRA, M. C.; BARRADAS, A. C. S.; SCHMIDT, I. B. Managing fires in a changing world: fuel and weather determine fire behavior and safety in the neotropical savannas. **Journal of Environmental Management**, v. 289, p. 112508, July 2021. 15, 16, 26, 110

SANTOS, E. E. d.; SENA, N. C.; BALESTRIN, D.; FERNANDES, E. I.; COSTA, L. M. d.; ZEFERINO, L. B. Prediction of burned areas using the random forest classifier in the Minas Gerais state. **Floresta e Ambiente**, v. 27, Aug. 2020. 24, 42, 81

SANTOS, F. L.; NOGUEIRA, J.; SOUZA, R. A. d.; FALLEIRO, R. M.; SCHMIDT, I. B.; LIBONATI, R. Prescribed burning reduces large, high-intensity wildfires and emissions in the Brazilian savanna. **Fire**, v. 4, n. 3, p. 56, Sept. 2021. 79

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. D.; OLIVEIRA, V. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. D.; ARAUJO FILHO, J. de; OLIVEIRA, J. D.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. [S.l.]: Embrapa, 2018. 356 p. 32, 33

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: recent changes, policy and management. **Flora**, v. 268, p. 1–5, July 2020. 2, 15, 76, 80, 86, 110, 113, 115, 130, 168

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY, L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: first steps and the way forward. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094–2101, Feb. 2018. 80, 113, 153

SCHMIDT, I. B.; SAMPAIO, M. B.; FIGUEIREDO, I. B.; TICKTIN, T. Fogo e artesanato de capim-dourado no Jalapão—usos tradicionais e consequências ecológicas. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 67–85, Dez. 2011. 150

SCHNEIDER, M.; PERES, C. A. Environmental costs of government-sponsored agrarian settlements in Brazilian Amazonia. **PloS One**, v. 10, n. 8, p. e0134016, Aug. 2015. 3, 85, 86, 109, 110, 112, 116, 126, 129, 130, 151

SHEN, H.; TAO, S.; CHEN, Y.; ODMAN, M. T.; ZOU, Y.; HUANG, Y.; CHEN, H.; ZHONG, Q.; ZHANG, Y.; CHEN, Y.; SU, S.; LIN, N.; ZHUO, S.; LI, B.; WANG, X.; LIU, W.; LIU, J.; PAVUR, G. K.; RUSSELL, A. G. Global fire forecasts using both large-scale climate indices and local meteorological parameters. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 33, n. 8, p. 1129–1145, Aug. 2019. 43

SILVA, C. F.; ALVARADO, S. T.; SANTOS, A. M.; ANDRADE, M. O.; MELO, S. N. Highway network and fire occurrence in Amazonian indigenous lands. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9167, July 2022. 28

SILVA, M. P. dos S.; CAMARA, G.; ESCADA, M. I. S.; SOUZA, R. C. M. D. Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 16, p. 4803–4822, May 2008. 138

SILVA, P.; RODRIGUES, J.; SANTOS, F.; PEREIRA, A.; NOGUEIRA, J.; DACAMARA, C.; LIBONATI, R. Drivers of burned area patterns in Cerrado: the case of Matopiba Region. In: IEEE LATIN AMERICAN GRSS AND ISPRS REMOTE SENSING CONFERENCE, 2020. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2020. p. 542–547. 2, 25, 34, 82, 86, 87, 89, 115, 130, 167

SILVA, P. S.; BASTOS, A.; LIBONATI, R.; RODRIGUES, J. A.; DACAMARA, C. C. Impacts of the 1.5° C global warming target on future burned area in the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 446, p. 193–203, May 2019. 87, 110, 127, 153

SILVA, P. S.; NOGUEIRA, J.; RODRIGUES, J. A.; SANTOS, F. L.; PEREIRA, J. M.; DACAMARA, C. C.; DALDEGAN, G. A.; PEREIRA, A. A.; PERES, L. F.; SCHMIDT, I. B.; LIBONATI, R. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions. **Journal of Environmental Management**, v. 296, p. 113098, 2021. 34, 90, 91, 101, 112, 114, 149, 171

SILVA, S. S. D.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; BROWN, I. F.; ALENCAR, A.; MELO, A. W. F. D. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 424, p. 312–322, Sept. 2018. 85, 86

SILVA, S. S. D.; OLIVEIRA, I.; MORELLO, T. F.; ANDERSON, L. O.; KARLOKOSKI, A.; BRANDO, P. M.; MELO, A. W. F. D.; COSTA, J. G. D.; SOUZA, F. S. C. D.; SILVA, I. S. D.; NASCIMENTO, E. D. S.; PEREIRA, M. P.; ALMEIDA, M. R. N. D.; ALENCAR, A.; ARAGÃO, L. E. O. E. C. D.; BROWN, I. F.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; FEARNSIDE, P. M. Burning in southwestern Brazilian Amazonia, 2016–2019. **Journal of Environmental Management**, v. 286, p. 112189, May 2021. 3, 85, 86, 129, 130

SILVA, S. S. da; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. de A.; BROWN, I. F.; ALENCAR, A.; MELO, A. W. F. de. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 424, p. 312–322, May 2018. 3, 109, 110

SIMÃO, G. L.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, E. A. Programa bolsa verde do governo federal: contexto e desempenho. **Revista de Política Agrícola**, v. 22, n. 4, p. 84–94, 2013. 152

SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P. de; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHESA, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, Dec. 2009. 2, 14

SIMON, M. F.; PENNINGTON, T. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, v. 173, n. 6, p. 711–723, Jul./Aug. 2012. 2, 14

SOARES, J. A. P.; PEIXINHO, D. M. Fogo no cerrado e a vulnerabilidade em assentamentos rurais. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, v. 15, n. 37, p. 87–108, Ago. 2020. 1, 86, 129

SOUZA, A. A.; GALVÃO, L. S.; KORTING, T. S.; PRIETO, J. D. Dynamics of savanna clearing and land degradation in the newest agricultural frontier in Brazil. **GIScience & Remote Sensing**, v. 57, n. 7, p. 965–984, Oct. 2020. 18, 19, 34

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W.; OLIVEIRA, S. W. d.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, B., E.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, Aug. 2020. 110

SPECHT, M. J.; PINTO, S. R. R.; ALBUQUERQUE, U. P.; TABARELLI, M.; MELO, F. P. Burning biodiversity: fuelwood harvesting causes forest degradation in human-dominated tropical landscapes. **Global Ecology and Conservation**, v. 3, p. 200–209, Jan. 2015. ISSN 23519894. Disponível em: <<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351989414000894>>>. 85

SUNGMIN, O.; XINYUAN, H.; RENE, O. Observational evidence of wildfire-promoting soil moisture anomalies. **Scientific Reports**, v. 10, 12 2020. 126

VALERIANO, M. de M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. 2008. Disponível em: <<<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>>. Acesso em: 17 ago. 2021. 43

VEIGA, R. M. da; NIKOLAKIS, W. Fire management and carbon programs: a systematic literature review and case study analysis. **Society & Natural Resources**, v. 35, n. 8, p. 896–913, Mar. 2022. 80

VÁZQUEZ-VARELA, C.; MARTÍNEZ-NAVARRO, J. M.; ABAD-GONZÁLEZ, L. Traditional fire knowledge: a thematic synthesis approach. **Fire**, v. 5, p. 47, Apr. 2022. 3

WOOD, S. N. **Generalized additive models: an introduction with R**. [S.l.]: CRC Press, 2006. 49, 121

YANAI, A. M.; GRAÇA, P. M. L. de A.; ESCADA, M. I. S.; ZICCARDI, L. G.; FEARNSIDE, P. M. Deforestation dynamics in Brazil's Amazonian settlements: effects of land-tenure concentration. **Journal of Environmental Management**, v. 268, Aug. 2020. 85, 130, 148, 149

YANAI, A. M.; NOGUEIRA, E. M.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; FEARNSIDE, P. M. Deforestation and carbon stock loss in Brazil's Amazonian settlements. **Environmental Management**, v. 59, n. 3, p. 393–409, Mar. 2017. ISSN 0364-152X, 1432-1009. Disponível em: <<<http://link.springer.com/10.1007/s00267-016-0783-2>>>. 85

YE, T.; WANG, Y.; GUO, Z.; LI, Y. Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in East China. **PloS One**, v. 12, n. 2, Feb. 2017. 30



## APÊNDICE A: INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO 4

### A.1 Dependência espacial

A distribuição espacial dos pontos que representam as células com queimadas foi analisada de modo a identificar se há dependência espacial. Para isso, estima-se o relacionamento entre pares de eventos (por unidade de área) no espaço através da função L (Equação A.1) para verificar se os pontos de focos de queimadas estão distribuídos de forma aleatória, regular ou em aglomerados (CÂMARA; CARVALHO, 2004). A função L consiste em uma transformação da função K (Equação A.2) para facilitar a interpretação.

$$\hat{L}(h) = \sqrt{\frac{\hat{K}(h)}{\pi}} - h \quad (\text{A.1})$$

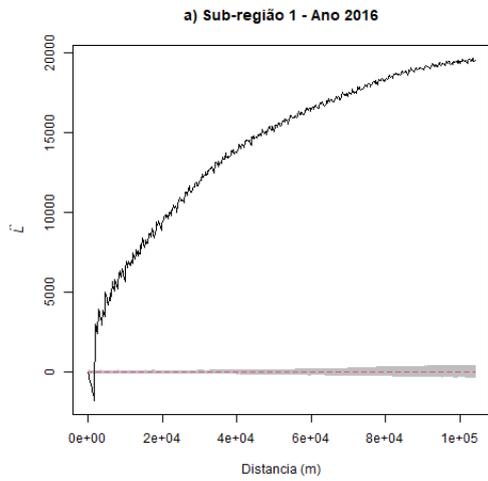
$$\hat{K}(h) = \frac{R}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_h(d_{ij}) \quad (\text{A.2})$$

Onde,  $\hat{K}(h)$  = função K, R = área da janela de estudo, n = número de pontos, h = distância e  $I_h(d_{ij}) = 1$  se  $(d_{ij}) \leq h$  ou  $I_h(d_{ij}) = 0$  se  $(d_{ij}) > h$ .

