



INCÊNDIOS FLORESTAIS NA INTERFACE URBANO FLORESTAL TOCANTINS - BRASIL

CONTRIBUTOS PARA MELHORIA NAS POLÍTICAS PÚBLICAS

IZABELLA DOWNAR BAKALARCZYK

TESE DE DOUTORAMENTO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM JANEIRO DE 2025

ÁREA CIENTÍFICA DE ENGENHARIA DO AMBIENTE

ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR MARIO AUGUSTO PIRES VAZ

PROGRAMA DOUTORAL EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2024/2025

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



pdea@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465

PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência a Programa de Tese de Doutoramento em Engenharia do Ambiente - 2024/2025 - Departamento de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2025.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família

Há tempo para todo propósito debaixo do céu."

Eclesiastes 3:1".

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus, fonte de força e inspiração em toda esta caminhada.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), pela excelente estrutura física disponibilizada por meio de seus laboratórios, biblioteca, repositórios e equipe administrativa, que muito contribuíram para a realização desta tese.

À memória do Professor Doutor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves, meu orientador, que, com sua dedicação, sabedoria e apoio, orientou com maestria as bases deste trabalho. Sua partida inesperada deixou uma lacuna irreparável, mas seus ensinamentos e exemplo de compromisso e excelência continuarão a inspirar meu percurso acadêmico e pessoal. Este trabalho é também uma homenagem ao seu legado.

Ao Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz, meu orientador, por ter assumido este trabalho com disponibilidade incansável e orientação criteriosa. Agradeço pelo apoio e paciência que foram fundamentais para a conclusão deste percurso. Sua generosidade e compromisso com a excelência acadêmica fizeram toda a diferença.

Ao PDEA/FEUP – Programa Doutoral em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ao Ministério Público do Estado do Tocantins, nas pessoas do Sr. Bruno e do Sr. Marlon, pela colaboração imprescindível e apoio técnico, contribuindo significativamente para a qualidade e profundidade deste estudo.

À minha mãe, Simone Downar Bakalarczyk, pelo amor incondicional, pela dedicação e pelo exemplo constante de coragem. Sua presença em todos os momentos, especialmente após o nascimento dos meus filhos, foi fundamental para que eu pudesse seguir em frente com este trabalho.

Ao meu pai, in memoriam, Neziazeno Valmor Bakalarczyk, que, mesmo ausente fisicamente, deixou em mim um legado de valores indispensáveis. Seus ensinamentos guiam minhas escolhas e continuam a inspirar minha trajetória. Este trabalho é também uma forma de honrar sua memória.

Aos meus filhos, Matteo e Martina Marcolini, que, com seu amor puro e espontâneo, trouxeram força e significado aos meus dias. Vocês são minha motivação constante para seguir em frente.

À minha irmã, Izadora Downar Bakalarczyk, pelo companheirismo constante, pelo suporte nos momentos desafiadores e pelas risadas que tornam a jornada mais leve. Sua presença é um porto seguro.

Aos meus sogros, cunhadas e sobrinhas, pela acolhida calorosa e pelo carinho sempre presente nos momentos de confraternização em família.

Ao meu cunhado Mateus José e ao meu primo Lucas Nicolini pelo constante apoio e pela prontidão em ajudar.

A todos os colegas que conheci na FEUP, em especial ao Antônio (Tonhão), cuja experiência foi fundamental na minha orientação ao longo do processo.

A todos os professores e colaboradores do Programa de Doutorado em Engenharia do Ambiente da FEUP, pelo suporte e pelo conhecimento compartilhado ao longo deste percurso acadêmico.

Ao meu compadre Ygor Freitas e à minha amiga Letícia, que me acompanham desde a graduação. Vocês são parte essencial das aventuras e conquistas nesta nova fase.

À minha comadre Angela, cuja amizade é um tesouro desde os tempos do colégio e que, mesmo à distância, se faz presente com carinho e apoio inabaláveis.

Aos nossos compadres Jean e Adriana, por estarem presentes tanto nos momentos leves e descontraídos quanto nos tensos e desafiadores, compartilhando o cotidiano. Sua parceria enriquece cada dia e fortalece nossos laços familiares.

Ao meu esposo, Murilo Marcolini, cuja presença e apoio foram indispensáveis para que este trabalho se tornasse realidade. Nos momentos mais difíceis, sua força e obstinação não apenas iluminaram nosso caminho, mas também me impediram de desistir diante das adversidades. Como pai, você é dedicado e companheiro; como profissional, um exemplo de excelência e compromisso. Murilo, esta conquista é nossa, e sou eternamente grata por ter você ao meu lado.

Meu muito obrigada a todos!

RESUMO

A crescente ocorrência de incêndios florestais nas áreas de interface urbano-florestal (IUF) evidencia a necessidade de estratégias mais eficazes para sua prevenção e mitigação, especialmente em regiões como o Tocantins, Brasil, onde a interação entre zonas urbanas e vegetação nativa está em crescimento. Essa área de transição, caracterizada por um crescimento urbano não planejado em contato com áreas combustíveis, apresenta desafios significativos para a gestão de riscos e o manejo sustentável do território. Esta tese de doutorado teve como objetivo promover uma reflexão e desenvolver ferramentas para auxiliar na elaboração de políticas públicas relacionadas aos incêndios florestais na interface urbano-florestal do Tocantins. Como objetivo geral, pretende-se propor estratégias baseada em análise de dados de incêndios florestais para uma regulamentação específica que delimite a interface urbano-florestal do Tocantins, além de medidas de prevenção e resposta a incêndios nessas zonas.

A metodologia adotada envolveu o uso de imagens de satélite, análise geoespacial em sistemas de informação geográfica (SIG) e modelos de regressão logística para avaliar os fatores associados à ocorrência de incêndios. O percurso metodológico incluiu a revisão da literatura sobre grandes incêndios em áreas de interface urbano-florestal, a caracterização do estado do Tocantins com base em dados estatísticos e legislativos, e a comparação com padrões internacionais de delimitação e gestão dessas interfaces, abrangendo países como Portugal, França, Espanha e Estados Unidos. Com base nisso foi realizada a delimitação e caracterização de uma IUF no Tocantins e uma análise estatística dos incêndios ocorridos entre 2020 e 2023 nesta zona, culminando em sugestões para legislação e inovações em políticas públicas voltadas para essas áreas, com enfoque em prevenção e resposta.