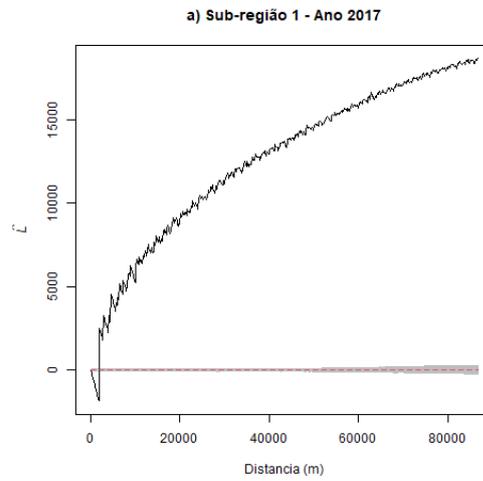
Se  $\hat{L}(h)$  for maior que zero, há agregação espacial.

Conforme os gráficos apresentados na Figura A.1, na Figura A.1, na Figura A.1 e na Figura A.1, os valores estão acima de zero, dessa forma, a localização geográfica foi considerada como variável potencial explicativa.

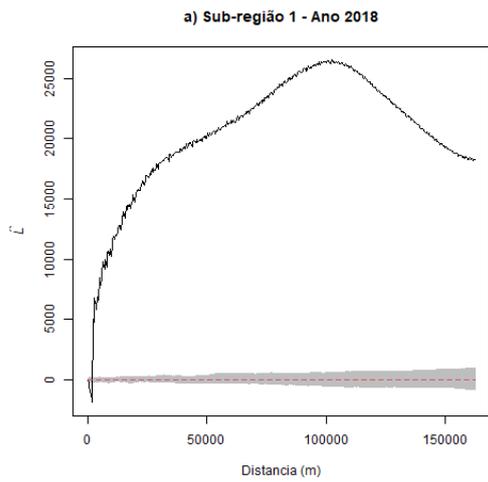
Figura A.1 - Gráficos da função L da sub-região 1 para cada ano do período de 2016 a 2020.



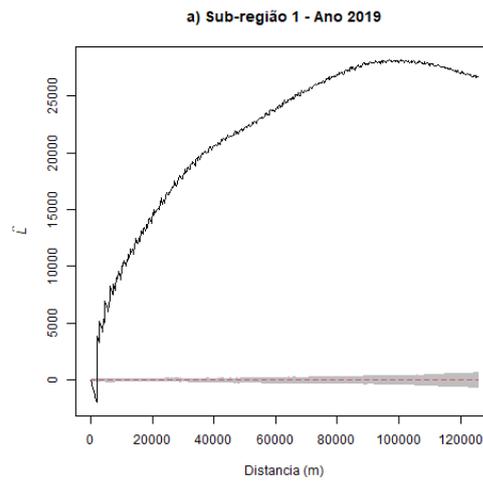
(a) Sub-região 1 - ano 2016.



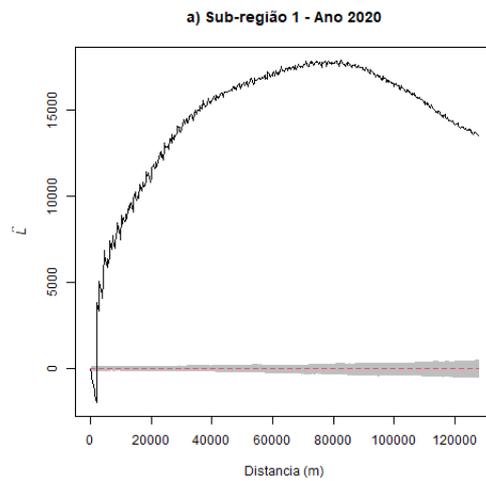
(b) Sub-região 1 - ano 2017.



(c) Sub-região 1 - ano 2018.

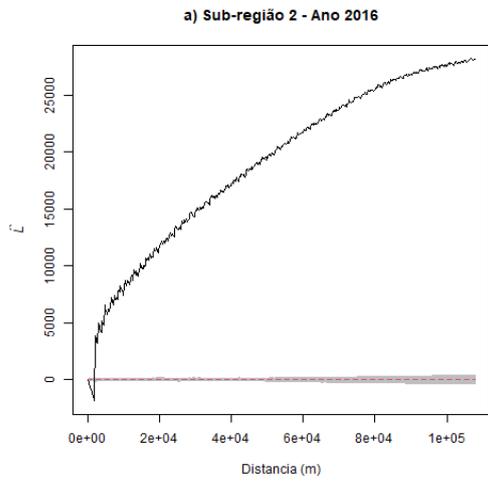


(d) Sub-região 1 - ano 2019.

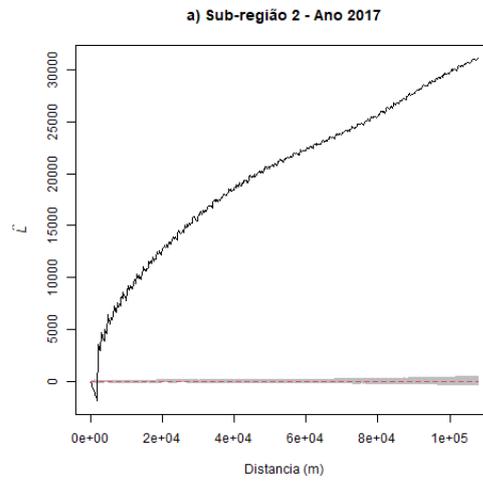


(e) Sub-região 1 - ano 2020.

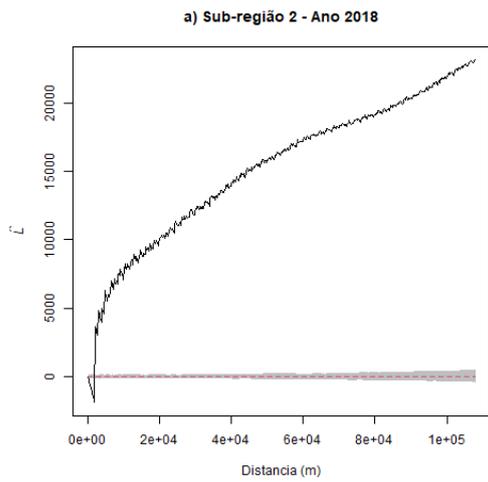
Figura A.2 - Gráficos da função L da sub-região 2 para cada ano do período de 2016 a 2020.



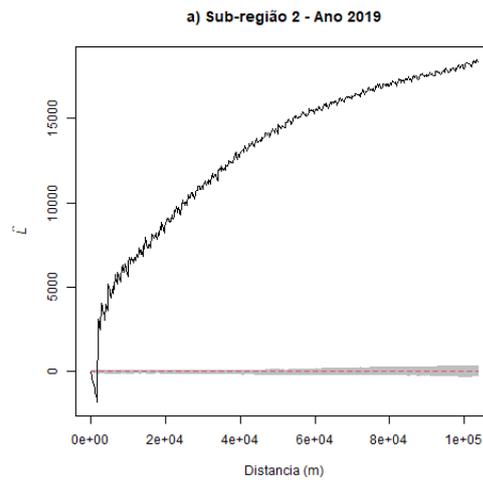
(a) Sub-região 2 - ano 2016.



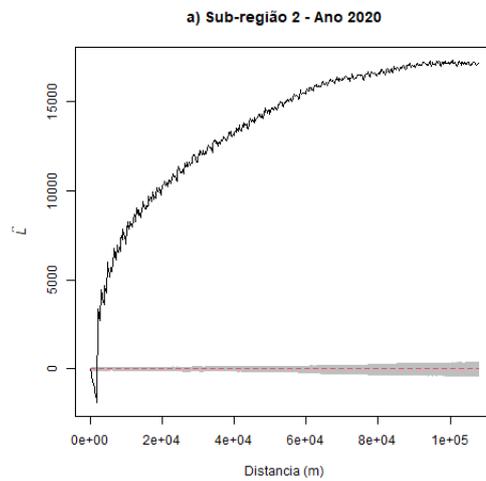
(b) Sub-região 2 - ano 2017.



(c) Sub-região 2 - ano 2018.

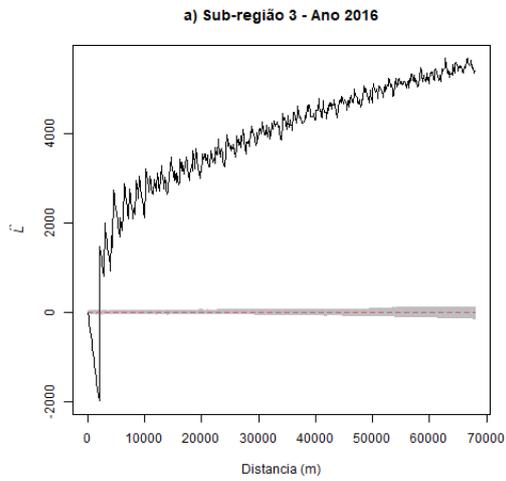


(d) Sub-região 2 - ano 2019.

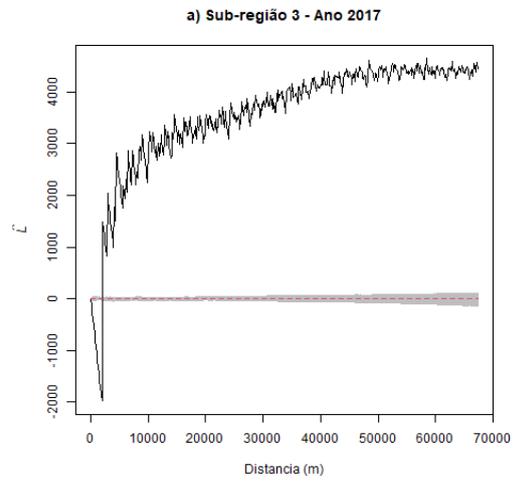


(e) Sub-região 2 - ano 2020.

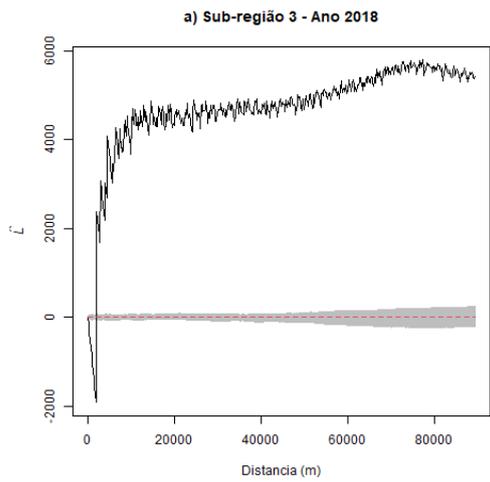
Figura A.3 - Gráficos da função L da sub-região 3 para cada ano do período de 2016 a 2020.



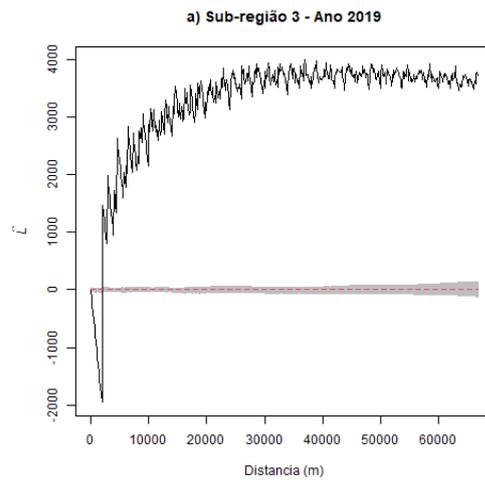
(a) Sub-região 3 - ano 2016.



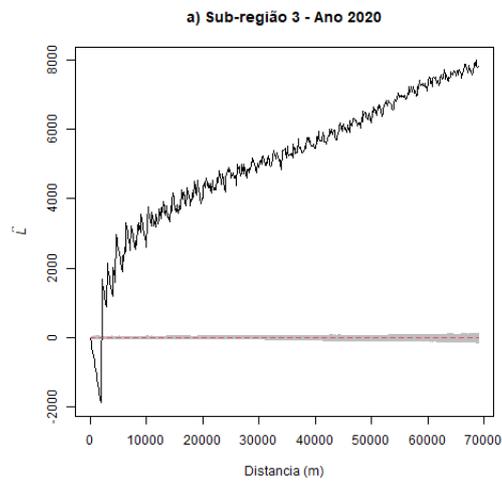
(b) Sub-região 3 - ano 2017.



(c) Sub-região 3 - ano 2018.

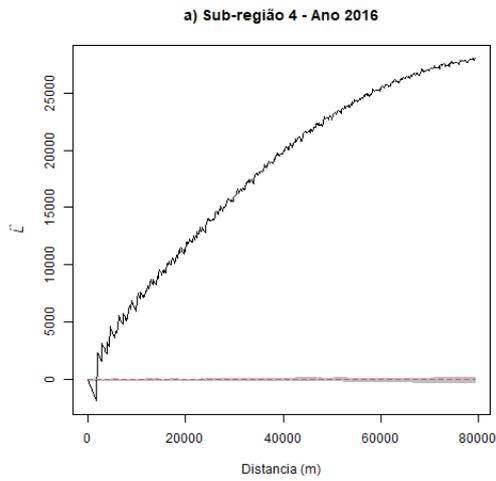


(d) Sub-região 3 - ano 2019.

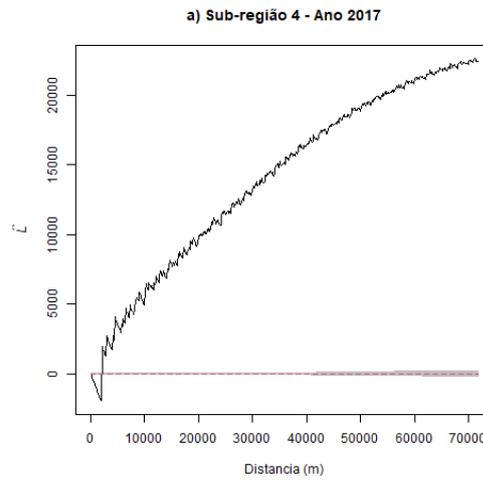


(e) Sub-região 3 - ano 2020.

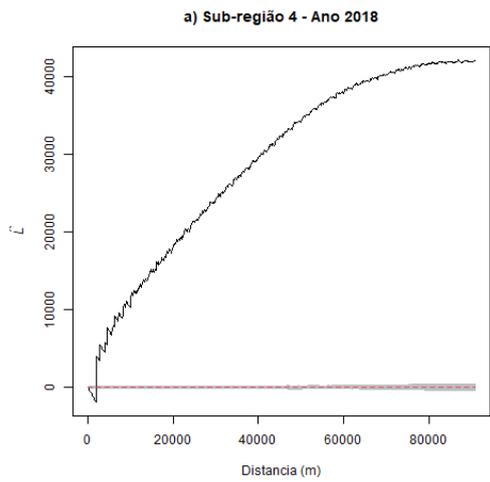
Figura A.4 - Gráficos da função L da sub-região 4 para cada ano do período de 2016 a 2020.



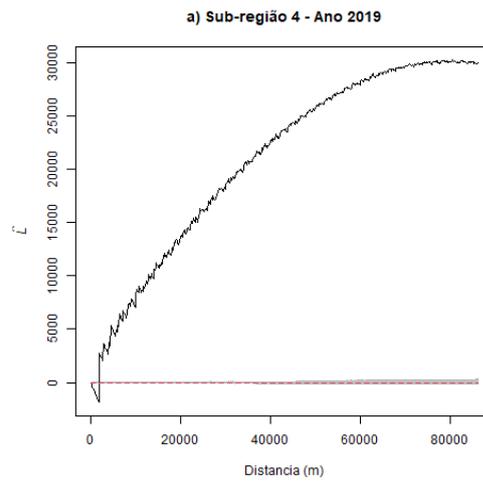
(a) Sub-região 4 - ano 2016.



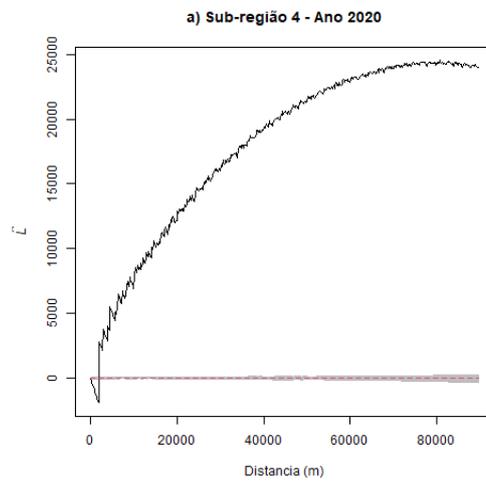
(b) Sub-região 4 - ano 2017.



(c) Sub-região 4 - ano 2018.



(d) Sub-região 4 - ano 2019.



(e) Sub-região 4 - ano 2020.

## A.2 Odds ratio

Tabela A.1 - Odds ratio das variáveis antropogênicas e intervalo de confiança (97,5%).

Variável	Sub-região	Ano	odds ratio	Intervalo de confiança
a) AG	3	2016	0,29	[ 0,25 - 0,32 ]
		2017	0,16	[ 0,14 - 0,18 ]
		2018	0,13	[ 0,11 - 0,15 ]
		2019	0,19	[ 0,17 - 0,22 ]
		2020	0,16	[ 0,14 - 0,18 ]
	4	2016	3,57	[ 3,29 - 3,88 ]
		2017	1,7	[ 1,57 - 1,84 ]
		2018	2,92	[ 2,57 - 3,31 ]
		2019	2,7	[ 2,17 - 3,35 ]
		2020	0,5	[ 0,3 - 0,83 ]
b) PT	2	2017	1,11	[ 0,19 - 6,49 ]
		2018	0,12	[ 0,09 - 0,17 ]
		2019	0,1	[ 0,01 - 1,08 ]
		2020	0,47	[ 0,22 - 1,01 ]
c) AD	1	2016	54,99	[ 1,46 - 2067,33 ]
		2017	71,35	[ 1,11 - 4606,39 ]
		2018	53,62	[ 7,2 - 399,46 ]
		2019	34	[ 12,46 - 92,79 ]
		2020	6,71	[ 0,96 - 47,13 ]
	2	2017	1,14	[ 0,58 - 2,2 ]
		2019	2,49	[ 1,57 - 3,95 ]
		2020	6,43	[ 5,44 - 7,6 ]
	3	2016	2,75	[ 0,35 - 21,86 ]
		2017	8,27	[ 0,9 - 75,69 ]
		2019	1,53	[ 0,35 - 6,64 ]
		2020	0,58	[ 0,15 - 2,3 ]
	4	2016	0,01	[ 0 - 17,84 ]
1	2016	0,72	[ 0,71 - 0,73 ]	
	2017	0,87	[ 0,86 - 0,88 ]	
	2018	1,27	[ 1,25 - 1,29 ]	
	2019	1,06	[ 1,04 - 1,08 ]	

Continua

Tabela A.1 - Continuação.