Os incêndios foram classificados segundo a extensão da área queimada (pequenos, médios e grandes), frequência de ocorrência e proximidade de áreas habitadas. Identificaram-se zonas de transição crítica, onde a interação entre atividades humanas e vegetação intensifica significativamente o risco de incêndios. O estudo destacou a ausência de um padrão regulatório para a definição dessas áreas, bem como a falta de integração entre medidas preventivas e práticas de gestão de combustíveis. Além disso, os desafios de envolvimento das comunidades e a necessidade de integrar tecnologias, como o uso de sensoriamento remoto e índices de risco de incêndio, são pontos críticos que precisam ser abordados para melhorar a prevenção e resposta a incêndios.

As análises e a revisão bibliográfica permitiram identificar boas práticas internacionais que podem ser adaptadas à realidade do Tocantins, como a definição de zonas de amortecimento e o uso de tecnologias para monitoramento e resposta rápida. Foram propostas diretrizes específicas para a regulamentação das IUF no estado, incluindo a sugestão de criação de uma lei para definir os limites da IUF, incentivos fiscais às boas práticas de gestão de combustíveis e novas exigências voltadas à prevenção e resposta a incêndios em estruturas e empreendimentos localizados na IUF.

Conclui-se que a gestão eficaz dos riscos associados aos incêndios florestais depende de uma abordagem integrada, que combine conhecimento científico, ferramentas tecnológicas e políticas públicas adaptadas ao contexto regional. Este trabalho não apenas contribui para o entendimento das dinâmicas de incêndios na IUF tocaninense, mas também oferece um modelo replicável para outras regiões com características similares.

PALAVRAS-CHAVE: Interface urbano-florestal, Incêndios florestais, Tocantins, Análise geoespacial, Políticas públicas, Prevenção de riscos.

ABSTRACT

The increasing occurrence of wildfires in wildland-urban interface (WUI) areas highlights the need for more effective strategies for their prevention and mitigation, particularly in regions such as Tocantins, Brazil, where the interaction between urban zones and native vegetation is growing. This transition area, characterized by unplanned urban growth in contact with combustible zones, poses significant challenges for risk management and sustainable territorial governance. This doctoral thesis aimed to foster reflection and develop tools to assist in the formulation of public policies related to wildfires in Tocantins' WUI. The general objective is to propose data for specific regulations that delimit the WUI of Tocantins, in addition to preventive and responsive measures for wildfires in these zones.

The methodology employed included the use of satellite imagery, geospatial analysis through geographic information systems (GIS), and logistic regression models to assess factors associated with wildfire occurrence. The methodological approach comprised a literature review of major wildfires in WUI areas, characterization of Tocantins based on statistical and legislative data, and a comparison with international standards for delimiting and managing these interfaces, covering countries such as Portugal, France, Spain, and the United States. Based on this, the delimitation and characterization of a WUI in Tocantins were carried out, along with a statistical analysis of wildfires that occurred between 2020 and 2023 in this zone, culminating in legislative suggestions and innovations in public policies focusing on prevention and response.

Wildfires were classified according to the extent of the burned area (small, medium, and large), frequency of occurrence, and proximity to inhabited areas. Critical transition zones were identified, where the interaction between human activities and vegetation significantly increases wildfire risk. The study highlighted the lack of regulatory standards for defining these areas, as well as the absence of integration between preventive measures and fuel management practices. Additionally, challenges related to community engagement and the need for integrating technologies, such as remote sensing and wildfire risk indices, are critical points that need to be addressed to improve wildfire prevention and response.

The analyses and literature review allowed the identification of international best practices that can be adapted to Tocantins' reality, such as defining buffer zones and using technologies for monitoring and rapid response. Specific guidelines were proposed for regulating WUI in the state, including the suggestion of creating a law to define WUI boundaries, tax incentives for good fuel management practices, and new requirements for wildfire prevention and response in structures and developments located in WUI areas.

In conclusion, effective management of wildfire risks relies on an integrated approach that combines scientific knowledge, technological tools, and public policies tailored to the regional context. This work not only contributes to understanding wildfire dynamics in Tocantins' WUI but also offers a replicable model for other regions with similar characteristics.

KEY-WORDS: Wildland-urban interface, Wildfires, Tocantins, Geospatial analysis, Public policies, Risk prevention.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVOS, GERAL E ESPECÍFICOS	3
1.4 METODOLOGIA DO TRABALHO.....	4
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2. JUSTIFICATIVA - MOTIVAÇÃO	7
2.1. OS GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS DA ÚLTIMA DÉCADA (2010-2020)	7
2.1.1 OS INCÊNDIOS FLORESTAIS DE 2010 NA RÚSSIA: SECA EXTREMA E DESAFIOS DA GOVERNANÇA FLORESTAL	7
2.1.2 INCÊNDIOS FLORESTAIS NA BOLÍVIA (2010 E 2019): PRESSÕES ANTRÓPICAS, VULNERABILIDADES AMBIENTAIS E DESAFIOS DE CONSERVAÇÃO	9
2.1.3 INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CHILE (2014): O CASO DE VALPARAÍSO E OS DESAFIOS DA GESTÃO DA INTERFACE URBANO-FLORESTAL	11
2.1.4 O INCÊNDIO DE FORT McMURRAY (2016): CAUSAS, IMPACTOS E LIÇÕES PARA A GESTÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CANADÁ.....	13
2.1.5 OS INCÊNDIOS RURAIS DE 2017 EM PORTUGAL: CAUSAS, IMPACTOS E EVOLUÇÃO LEGISLATIVA	14
2.1.6 INCÊNDIOS FLORESTAIS NA CALIFÓRNIA: PADRÕES, IMPACTOS E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO A PARTIR DO CAMP FIRE DE 2018.....	15
2.1.7 'BLACK SUMMER' NA AUSTRÁLIA (2019–2020): MEGAINCÊNDIOS, IMPACTOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E DESAFIOS DE GOVERNANÇA.....	17
2.1.8 BRASIL, 2019-2020.....	18
2.1.9 ANÁLISE COMPARATIVA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS DE GRANDES PROPORÇÕES E SUAS IMPLICAÇÕES NA GESTÃO DE ÁREAS DE INTERFACE URBANO-FLORESTAL.....	20
2.2. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.....	25
2.2.10 BASE DE DADOS SCOPUS.....	25
2.3. OPORTUNIDADE – JUSTIFICATIVA DE INVESTIGAÇÃO	30
3. CENÁRIO TOCANTINENSE E O FOGO	31
3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DO ESTADO	31
3.1.1. ASPECTOS FÍSICOS	32
3.1.2. ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS	37
3.2. OS INCÊNDIOS NO TOCANTINS	40
3.3. REGULAMENTAÇÃO BRASIL - TOCANTINS	44
3.3.1. CONSTITUIÇÃO	44
3.3.2. LEGISLAÇÃO INFRACONSTITUCIONAL	45
3.3.3. CÓDIGO FLORESTAL	48
3.3.4. REGULAMENTAÇÃO - TOCANTINS	52
3.3.5. MANEJO DO FOGO NOS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO – TERRITÓRIO BRASILEIRO	56