Variável	Sub-região	Ano	<i>odds ratio</i>	Intervalo de confiança
		2020	1,05	[ 1,05 - 1,05 ]
		2016	1,57	[ 1,55 - 1,59 ]
		2017	1,68	[ 1,65 - 1,7 ]
	2	2018	1,42	[ 1,4 - 1,43 ]
		2019	1,21	[ 1,19 - 1,23 ]
		2020	1,29	[ 1,28 - 1,3 ]
		2016	1,17	[ 1,16 - 1,18 ]
		2017	0,86	[ 0,85 - 0,87 ]
	3	2018	1,12	[ 1,11 - 1,13 ]
		2019	0,94	[ 0,93 - 0,95 ]
		2020	0,97	[ 0,96 - 0,98 ]
		2016	0,74	[ 0,72 - 0,77 ]
		2017	1,4	[ 1,37 - 1,44 ]
	1	2018	0,51	[ 0,47 - 0,55 ]
		2019	1,27	[ 1,22 - 1,33 ]
		2016	1,98	[ 1,87 - 2,1 ]
e) PA		2017	1,47	[ 1,38 - 1,56 ]
	2	2018	1,41	[ 1,32 - 1,51 ]
		2019	1,24	[ 1,16 - 1,33 ]
		2016	0,78	[ 0,74 - 0,83 ]
	4	2020	1,33	[ 1,27 - 1,38 ]
f) QT	1	2017	0,11	[ 0,02 - 0,57 ]
	3	2017	2,15	[ 1,78 - 2,59 ]
		2016	6,18	[ 6,01 - 6,36 ]
		2017	8,79	[ 8,35 - 9,24 ]
	1	2018	5,23	[ 4,98 - 5,49 ]
		2019	3,7	[ 3,5 - 3,91 ]
		2020	6,15	[ 6 - 6,32 ]
g) TI	2	2019	18	[ 1,57 - 206,62 ]
		2016	4,73	[ 3,89 - 5,75 ]
		2017	16,75	[ 11,85 - 23,67 ]
	3	2019	11,36	[ 9,32 - 13,86 ]

Continua

Tabela A.1 - Continuação.

Variável	Sub-região	Ano	<i>odds ratio</i>	Intervalo de confiança
		2020	5,74	[ 4,7 - 7,02 ]
h) UC	2	2016	0,86	[ 0,85 - 0,88 ]
		2017	1,57	[ 1,56 - 1,58 ]
		2018	1,28	[ 1,25 - 1,3 ]
		2019	1,32	[ 1,29 - 1,34 ]
		2020	1,23	[ 1,22 - 1,25 ]
i) ES	1	2016	0,91	[ 0,34 - 2,43 ]
		2017	0,98	[ 0,35 - 2,76 ]
		2018	4,34	[ 1,62 - 11,62 ]
		2019	2,59	[ 1,08 - 6,22 ]
		2020	0,62	[ 0,32 - 1,2 ]
	2	2016	3,54	[ 1,84 - 6,81 ]
		2017	4,03	[ 2,16 - 7,52 ]
		2018	7,29	[ 5,79 - 9,18 ]
		2019	7,55	[ 2,29 - 24,85 ]
		2020	7,81	[ 6,58 - 9,28 ]
3	2016	1,87	[ 1,71 - 2,04 ]	
	2017	1,52	[ 0,95 - 2,45 ]	
	2018	0,31	[ 0,17 - 0,56 ]	
	2019	1,65	[ 0,91 - 3 ]	
	2020	1,43	[ 0,82 - 2,51 ]	
j) PV	1	2016	1,36	[ 0,36 - 5,16 ]
		2017	1,04	[ 0,48 - 2,23 ]
		2018	0,42	[ 0,14 - 1,32 ]
		2019	0,39	[ 0,16 - 0,95 ]
		2020	0,47	[ 0,2 - 1,11 ]
	3	2016	1,21	[ 0,81 - 1,8 ]
		2017	0,39	[ 0,22 - 0,7 ]
		2018	0,46	[ 0,31 - 0,69 ]
		2019	1,21	[ 0,94 - 1,56 ]
		2020	0,46	[ 0,32 - 0,66 ]
		2016	1,51	[ 1,13 - 2,02 ]

Continua

Tabela A.1 - Continuação.

Variável	Sub-região	Ano	<i>odds ratio</i>	Intervalo de confiança
		2017	6,45	[ 2,8 - 14,87 ]
		2018	13,95	[ 8,64 - 22,51 ]
		2019	1,06	[ 0,72 - 1,56 ]
		2020	1,61	[ 1,13 - 2,29 ]

Tabela A.2 - *Odds ratio* das variáveis ambientais e intervalo de confiança (97,5%).

Variável	Sub-região	Ano	<i>odds ratio</i>	Intervalo de confiança
a) FF	1	2016	0,43	[ 0,42 - 0,43 ]
		2017	0,28	[ 0,27 - 0,28 ]
		2018	0,17	[ 0,17 - 0,17 ]
		2019	0,17	[ 0,17 - 0,18 ]
		2020	0,15	[ 0,15 - 0,16 ]
	2	2016	0,26	[ 0,21 - 0,33 ]
		2017	1,71	[ 1,3 - 2,26 ]
		2018	0,56	[ 0,43 - 0,74 ]
		2020	0,23	[ 0,19 - 0,27 ]
	3	2016	0,09	[ 0,02 - 0,34 ]
		2017	0,36	[ 0,21 - 0,63 ]
		2018	0,33	[ 0,06 - 1,79 ]
		2019	0,14	[ 0,04 - 0,51 ]
		2020	0,27	[ 0,07 - 1 ]
	4	2016	0,03	[ 0,02 - 0,03 ]
		2017	0,07	[ 0,06 - 0,08 ]
		2018	0,00	[ 0 - 0,01 ]
		2019	0,09	[ 0,07 - 0,1 ]
		2020	0,10	[ 0,09 - 0,12 ]
	b) FS	2	2016	1,35
2017			2,13	[ 2,07 - 2,18 ]
2018			1,38	[ 1,35 - 1,41 ]
2019			2,96	[ 2,89 - 3,04 ]
2020			1,38	[ 1,36 - 1,4 ]
3		2016	1,13	[ 1,1 - 1,16 ]
		2017	1,04	[ 1,01 - 1,06 ]
		2018	0,55	[ 0,54 - 0,55 ]
		2019	0,94	[ 0,92 - 0,95 ]
		2020	1,07	[ 1,05 - 1,09 ]
4		2016	2,13	[ 2,05 - 2,22 ]
		2017	2,27	[ 2,14 - 2,41 ]
		2018	0,77	[ 0,75 - 0,8 ]

Continua

Tabela A.2 - Continuação.

Variável	Sub-região	Ano	<i>odds ratio</i>	Intervalo de confiança	
c) FC		2019	0,76	[ 0,71 - 0,8 ]	
		2020	1,08	[ 1,01 - 1,14 ]	
	1	2016	1,36	[ 1,16 - 1,59 ]	
		2017	2,62	[ 2,24 - 3,07 ]	
		2019	1,69	[ 1,38 - 2,07 ]	
		2020	1,68	[ 1,44 - 1,96 ]	
		2	2016	1,73	[ 1,59 - 1,88 ]
			2017	2,11	[ 1,94 - 2,3 ]
	2018		2,43	[ 2,14 - 2,75 ]	
	2019		2,36	[ 2,11 - 2,63 ]	
	4	2016	7,48	[ 6,66 - 8,39 ]	
		2017	2,58	[ 1,2 - 5,54 ]	
		2018	0,42	[ 0,16 - 1,1 ]	
		2019	4,1	[ 3,09 - 5,45 ]	
		2020	1,09	[ 0,57 - 2,11 ]	
		d) CA	1	2017	0,00
2019	0,00			[ 0,00 - 0,22 ]	
2	2016		7,23	[ 4,81 - 10,86 ]	
	2017		16,54	[ 7,19 - 38,01 ]	
	2019		7,03	[ 4,77 - 10,35 ]	
	2020		1,94	[ 0,31 - 12,09 ]	
3	2017		208,54	[ 1,19 - 36592,35 ]	
	2019		3,72	[ 2,43 - 5,7 ]	
	2020		0,81	[ 0,13 - 4,98 ]	
	e) DC		1	2016	1,28
2017		0,77		[ 0,21 - 2,82 ]	
2019		0,21		[ 0,05 - 0,92 ]	
2020		9,17		[ 3,05 - 27,61 ]	
2		2016	3,91	[ 3,58 - 4,27 ]	
		2017	0,37	[ 0 - 173,19 ]	
	2018	4,06	[ 0,45 - 36,57 ]		
		2019	2,02	[ 1,84 - 2,22 ]	
		2020	0,46	[ 0 - 321,79 ]	

Continua

Tabela A.2 - Continuação.

Variável	Sub-região	Ano	<i>odds ratio</i>	Intervalo de confiança
		2016	7,99	[ 7,24 - 8,82 ]
		2017	6,67	[ 3,98 - 11,19 ]
	3	2018	3,14	[ 1,61 - 6,1 ]
		2019	13,67	[ 12,61 - 14,82 ]
		2020	3,7	[ 2,81 - 4,87 ]
f) DP	1	2018	0,3	[ 0,24 - 0,39 ]
	2	2019	3,3	[ 1,77 - 6,16 ]

## APÊNDICE B: INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO 6

Figura B.1 - Classificação das fases dos projetos de assentamento.

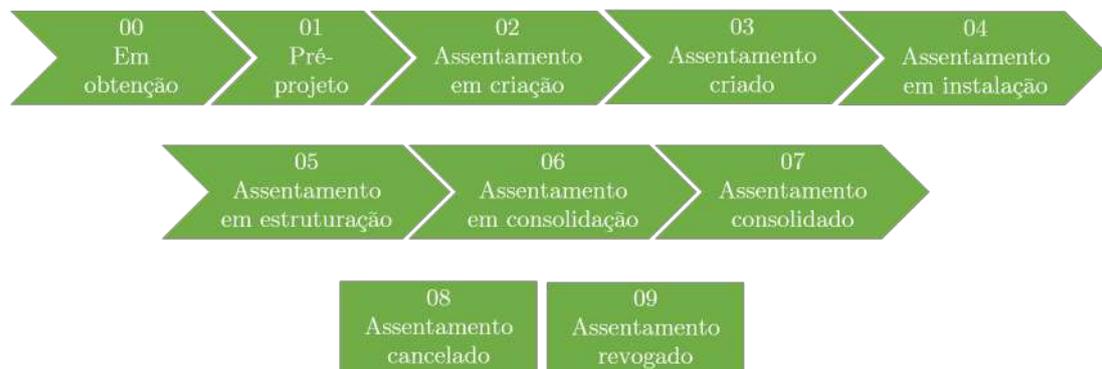
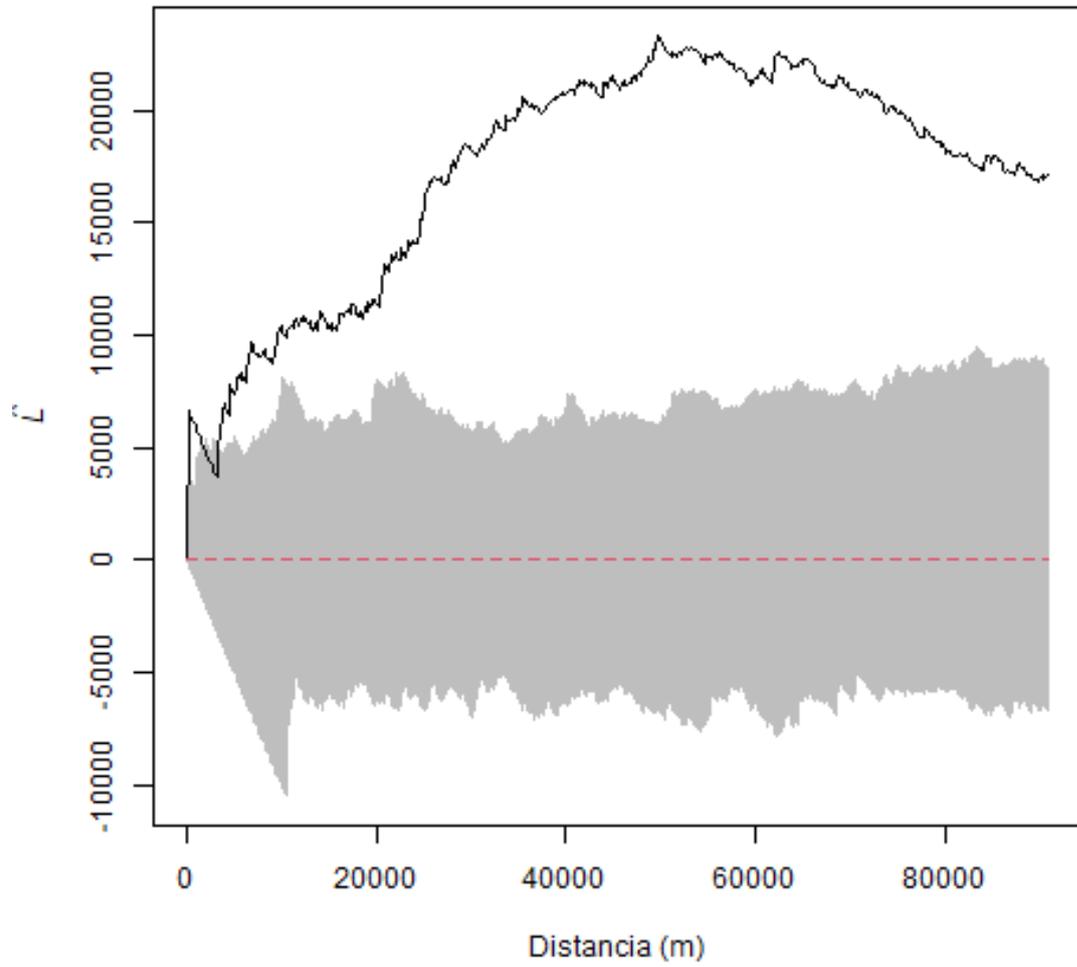


Figura B.2 - Gráfico da função L.



## APÊNDICE C: INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO

7

Tabela C.1 - Feições baseadas na área do lote utilizadas na árvore de decisão.

Sigla	Descrição	Fórmula	Faixa	Unid.
CA	CA ( <i>class area</i> ) significa a soma das áreas de uma determinada classe em um lote. $a = \text{área}$ .	$\sum_{j=1}^n a_j$	$\geq 0$	ha
PLAND	PLAND é a soma das áreas (em $m^2$ ) de todos os polígonos de determinada classe em determinado lote, dividida pela área total do lote ( $m^2$ ).	$\frac{\sum_{j=1}^n a_j}{A} \times 100$	[0, 100]	%
PSSD	PSSD ( <i>Patch Size Standard Deviation</i> ) é a raiz do erro quadrático médio (desvio da média) no tamanho do polígono. Este é o desvio padrão da população, não o desvio padrão da amostra.	$\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_j - MPS)^2}{n}} 10^{-4}$ $MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_j}{n} 10^{-4}$	$\geq 0$	ha
MSI	MSI ( <i>Mean Shape Index</i> ) é a soma do perímetro do polígono ( $m$ ) dividido pelo dobro da raiz quadrada da área do polígono ( $m^2$ ) multiplicada por $\pi$ , dividido pelo número de polígonos da mesma classe.	$\frac{\sum_{j=1}^n \frac{p_j}{2 \times \sqrt{\pi \times a_j}}}{n}$	$\geq 1$	—

Continua

Tabela C.1 - Continuação.

Sigla	Descrição	Fórmula	Faixa	Unid.
AWMSI	AWMSI ( <i>Area-Weighted MSI</i> ) é igual à soma do limite do lote e todos os segmentos de borda (m) no limite. Essa soma envolve a classe correspondente (incluindo bordas), dividido pelo dobro da raiz quadrada da área total do lote ( $m^2$ ) multiplicada por $\pi$ . Este primeiro termo é multiplicado pela área do polígono correspondente, dividida pela soma das áreas de todos os polígonos de mesmo classe.	$\sum_{j=1}^n \left[ \frac{p_j}{\sqrt{\pi \times a_j}} \times \frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_j} \right] \geq 0$	$\geq 0$	—
MPFD	MPFD é a dimensão fractal do polígono médio.	$\frac{\sum_{j=1}^n \frac{2 \times \ln p_j}{\ln a_j}}{n}$	—	—
AWMPFD	AWMPFD é a dimensão fractal do polígono médio ponderado pela área.	$\sum_{j=1}^n \left[ \frac{2 \times \ln p_j}{\ln a_j} \times \frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right]$	—	—
ED	ED ( <i>Edge Density</i> ) é igual à soma dos comprimentos (m) de todos os segmentos de borda envolvendo a classe correspondente, dividida pela área total do lote ( $m^2$ ).	$\frac{\sum_{j=1}^m e_j}{A} 10^4$	$\geq 0$	$\frac{m}{ha}$
PSCOV	PSCOV ( <i>Patch Size Coefficient of Variation</i> ) é razão entre PSSD e MPS.	$\frac{PSSD}{MPS} \times 100$	$\geq 0$	—
NP	NP é o número de polígonos de determinada classe em um determinado lote.	$n$	$\geq 0$	—
TE	TE é igual ao tamanho total das bordas de todos os polígonos de uma determinada classe.	$\sum_{j=0}^n e_j$	$\geq 0$	—
TABO	TABO é a área total do maior polígono que intercepta o lote.	—	—	—

Continua

Tabela C.1 - Continuação.

Sigla	Descrição	Fórmula	Faixa	Unid.
BIA	BIA é a maior área de intersecção entre determinado polígono e o lote.	—	—	—
TAOBIA	TAOBIA é área total do polígono de maior área de intersecção com determinado lote.	—	—	—
PRD	PRD ( <i>Patch Richness Density</i> ) é igual ao número de diferentes tipos de polígonos presentes no lote dividido pela área total do lote ( $m^2$ ), multiplicado por 10.000 e 100 (para converter para 100 hectares). Observe que a área total do lote (A) inclui qualquer fundo interno presente.	$\frac{m}{A} \times 10000 \times 100$	—	—
SHDI	SHDI é o Índice de Diversidade de Shannon, que é igual a menos a soma, em todas as classes, da abundância proporcional de cada classe multiplicada por essa proporção. Observe que $p_i$ , o qual é a proporção do lote ocupado pela classe, é baseado na área total do lote (A), excluindo qualquer fundo interno presente.	$-\sum_{i=0}^m p_i \times \ln p_i$	$\geq 0$	—
SIDI	SIDI é o Índice de Diversidade de Simpson, que é igual a 1 menos a soma, em todas as classes, da abundância proporcional de cada classe ao quadrado. Observe que $p_i$ , o qual é a proporção do lote ocupado pela classe $i$ , é baseado na área total do lote (A), excluindo qualquer fundo interno presente.	$1 - \sum_{i=0}^m p_i^2$	$0 \leq SIDI \leq 1$	—

GeoDMA. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2011. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/geodma>>. Acessado em 26/07/2023).

Fonte: INPE (2011).

Tabela C.2 - Matriz de confusão entre amostras de treinamento e amostras de teste utilizadas para classificação de ocupação de lotes em projetos de assentamentos de reforma agrária.