4. ESTADO DA ARTE - LEGISLAÇÃO	61
4.1. COMENTÁRIOS INTRODUTÓRIOS	61
4.2. REGULAMENTAÇÃO PORTUGAL	65
4.3. REGULAMENTAÇÃO FRANÇA	67
4.4. REGULAMENTAÇÃO ITÁLIA	70
4.5. REGULAMENTAÇÃO ESPANHA	72
4.6. O QUE A LITERATURA SUGERE?	74
5. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DA INTERFACE URBANO-FLORESTAL NO TOCANTINS	81
5.1. DEFINIÇÃO DE INTERFACE URBANO – FLORESTAL (CONCEITOS)	81
5.2. TRABALHOS ACADÊMICOS COM DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE INCÊNDIOS EM INTERFACE	83
5.3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESCOLHIDA	85
5.3.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA COMBUSTÍVEL ADOTADA E DA ÁREA URBANA ADOTADA	87
5.3.2. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS	90
5.3.3. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL (MORAN'S I E LISA) DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS	92
5.4. DEFINIÇÃO DAS INTERFACES URBANO-FLORESTAL	93
5.4.1. METODOLOGIA ADOTADO PARA DEFINIÇÃO DOS BUFFERS	93
5.4.2. IMAGENS DOS BUFFERS E INTERFACES	94
5.5. ESTATÍSTICAS APLICADAS	97
5.5.1. ÁREAS QUEIMADAS DENTRO DOS LIMITES DOS MUNICÍPIOS E SUAS RESPECTIVAS IUF	97
5.5.2. MAPEAMENTO DOS PADRÕES DE TAMANHO DE INCÊNDIOS PELA DISTÂNCIA À INTERFACE URBANO-FLORESTAL (IUF)	98
5.5.3. ANÁLISE DAS CICATRIZES DE QUEIMADA DENTRO DA IUF SEGUNDO O USO DO SOLO	100
6. RESULTADOS DA ANÁLISE DO PADRÃO DE INCÊNDIOS NOS PRINCIPAIS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO TOCANTINS	101
6.1. ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL (MORAN'S I E LISA)	101
6.2. PALMAS	104
6.2.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PALMAS	105
6.2.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PALMAS	107
6.2.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PALMAS	109
6.2.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF- PALMAS	111
6.3. ARAGUAÍNA	112
6.3.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA	113
6.3.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - ARAGUAÍNA	115
6.3.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - ARAGUAÍNA	115
6.3.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF- ARAGUAÍNA	118
6.4. GURUPI	119
6.4.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE GURUPI	120
6.4.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - GURUPI	121
6.4.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - GURUPI	122

6.4.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-GURUPI	125
6.5. PORTO NACIONAL	126
6.5.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL	127
6.5.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS – PORTO NACIONAL	129
6.5.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF – PORTO NACIONAL	130
6.5.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PORTO NACIONAL	132
6.6. PARAÍSO DO TOCANTINS	133
6.6.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PARAÍSO DO TOCANTINS.....	134
6.6.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS – PARAÍSO DO TOCANTINS.....	136
6.6.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF – PARAÍSO DO TOCANTINS	137
6.6.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PARAÍSO DO TOCANTINS	139
6.7. LAGOA DA CONFUSÃO	141
6.7.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE LAGOA DA CONFUSÃO	141
6.7.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS – LAGOA DA CONFUSÃO	144
6.7.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF – LAGOA DA CONFUSÃO	145
6.7.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-LAGOA DA CONFUSÃO	147
6.8. FORMOSO DO ARAGUAIA.....	149
6.8.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE FORMOSO DO ARAGUAIA	149
6.8.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - FORMOSO DO ARAGUAIA	152
6.8.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - FORMOSO DO ARAGUAIA	153
6.8.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-FORMOSO DO ARAGUAIA	155
6.9. PARANÃ	156
6.9.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PARANÃ.....	157
6.9.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PARANÃ	159
6.9.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PARANÃ	160
6.9.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PARANÃ	162
6.10. PIUM	163
6.10.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PIUM	164
6.10.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PIUM	166
6.10.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PIUM	167
6.10.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PIUM	169
6.11. GOIATINS	171
6.11.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE GOIATINS.....	171
6.11.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - GOIATINS	173
6.11.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - GOIATINS	174
6.11.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-GOIATINS	177
6.12. LIZARDA	178
6.12.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE LIZARDA.....	179
6.12.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - LIZARDA	181
6.12.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - LIZARDA	182
6.12.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-LIZARDA	184

6.13. MATEIROS	185
6.13.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE MATEIROS	186
6.13.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - MATEIROS	188
6.13.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - MATEIROS	189
6.13.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-MATEIROS	190
6.14. RIO SONO	191
6.14.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE RIO SONO	192
6.14.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - RIO SONO	194
6.14.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - RIO SONO	195
6.14.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-RIO SONO	197
6.15. ARRAIAS	198
6.15.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE ARRAIAS	199
6.15.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - ARRAIAS	201
6.15.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - ARRAIAS	202
6.15.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-ARRAIAS	204
6.16. TOCANTÍNIA	206
6.16.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE TOCANTÍNIA	206
6.16.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - TOCANTÍNIA	208
6.16.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - TOCANTÍNIA	209
6.16.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-TOCANTÍNIA	212
6.17. PONTE ALTA DO TOCANTINS	213
6.17.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PONTE ALTA DO TOCANTINS	214
6.17.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PONTE ALTA DO TOCANTINS	216
6.17.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PONTE ALTA DO TOCANTINS	217
6.17.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PONTE ALTA DO TOCANTINS	219
6.18. ALMAS	220
6.18.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE ALMAS	221
6.18.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - ALMAS	223
6.18.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - ALMAS	224
6.18.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-ALMAS	226
6.19. CONCEIÇÃO DO TOCANTINS	228
6.19.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO TOCANTINS	228
6.19.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - CONCEIÇÃO DO TOCANTINS	230
6.19.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - CONCEIÇÃO DO TOCANTINS	231
6.19.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-CONCEIÇÃO DO TOCANTINS	233
6.20. MONTE DO CARMO	234
6.20.1.ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE MONTE DO CARMO	235
6.20.2.CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - MONTE DO CARMO	237
6.20.3.DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - MONTE DO CARMO	237
6.20.4.RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-MONTE DO CARMO	240
6.21. TOCANTINS	241