	Avaliação de amostra de treinamento (n = 2389)				Avaliação de amostra de teste (n = 1316)			
	Erro = 22 (0,9%)				Erro = 20 (1,5%)			
	NoO	SmO	GmO	ToT	NoO	SmO	GmO	ToT
NoO	481	2			269	1		
SmO	8	1166	3		7	621	4	
GmO		4	465	1		6	252	
ToT		1	3	255			2	154

Figura C.1 - Árvore de decisão.

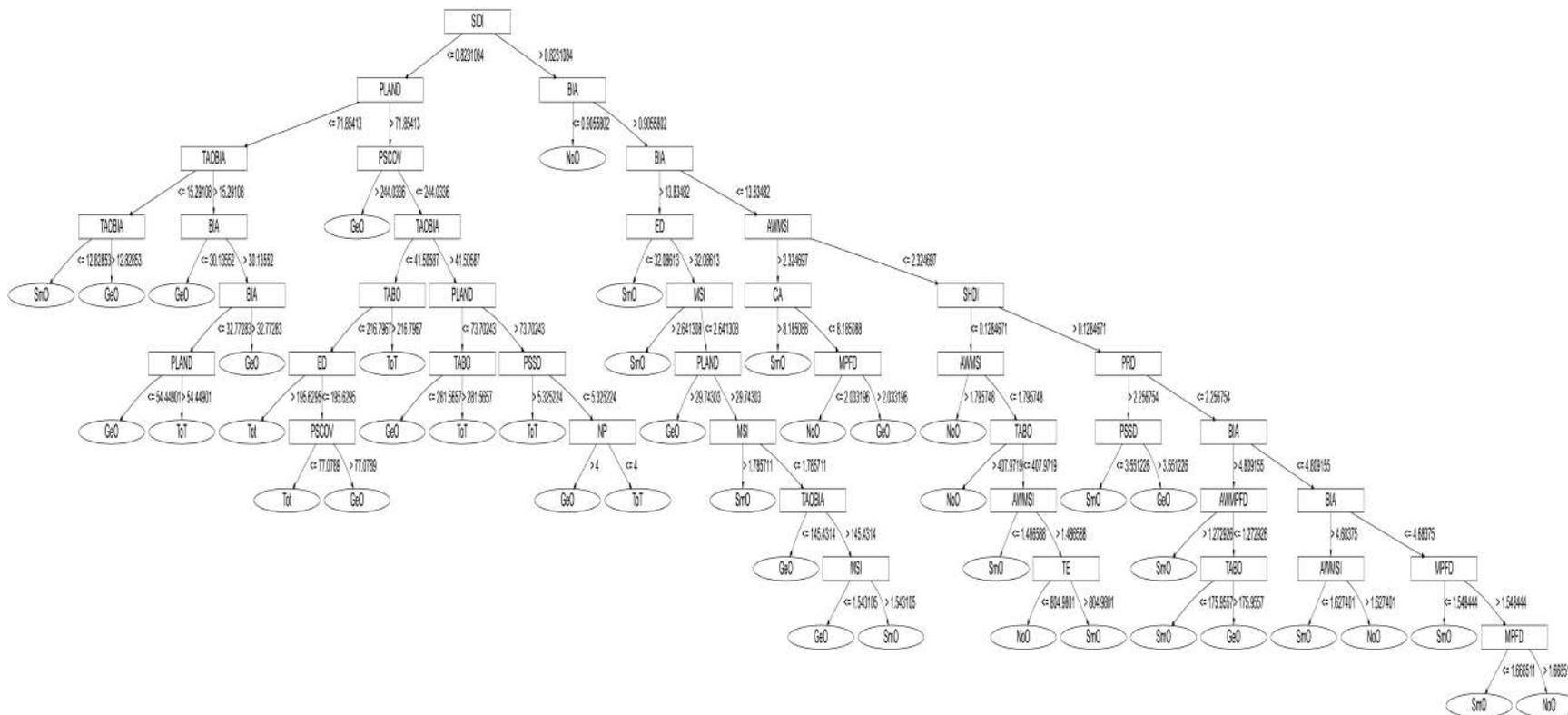
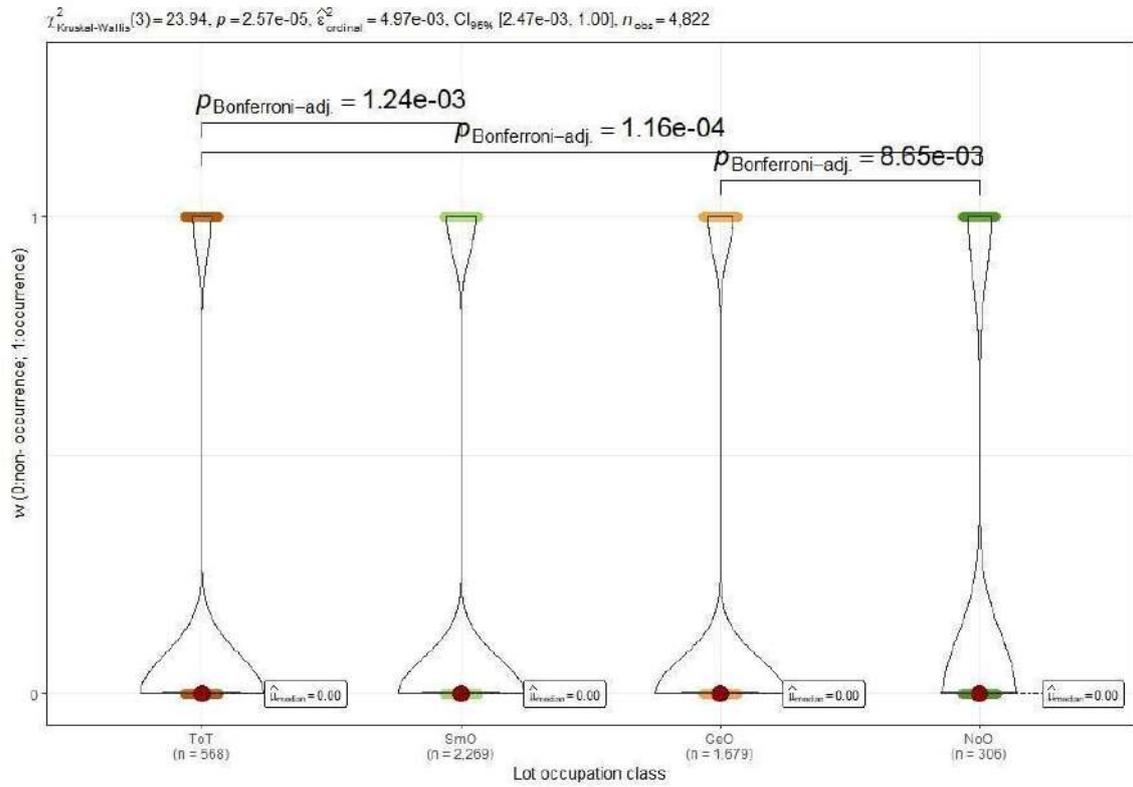
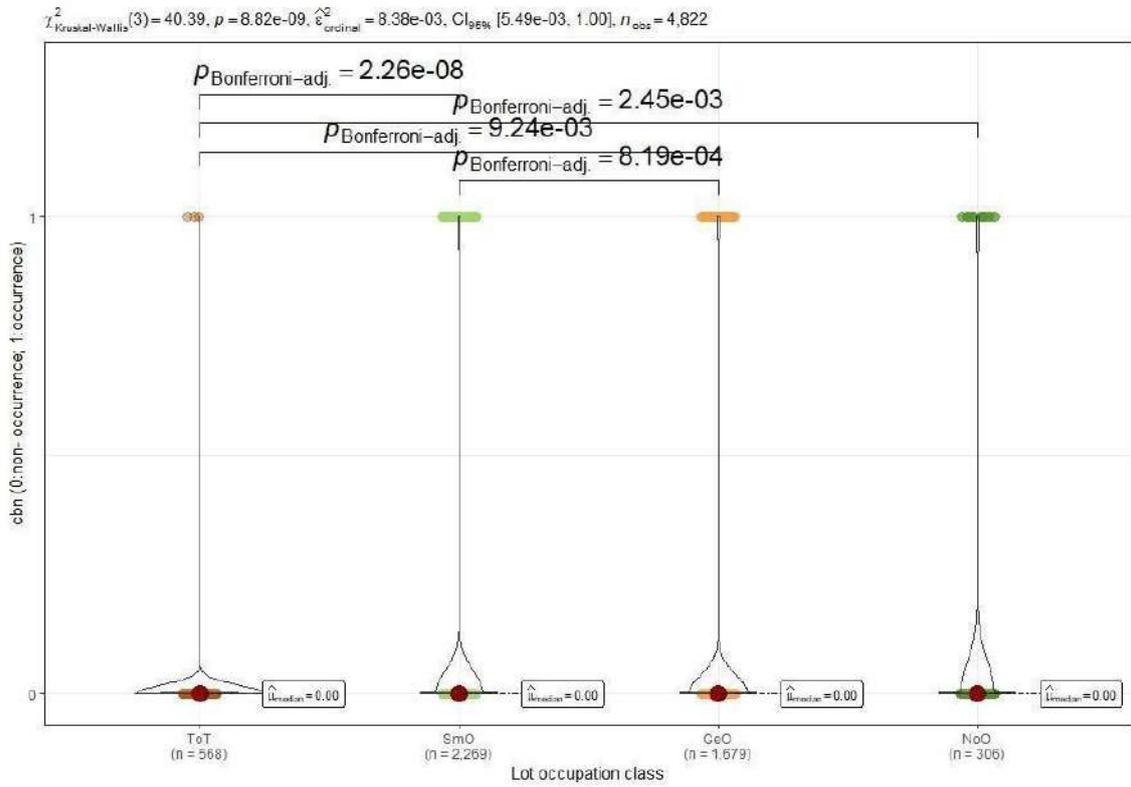


Figura C.2 - Teste de Kruskal-Wallis para valores de  $w$ .