6.22. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	250
7. O PODER PÚBLICO E A GESTÃO DO RISCO DE INCÊNDIO EM INTERFACE URBANO FLORESTAL NO TOCANTINS.....	253
7.1. REFLEXÕES INICIAIS.....	253
7.2. PROPOSTA DE REGULAMENTAÇÃO ESPECÍFICA.....	254
7.2.1. DEFINIÇÃO DE ÁREA DE INTERFACE URBANO-FLORESTAL (IUF).....	254
7.2.2. USO DA TERMINOLOGIA “INCÊNDIO RURAL”	255
7.2.3. PLANEJAMENTO E USO DO SOLO	255
7.2.4. GESTÃO DE COMBUSTÍVEIS NA ÁREA DE INTERFACE URBANO-FLORESTAL.....	256
7.2.5. MEDIDAS DE RESPOSTA E EVACUAÇÃO	257
7.2.6. INCENTIVOS E PARCERIAS	258
7.2.7. FORTALECIMENTO DA GOVERNANÇA E PARTICIPAÇÃO COMUNITÁRIA NA ÁREA DE IUF	258
7.2.8. DIRECIONAMENTO POR PERFIS MUNICIPAIS.....	259
7.3. CONTRIBUIÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS	259
7.3.1. INTEGRAÇÃO COM PLANEJAMENTO URBANO E GESTÃO DE ÁREAS DE INTERFACE	259
7.3.2. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E COMUNICAÇÃO NAS ÁREAS DE INTERFACE	260
7.3.3. SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS EM ÁREAS DE ALTO RISCO EM IUF	260
7.4. CONTRIBUIÇÕES FINAIS	260
8. CONCLUSÕES	263
8.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	263
8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	264
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	267
ANEXO I	287
REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DAS IUFS DE TODOS OS MUNICÍPIOS ANALISADOS.....	287

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Plano de trabalho com tarefas e interações	5
Figura 2- Áreas com maior risco de propagação de fogo. Fonte: Castillo, et al. (2014)	12
Figura 3- Documentos por ano na base Scopus sobre “fires urban forest interface”	26
Figura 4- Documentos por área na base Scopus sobre “fires urban forest interface”	27
Figura 5- Documentos por países na base Scopus	28
Figura 6 - Estado do Tocantins: Mapa de localização. Fonte: SEPLAN, 2023.	33
Figura 7- Estado do Tocantins: Regiões Fitoecológicas. Fonte: SEPLAN, 2023.	34
Figura 8 - Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado, apresentadas em gradiente daquelas de maior biomassa (formações florestais) para as de menor biomassa (formações campestres e savânicas), com indicação das classes de solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). Fonte: adaptado de Ribeiro; Walter (2008).	35
Figura 9 - Mapa do estado do Tocantins – A) distribuição de temperatura; B) distribuição de precipitação; C) bacias hidrográficas. Fonte: SEPLAN, 2023.	36
Figura 10 - Pirâmide etária do estado de Tocantins– A) 1991; B) 2022 Fonte SEPLAN 2023.	37
Figura 11 – Distribuição populacional do estado do Tocantins – A) População residente; B) Densidade demográfica (hab/km ²) Fonte SEPLAN 2023.....	38
Figura 12 – Distribuição populacional do estado do Tocantins – A) População indígena; B) População quilombola. Fonte SEPLAN 2023.....	39
Figura 13 - Estado do Tocantins distribuição de atividades do setor primário – A) Área colhida (ha); B) Rebanho bovino (cabeça). Fonte: SEPLAN 2023.....	40
Figura 14 - Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 30/Set de 2024.	41
Figura 15 - Arcabouço Estratégico do IBAMA 2024/2027. Fonte: Brasil, 2025.....	47
Figura 16 - Órgãos estaduais envolvidos no plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e queimadas do estado do Tocantins	54
Figura 17 - Municípios selecionados do estado de Tocantins. Fonte: Elaboração própria (2025), com dados de MapBiomias (2024).	87
Figura 18 – a) Polígonos extraídos; b) Area Combustível. Fonte: Elaboração própria (2025), com dados de MapBiomias (2024).	90
Figura 19 - Cicatriz de queimada coordenadas geográficas -6,189° -47,5691°, agosto 2023 do Mapbiomas e do MPTO, respectivamente. Fonte: MapBiomias (2024); Painel de Monitoramento de Queimadas – MPTO (2024).	92
Figura 20 - Cicatriz de queimada coordenadas geográficas -5,42585° -48,00239°, agosto 2023 do Monitor do Fogo e do MPTO, respectivamente. Fonte: Monitor do fogo MapBiomias (2024); Painel de Monitoramento De Queimadas – MPTO (2024).	92

Figura 21 - Esquema de definição da IUF por proximidade: interseção entre o buffer da área artificial e o buffer da área combustível	93
Figura 22 –Exemplo de buffers e IUF (Paraíso do Tocantins). IUF = interseção dos buffers; não inclui o interior da mancha urbana nem o interior contínuo dos combustíveis. Fonte: Elaboração própria (2025) com dados MapBiomass (2024).....	96
Figura 23 – Esquema utilizado para realizar a Regressão Logística do mapeamento das grandes superfícies queimadas.....	99
Figura 24 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2020. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em vermelho) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,909$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Alto e Baixo-Baixo; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.....	102
Figura 25 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2021. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em Laranja) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,812$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Alto e Baixo-Baixo; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.....	103
Figura 26 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2022. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em Amarelo) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,419$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Baixo e Baixo-Baixo; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.....	103
Figura 27 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2023. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em Roxo) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,011$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Alto; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.	104
Figura 28 – Cicatrizes de incêndios para o município de Palmas por ano, entre os anos de 2020 e 2023.	107
Figura 29 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Palmas	112
Figura 30 – Cicatrizes de incêndios para o município de Araguaína por ano.....	114
Figura 31 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Araguaína	119
Figura 32 – Cicatrizes de incêndios para o município de Gurupi por ano no período de 2020 a 2023.	121
Figura 33 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Gurupi .	126
Figura 34 – Cicatrizes de incêndios para o município de Porto Nacional por ano no período de 2020 a 2023.....	128
Figura 35 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Porto Nacional.....	133
Figura 36 – Cicatrizes de incêndios para o município de Paraíso do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.....	135