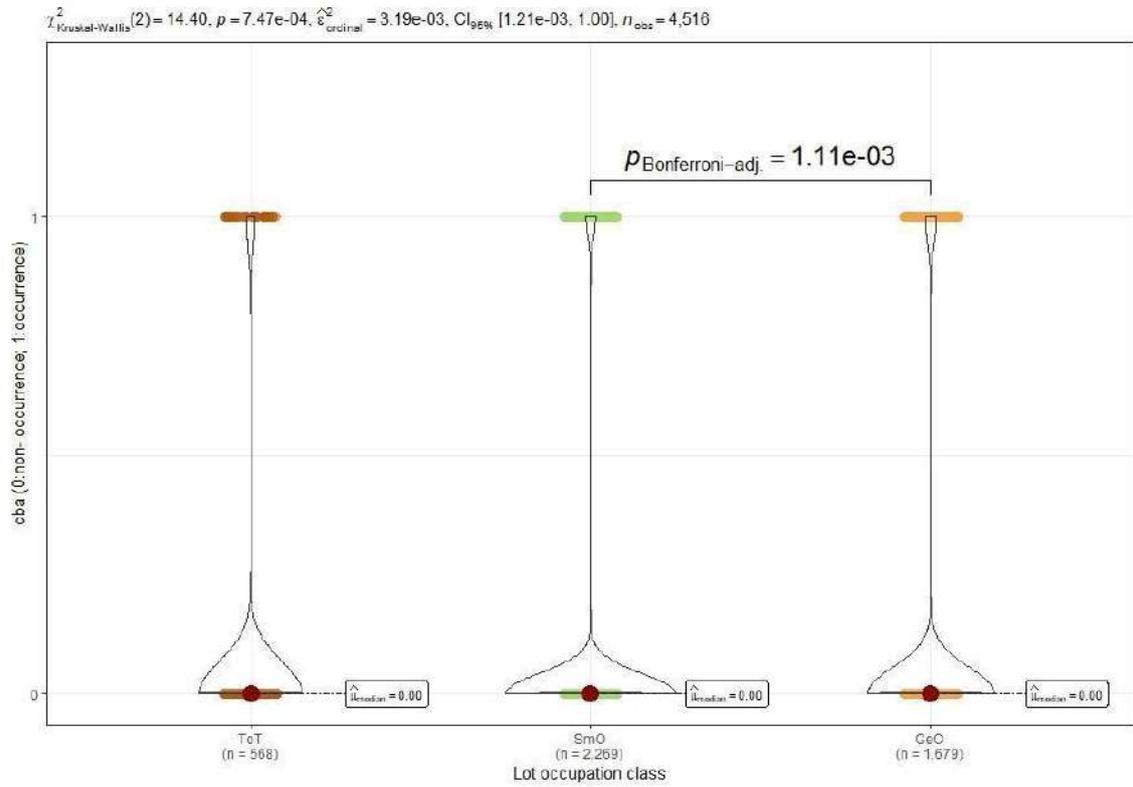
$w$ : incêndio; Tot: lote totalmente ou quase totalmente desmatado; SmO: lote com pequenas manchas difusas de desmatamento; GeO: lote com manchas geométricas de desmatamento; NoO: lotes sem manchas de desmatamento.

Figura C.3 - Teste de Kruskal-Wallis para valores de *cbn*.



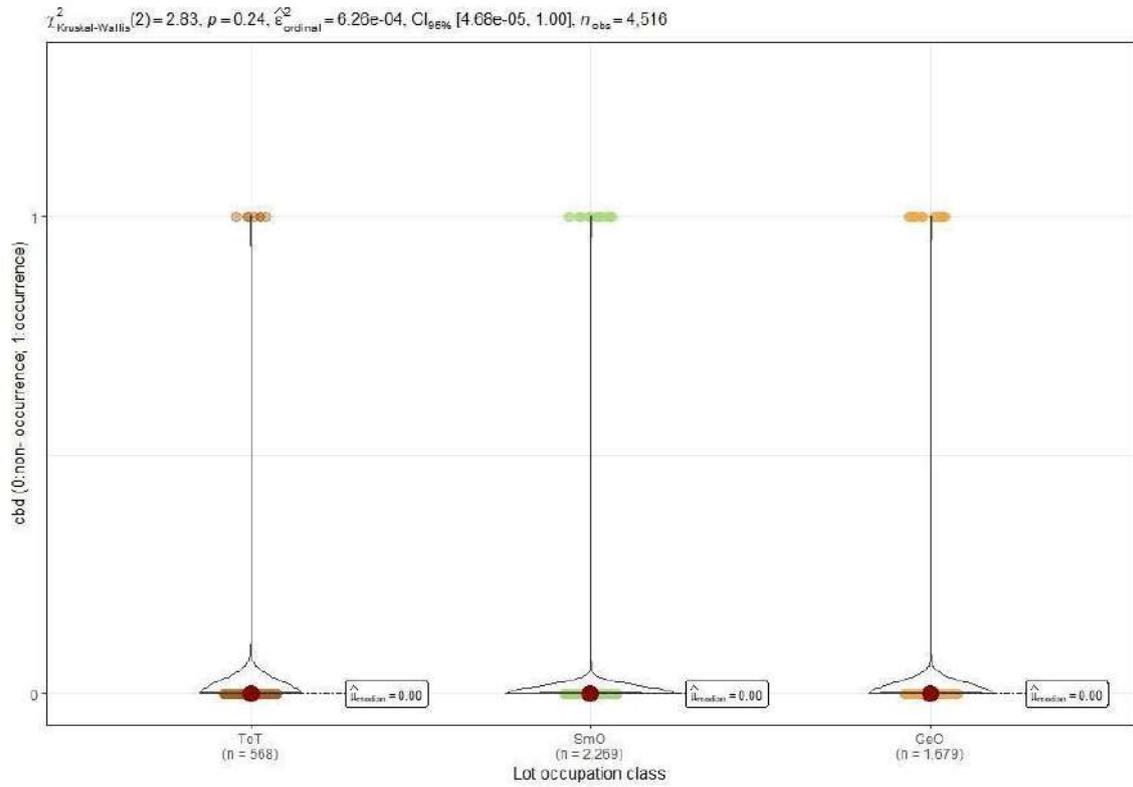
w: incêndio; Tot: lote totalmente ou quase totalmente desmatado; SmO: lote com pequenas manchas difusas de desmatamento; GeO: lote com manchas geométricas de desmatamento; NoO: lotes sem manchas de desmatamento.

Figura C.4 - Teste de Kruskal-Wallis para valores de *cba*.



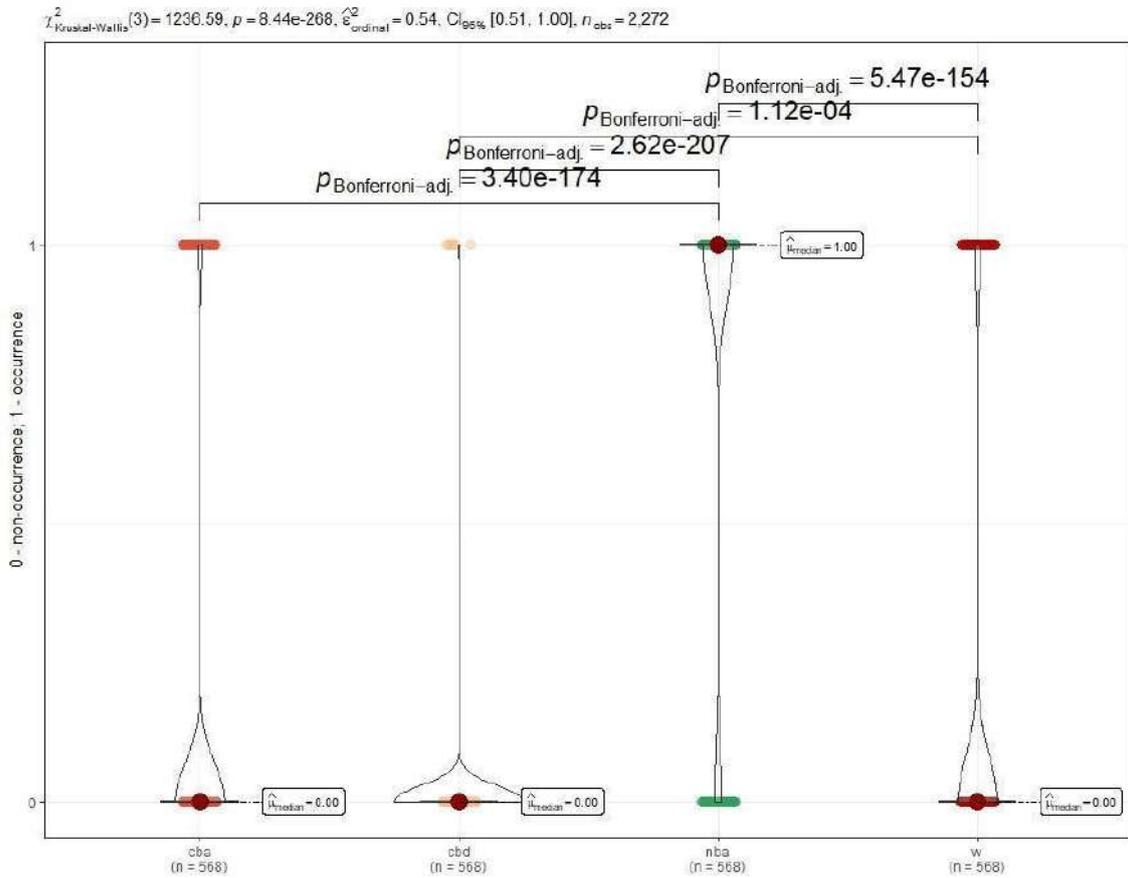
w: incêndio; Tot: lote totalmente ou quase totalmente desmatado; SmO: lote com pequenas manchas difusas de desmatamento; GeO: lote com manchas geométricas de desmatamento; NoO: lotes sem manchas de desmatamento.