Figura 37 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Paraíso do Tocantins.....	140
Figura 38 – Cicatrizes de incêndios para o município de Lagoa da Confusão por ano para o período de 2020 a 2023.....	143
Figura 39 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Lagoa da Confusão	148
Figura 40 – Cicatrizes de incêndios para o município de Formoso do Araguaia por ano no período de 2020 a 2023.....	151
Figura 41 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Formoso do Araguaia	156
Figura 42 – Cicatrizes de incêndios para o município de Paranã por ano no período de 2020 a 2023.	158
Figura 43 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Paranã	163
Figura 44 – Cicatrizes de incêndios para o município de Pium por ano no período de 2020 a 2023.	165
Figura 45 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Pium ...	170
Figura 46 – Cicatrizes de incêndios para o município de Goiatins por ano no período de 2020 a 2023.	173
Figura 47 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Goiatins	178
Figura 48 – Cicatrizes de incêndios para o município de Lizarda por ano para o período de 2020 a 2023.	180
Figura 49 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Lizarda	185
Figura 50 – Cicatrizes de incêndios para o município de Mateiros por ano para o período de 2020 a 2023.....	187
Figura 51 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Mateiros	191
Figura 52 – Cicatrizes de incêndios para o município de Rio Sono por ano no período de 2020 a 2023.	193
Figura 53 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Rio Sono	198
Figura 54 – Cicatrizes de incêndios para o município de Arraias por ano no período de 2020 a 2023.	200
Figura 55 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Arraias	205
Figura 56 – Cicatrizes de incêndios para o município de Tocantínia por ano no período de 2020 a 2023.	208
Figura 57 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Tocantínia	213

Figura 58 – Cicatrizes de incêndios para o município de Ponte Alta do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.....	215
Figura 59 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Ponte Alta do Tocantins	220
Figura 60 – Cicatrizes de incêndios para o município de Almas por ano no período de 2020 a 2023.	222
Figura 61 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Almas..	227
Figura 62 – Cicatrizes de incêndios para o município de Conceição do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.....	229
Figura 63 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Conceição do Tocantins	234
Figura 64 – Cicatrizes de incêndios para o município de Monte do Carmo por ano no período de 2020 a 2023.....	236
Figura 65 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Monte do Carmo	241
Figura 66 – Cicatrizes de incêndios para o estado do Tocantins acumulado 2020 a 2023.....	242
Figura 67 – Cicatrizes de incêndios para o estado do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.	243

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Quadro comparativo dos grandes incêndios florestais (2010–2020): áreas afetadas, perdas humanas, causas, falhas institucionais, pós-evento e IUF.	23
Tabela 2 - Documentos sobre incêndios florestais selecionados por filtro "país/região - Brasil"	29
Tabela 3 - Características das Fitofisionomias presentes no Bioma Cerrado. Fonte: Adaptado (Silva, 2007)	34
Tabela 4 – Ranking dos 12 maiores municípios em população do estado de Tocantins – 2010 e 2022	38
Tabela 5 – Focos de calor no estado de Tocantins por área de utilização humana nos anos de 2002 a 2011. Fonte: Adaptado Lazzarini, et al. (2012).....	42
Tabela 6 - Formas de deliberação do CONAMA	46
Tabela 7 – Regras de gestão de combustível por atividade para as áreas secundárias.	66
Tabela 8 – Resumo das características das interfaces por país. Adaptado de Gonzalez e Ghermandi (2024)	75
Tabela 9 – Síntese das recomendações identificadas na literatura para Europa sobre gestão de incêndios florestais em áreas de interface urbano-florestal.....	77
Tabela 10 – Síntese das recomendações identificadas na literatura para América do Norte sobre gestão de incêndios florestais em áreas de interface urbano-florestal.....	78
Tabela 11 – Descrição das Classes dos Mapbiomas – Seleção 8.....	88
Tabela 12 – Classes Selecionadas Mapbiomas Tocantins	89
Tabela 13 – Definições IUF nos países Europeus; França, Itália, Portugal e Espanha.	94
Tabela 14 – Áreas dos buffers e da IUF (interseção dos buffers urbano × combustível) em Palmas–TO	95
Tabela 15 – Incêndios no município de Palmas por ano	106
Tabela 16 – Descrição Incêndios em Palmas por tamanho e ano	108
Tabela 17– Informações das áreas do Buffer e IUF - Palmas.....	109
Tabela 18 – Incêndios em Palmas dentro da IUF (200x200)	109
Tabela 19 – Incêndios no município de Palmas e sua IUF por ano	110
Tabela 20 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Palmas	110
Tabela 21 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo - Palmas	111
Tabela 22 – Dados da Regressão Logística para IUF Palmas por tamanho	111
Tabela 23 – Incêndios no município de Araguaína por ano no período 2020 a 2023.....	114
Tabela 24 – Descrição Incêndios em Araguaína por tamanho e ano no período 2020 a 2023.	115
Tabela 25 - Informações das áreas do Buffer e IUF - Araguaína.....	116

Tabela 26 – Incêndios em Araguaína dentro da IUF (200x200)	116
Tabela 27 – Incêndios no município de Araguaína e sua IUF por ano no período 2020 a 2023.....	117
Tabela 28 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Araguaína	117
Tabela 29 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo - Araguaína.....	118
Tabela 30 – Dados da Regressão Logística para IUF Araguaína por tamanho	118
Tabela 31 – Incêndios no município de Gurupi por ano no período de 2020 a 2023	120
Tabela 32 – Descrição Incêndios em Gurupi por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.	122
Tabela 33 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Gurupi	123
Tabela 34 – Incêndios em Gurupi dentro da IUF (200x200).....	123
Tabela 35 – Incêndios no município de Gurupi e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.	124
Tabela 36 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Gurupi	124
Tabela 37 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo - Gurupi.....	125
Tabela 38 – Dados da Regressão Logística para IUF Gurupi por tamanho de área ardida.....	125
Tabela 39 – Incêndios no município de Porto Nacional por ano no período de 2020 a 2023.	128
Tabela 40 – Descrição Incêndios em Porto Nacional por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.	129
Tabela 41 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Porto Nacional.....	130
Tabela 42 – Incêndios em Porto Nacional dentro da IUF (200x200)	131
Tabela 43 – Incêndios no município de Porto Nacional e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.	131
Tabela 44 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Porto Nacional.....	131
Tabela 45 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Porto Nacional	132
Tabela 46 – Dados da Regressão Logística para IUF Porto Nacional por tamanho da área ardida..	132
Tabela 47 – Incêndios no município de Paraíso do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023..	136
Tabela 48 – Descrição Incêndios em Paraíso do Tocantins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.	137
Tabela 49 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Paraíso do Tocantins	137
Tabela 50 - Incêndios em Paraíso do Tocantins dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.	138
Tabela 51 – Incêndios no município de Paraíso do Tocantins e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.....	138
Tabela 52 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Paraíso do Tocantins	139

Tabela 53 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Paraíso do Tocantins	139
Tabela 54 – Dados da Regressão Logística para IUF Paraíso do Tocantins por tamanho da área ardida.	140
Tabela 55 – Incêndios no município de Lagoa da Confusão por ano para o período de 2020 a 2023.	144
Tabela 56 – Descrição Incêndios em Lagoa da Confusão por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.....	145
Tabela 57– Informações das áreas do Buffer e IUF – Lagoa da Confusão	145
Tabela 58 – Incêndios em Lagoa da Confusão dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.	146
Tabela 59 – Incêndios no município de Lagoa da Confusão e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.....	146
Tabela 60 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Lagoa da Confusão	147
Tabela 61 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Lagoa da Confusão.....	147
Tabela 62 – Dados da Regressão Logística para IUF Lagoa da Confusão por tamanho da área ardida.	148
Tabela 63 – Incêndios no município de Formoso do Araguaia por ano no período de 2020 a 2023.	152
Tabela 64 – Descrição Incêndios em Formoso do Araguaia por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.....	153
Tabela 65 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Formoso do Araguaia	153
Tabela 66 – Incêndios em Formoso do Araguaia dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.	153
Tabela 67 – Incêndios no município de Formoso do Araguaia e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.....	154
Tabela 68 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Formoso do Araguaia	154
Tabela 69 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Formoso do Araguaia.....	155
Tabela 70 – Dados da Regressão Logística para IUF Formoso do Araguaia por tamanho da área ardida.	155
Tabela 71 – Incêndios no município de Paranã por ano no período de 2020 a 2023.	158
Tabela 72 – Descrição Incêndios em Paranã por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.	159
Tabela 73 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Paranã	160
Tabela 74 – Incêndios em Paranã dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.	161
Tabela 75 – Incêndios no município de Paranã e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.	161
Tabela 76 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Paranã	161

Tabela 77 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Paranã	162
Tabela 78 – Dados da Regressão Logística para IUF Paranã por tamanho da área ardida	162
Tabela 79 – Incêndios no município de Pium por ano no período de 2020 a 2023.....	166
Tabela 80 – Descrição Incêndios em Pium por tamanho e ano para o período de 2020 a 2023.....	167
Tabela 81 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Pium	167
Tabela 82 – Incêndios em Pium dentro da IUF (200x200) para o período de 2020 a 2023.....	168
Tabela 83 – Incêndios no município de Pium e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.....	168
Tabela 84 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Pium	169
Tabela 85 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Pium.....	169
Tabela 86 – Dados da Regressão Logística para IUF Pium por tamanho da área ardida.	170
Tabela 87 – Incêndios no município de Goiatins por ano no período de 2020 a 2023.....	172
Tabela 88 – Descrição Incêndios em Goiatins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.....	174
Tabela 89 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Goiatins	174
Tabela 90 – Incêndios em Goiatins dentro da IUF (200x200) para o período de 2020 a 2023.....	175
Tabela 91 – Incêndios no município de Goiatins e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.....	176
Tabela 92 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Goiatins	176
Tabela 93 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Goiatins	176
Tabela 94 – Dados da Regressão Logística para IUF Goiatins por tamanho da área ardida.	177
Tabela 95 – Incêndios no município de Lizarda por ano para o período de 2020 a 2023.....	180
Tabela 96 – Descrição Incêndios em Lizarda por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.	181
Tabela 97 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Lizarda	182
Tabela 98 – Incêndios em Lizarda dentro da IUF (200x200) para o período de 2020 a 2023.	182
Tabela 99 – Incêndios no município de Lizarda e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.	183
Tabela 100 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Lizarda	183
Tabela 101 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Lizarda.....	184
Tabela 102 – Dados da Regressão Logística para IUF Lizarda por tamanho da área ardida.....	184
Tabela 103 – Incêndios no município de Mateiros por ano para o período de 2020 a 2023.....	187
Tabela 104 – Descrição Incêndios em Mateiros por tamanho e ano para o período de 2020 a 2023.	188
Tabela 105 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Mateiros	189
Tabela 106 – Incêndios em Mateiros dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.	189
Tabela 107 – Incêndios no município de Mateiros e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023. ..	190

Tabela 108 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Mateiros	190
Tabela 109 – Dados da Regressão Logística para IUF Mateiros por tamanho da área ardida.	190
Tabela 110 – Incêndios no município de Rio Sono por ano no período de 2020 a 2023.....	194
Tabela 111 – Descrição Incêndios em Rio Sono por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.	195
Tabela 112 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Rio Sono	195
Tabela 113 – Incêndios em Rio Sono dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.	195
Tabela 114 – Incêndios no município de Rio Sono e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.	196
Tabela 115 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Rio Sono	196
Tabela 116 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo –Rio Sono.....	197
Tabela 117 – Dados da Regressão Logística para IUF Rio Sono por tamanho de área ardida.	197
Tabela 118 – Incêndios no município de Arraias por ano no período de 2020 a 2023.	200
Tabela 119 – Descrição Incêndios em Arraias por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.	201
Tabela 120 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Arraias	202
Tabela 121 – Incêndios em Arraias dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.....	203
Tabela 122 – Incêndios no município de Arraias e sua IUF por ano	203
Tabela 123 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Arraias	204
Tabela 124 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo –Arraias	204
Tabela 125 – Dados da Regressão Logística para IUF Arraias por tamanho da área ardida.....	205
Tabela 126 – Incêndios no município de Tocantínia por ano no período de 2020 a 2023.....	207
Tabela 127 – Descrição Incêndios em Tocantínia por tamanho e ano no período de 2020 a 2023. .	209
Tabela 128 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Tocantínia	210
Tabela 129 – Incêndios em Tocantínia dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.	210
Tabela 130 – Incêndios no município de Tocantínia e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.	211
Tabela 131 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Tocantínia.....	211
Tabela 132 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo –Tocantínia.....	212
Tabela 133 – Dados da Regressão Logística para IUF Tocantínia por tamanho.....	212
Tabela 134 – Incêndios no município de Ponte Alta do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.	215
Tabela 135 – Descrição Incêndios em Ponte Alta do Tocantins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.....	216