Figura C.5 - Teste de Kruskal-Wallis para valores de *cbd*.



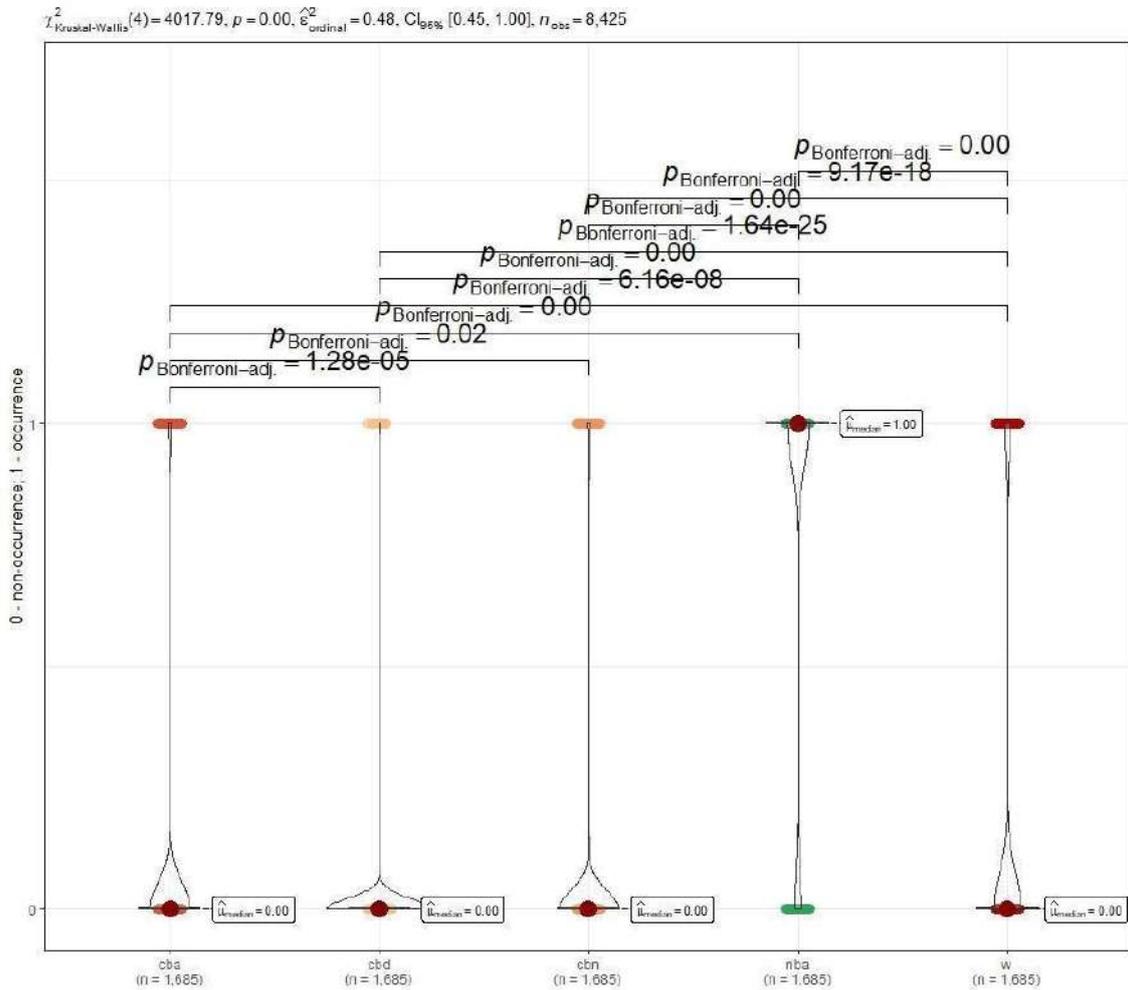
w: incêndio; Tot: lote totalmente ou quase totalmente desmatado; SmO: lote com pequenas manchas difusas de desmatamento; GeO: lote com manchas geométricas de desmatamento; NoO: lotes sem manchas de desmatamento.

Figura C.6 - Teste de Kruskal-Wallis para valores de *ToT*.



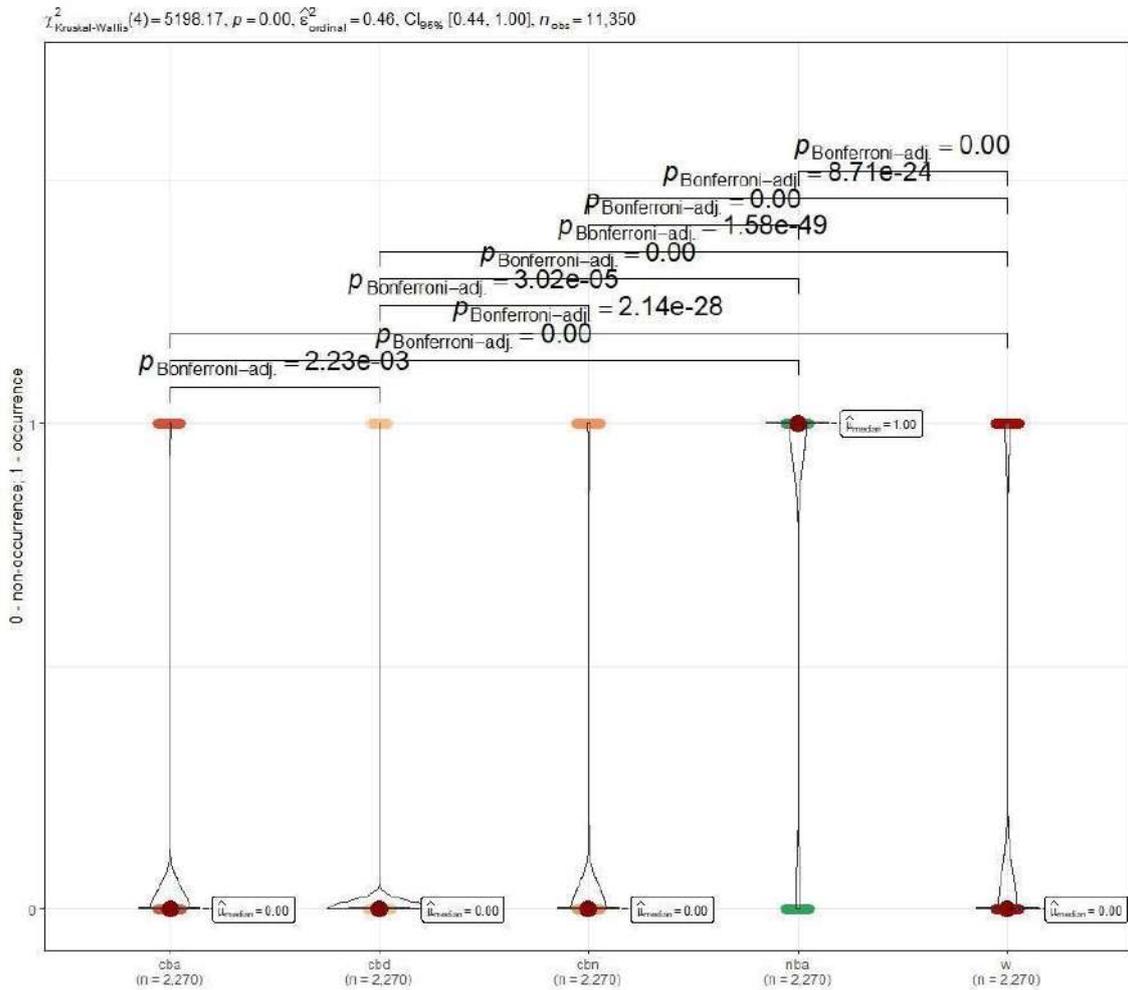
ToT: lote totalmente ou quase totalmente desmatado; w: incêndio; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa ; nba = sem área queimada.

Figura C.7 - Teste de Kruskal-Wallis para valores de *GeO*.



*GeO*: lote com manchas geométricas de desmatamento; w: incêndio; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa ; nba = sem área queimada.

Figura C.8 - Teste de Kruskal-Wallis para valores de *SmO*.



SmO: lote com pequenas manchas difusas de desmatamento; w: incêndio; cbd: indicativo de queima controlada – desmatamento; cba: indicativo de queima controlada – manejo agrícola; cbn: indicativo de queima controlada – vegetação nativa ; nba = sem área queimada.

## ANEXO A

Figura A.1 - Permissão para inclusão da versão final de artigo publicado (Capítulo 5) na Tese.



The screenshot displays the RightsLink interface for an Elsevier article. At the top left is the 'CCC RightsLink' logo. At the top right, there is a 'Sign In/Register' button and icons for help and search. The main content area is divided into two sections. The first section, titled 'Burned area occurrence in agrarian reform settlement projects in the Matopiba region, Brazil', includes a thumbnail of the journal cover 'APPLIED GEOGRAPHY' and the following details: Author: Gisele Milare, Angélica Giarolla, Maria Isabel Sobral Escada; Publication: Applied Geography; Publisher: Elsevier; Date: May 2024; and a copyright notice: © 2024 Elsevier Ltd. All rights reserved. The second section, titled 'Journal Author Rights', contains a disclaimer: 'Please note that, as the author of this Elsevier article, you retain the right to include it in a thesis or dissertation, provided it is not published commercially. Permission is not required, but please ensure that you reference the journal as the original source. For more information on this and on your other retained rights, please visit: <https://www.elsevier.com/about/our-business/policies/copyright/#Author-rights>'. At the bottom of this section are two buttons: 'BACK' and 'CLOSE WINDOW'.