Tabela 136 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Ponte Alta do Tocantins.....	217
Tabela 137 – Incêndios em Ponte Alta do Tocantins dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.....	217
Tabela 138 – Incêndios no município de Ponte Alta e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.....	218
Tabela 139 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Ponte Alta do Tocantins.....	218
Tabela 140 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Ponte Alta do Tocantins	219
Tabela 141 – Dados da Regressão Logística para IUF Ponte Alta do Tocantins por tamanho da área ardida.....	219
Tabela 142 – Incêndios no município de Almas por ano no período de 2020 a 2023.....	222
Tabela 143 – Descrição Incêndios em Almas por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.....	223
Tabela 144 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Almas	224
Tabela 145 – Incêndios em Almas dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.....	224
Tabela 146 – Incêndios no município de Almas e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.....	225
Tabela 147 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Almas	226
Tabela 148 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Almas.....	226
Tabela 149 – Dados da Regressão Logística para IUF Almas por tamanho da área ardida.....	227
Tabela 150 – Incêndios no município de Conceição do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.....	230
Tabela 151 – Descrição Incêndios em Conceição do Tocantins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.....	231
Tabela 152 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Conceição do Tocantins	231
Tabela 153 – Incêndios em Conceição do Tocantins dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.....	232
Tabela 154 – Incêndios no município de Conceição do Tocantins e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.....	232
Tabela 155 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Conceição do Tocantins	233
Tabela 156 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Conceição do Tocantins.....	233
Tabela 157 – Dados da Regressão Logística para IUF Conceição do Tocantins por tamanho da área ardida.....	233
Tabela 158 – Incêndios no município de Monte do Carmo por ano no período de 2020 a 2023.....	236
Tabela 159 – Descrição Incêndios em Monte do Carmo por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.....	237
Tabela 160 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Monte do Carmo	238
Tabela 161 – Incêndios em Monte do Carmo dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.....	238

Tabela 162 – Incêndios no município de Monte do Carmo e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.	239
Tabela 163 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Monte do Carmo.....	239
Tabela 164 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Monte do Carmo	239
Tabela 165 – Dados da Regressão Logística para IUF Monte do Carmo por tamanho da área ardida.	240
Tabela 166 – Resumo informações municípios	246
Tabela 167 – Probabilidade de incêndios nas IUF no período de 2020 a 2023.....	248
Tabela 168 – Tipologia do uso do solo nas áreas de IUF queimadas.....	249
Tabela 169 – Quadro resumo das sugestões.....	261

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

°C – Grau Celsius

AUD – Moeda dólar australiano

CO - Gás monóxido de carbono

CO₂ – Gás dióxido de carbono

PM_{2,5} – Partículas Inaláveis Finas diâmetro inferior a 2,5 micrometros

R\$ - Moeda real

USD - Moeda dólar

ACRÓNIMOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFN - Autoridade Florestal Nacional

AGIF - Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

ASHRAE - American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers

ASTM – American society for testing and materials

ATI - Ataque inicial

BR – Brasil

CAOMA - Centro de Apoio Operacional de Habitação, Urbanismo e Meio Ambiente

CB - Corpos de bombeiros

CBMTO - Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins

CODEC - Coordenadoria Estadual de Defesa Civil

COMPDEC - Coordenadorias Municipais de Defesa Civil

CONAF - Corporación Nacional Forestal

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTI - Comissão técnica independente

DC - Defesa Civil Estadual

DIGIT - Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas

DOE - United states department of energy

EB - Exército Brasileiro

EMBRAPA – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária

EN – Norma europeia

EUA – Estados Unidos da América

FAN - Fundação amigos da natureza

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

FEB - Força especial de bombeiros

FEUP – Faculdade de engenharia da universidade do Porto

FGC - Faixas de gestão de combustível

GAUF - Grupo de Análise e Uso de Incêndios

GIPS - Grupo de intervenção de proteção e socorro

GNR – Guarda nacional republicana

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

IGN - Instituto Geográfico Espanhol

INMET – Instituto nacional de meteorologia

INMETRO – Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISO – Organização internacional de normalização

LABGEO - Laboratório de Geoprocessamento

MATOPIBA – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Região de expansão agrícola)

MMA – Ministério do meio ambiente

MPE - Ministério Público do Estado

MPTO – Ministério Público do Tocantins

NATURATINS – Instituto Natureza do Tocantins

NBR – Norma brasileira

PG&E - Pacific gás and electric company

PPFCI - Le Plan de Protection des Forêts Contre Les Incendies

PPRIF - Plano de Prevenção de Riscos de Incêndio

QGIS – Sistema de informação geográfica quantum

RJIGT - Regime Jurídico de Instrumentos de Gestão Territorial

RNPV - Rede nacional de postos de vigia

RNU - Règlement National d'Urbanisme

SD – Sandisk

SDFCI - Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios

SEMA – Secretaria Especial do Meio Ambiente

SEMARH-TO - Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins

SEPLAN – Secretaria de planejamento

SGIF - Sistema de gestão de informação de incêndios florestais

SGIFG - Sistema de gestão integrada de fogos rurais

SGIFR - Sistema de Gestão Integrada de Fogos

SIG – Sistema de informação geográfica

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SRU - Solidariedade e Renovação Urbana

SUDEPE – Superintendência do Desenvolvimento da pesca

SUDHEVEA – Superintendência da Borracha

TO – Tocantins

URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

USDA – United States Departament of Agriculture

USDI - United States Departament of the Interior

ABREVIATURAS

ADI - Ação Direta de Inconstitucionalidade

APP – Área de preservação permanente

ARA - Assentamentos de reforma agrária

Art – Artigo

CAR - Cadastro Ambiental Rural

CF – Constituição Federal

COVID19 – Doença do coronavírus de 2019

DRS - Depósitos de resíduos sólidos

EVT - Extreme Value Theory

FAO – Organização das nações unidas para agricultura e alimentação

GEE - Google Earth Engine

GFR - Gestão de Fogos Rurais

ha - Hectare

Hab/km² - Habitante por quilometro quadrado

ICMS – Imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços

IDHM – Índice de desenvolvimento humano municipal

IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano

IQR - Intervalo interquartil

ITR – Imposto Territorial Rural

IUF – Interface urbano-florestal

Km – Quilômetro

Km² – Quilômetro quadrado

LTR - Long Term Release

LUCC - Mudança de Uso e Cobertura do Solo

MIF – Manejo integrado do fogo

MWh – Megawatt-hora

NH – Nothen Hemisphere

ONGs – Organizações não governamentais

PAS - Plano Amazônia Sustentável

Pcdob/SP – Partido Comunista do Brasil do estado de São Paulo

PCIR - Proteção Contra Incêndios Rurais

PDMs – Planos diretores Municipais

PIB - Produto Interno Bruto

PLANSB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PMDB/PR – Partido do Movimento Democrático Brasileiro do estado do Paraná

PNPOT - Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território

PREVFOGO – Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais

PROARCO - Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal

PSDB/RO – Partido da Social Democracia Brasileira do estado de Rondônia

PyroCb – Pirocumulonimbus

Q1 – Primeiro quartil

Q3 – Terceiro quartil

QRA – Amplificação Quase Resonante

RHTA - Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia

ROC – Receiver Operating Characteristic

ROI - Registros de Ocorrência de Incêndio

SDFCI - Sistema de Defesa da Floresta contra Incêndios Florestais

SFN - Strategia Forestale Nazionale

SGIFR - Sistema Integrado de Gestão de Fogos Rurais

SIOSE - Sistema de Informação de Ocupação e Uso do Solo de Espanha

SNDFCI - Sistema Nacional de Defesa Florestal contra Incêndios

WUI - Wildland urban interface

1.

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A ocorrência de incêndios florestais é uma das principais preocupações das autoridades públicas e da sociedade em geral. No Estado do Tocantins, localizado na região Norte do Brasil, como parte da Amazônia Legal e com a presença dos biomas Amazônia e Cerrado, essa preocupação é ainda mais relevante, devido ao crescimento urbano e consequentemente o crescimento de áreas de interligação entre áreas artificiais e áreas de combustível silvestre, denominadas de interface urbano-florestal, interface-silvestre ou apenas interface entre outras nomenclaturas. A Interface Urbano-Florestal (IUF), também conhecida como Wildland-Urban Interface (WUI), corresponde às áreas onde ocupações humanas entram em contato direto ou se misturam com a vegetação natural, criando um espaço crítico de interação e conflito. Nessa zona, a proximidade entre estruturas urbanas e combustíveis florestais aumenta significativamente o risco de incêndios, fragmentação de habitats e perdas materiais e humanas (Fidalgo, 2011; Bento-Gonçalves; Vieira, 2020; Radeloff et al., 2005; Cohen, 2000). Essa área apresenta desafios específicos para o combate e prevenção de incêndios florestais, exigindo uma análise aprofundada das políticas públicas relacionadas ao tema.

No presente trabalho, adota-se o termo Interface Urbano-Florestal (IUF) em consonância com a literatura internacional (Wildland-Urban Interface – WUI), entendendo “florestal” em sentido amplo, como nas classificações do MapBiomas, que incluem tanto formações florestais quanto não florestais suscetíveis ao fogo. Essa opção dialoga com o debate brasileiro sobre o uso do termo “floresta” em sentido estrito em instrumentos normativos (BRASIL, CONAMA, 2011), mas, para fins analíticos desta tese, adota-se uma abordagem funcional orientada à inflamabilidade da cobertura do solo (PRIOR; MURPHY; BOWMAN, 2018; SCHWILK, 2015).

Para evitar o uso impreciso de termos, distinguem-se, neste estudo, três conceitos operacionais associados ao fogo em vegetação, alinhados à literatura ecológica e de gestão do fogo e às definições institucionais: i) “queima” é utilizada como termo geral para o uso do fogo como ferramenta de manejo, abrangendo práticas de queima controlada ou prescrita, planejadas e executadas sob condições específicas para atingir objetivos de manejo agropecuário ou ecológico (MIRANDA et al., 2009; PIVELLO, 2011; FAO, 2019; FAO, 2024); ii) “queimada” refere-se, em especial no contexto brasileiro, às práticas antrópicas de uso do fogo em áreas rurais, frequentemente associadas à abertura de áreas, limpeza de pastagens ou renovação de lavouras, que podem ser legais (quando autorizadas) ou ilegais, e que, quando perdem o controle, podem converter-se em incêndios de grande extensão (MIRANDA et al., 2009; PIVELLO, 2011; NATURATINS, 2015); e iii) “incêndio florestal” designa o fogo não controlado que se propaga sobre formações vegetais nativas ou plantadas, independentemente de sua causa inicial, aproximando-se da definição de “wildfire” presente em documentos internacionais de

manejo integrado do fogo (FAO, 2019; FAO, 2024; NWCG, 2024) e da concepção adotada em normas brasileiras voltadas à prevenção e combate (BRASIL, 1998; ANDERSON et al., 2019). Nesta tese, portanto, “incêndio florestal” é reservado aos eventos não controlados, enquanto “queima” e “queimada” são utilizados para designar usos antrópicos do fogo, com ênfase na finalidade e no grau de controle exercido sobre o fogo.

Essa clarificação conceitual é particularmente relevante em um contexto em que os dados de monitorização por satélite registram, em primeiro lugar, focos de calor e eventos de queima na paisagem, exigindo uma interpretação cuidadosa para distingui-los de incêndios florestais em sentido estrito (INPE, 2024; SILVA et al., 2018; PORTILLO-QUINTERO; SANCHEZ-AZOFEIFA; O ESPÍRITO-SANTO, 2013).

Compreender e gerir esse tipo de incêndio é um desafio crescente em todo o mundo, especialmente em áreas onde a interface urbano-florestal é particularmente significativa. A mistura entre áreas verdes e as urbanizadas aumentam significativamente o risco dessas queimas, além de colocar em risco a vida e o patrimônio dos habitantes locais.

A ocorrência de incêndios florestais pode ter impactos significativos na economia, no meio ambiente, na saúde pública e na qualidade de vida das comunidades locais. O combate a esses incêndios pode envolver uma grande quantidade de recursos financeiros, humanos e materiais, além de representar um risco de vida para as equipes envolvidas. Portanto, é fundamental entender os fatores que contribuem para a ocorrência de incêndios florestais na interface urbano-florestal, bem como as políticas públicas que visam prevenir e combater esses eventos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nas áreas de vegetação nativa, os grandes incêndios causam enormes prejuízos à fauna e à flora. Já nas extensas áreas rurais cultivadas e nos centros urbanos, os impactos se traduzem em perdas econômicas, riscos à saúde e danos materiais significativos. Entre esses ambientes encontra-se a chamada interface urbano-florestal (IUF), entendida neste trabalho como a faixa de contacto e proximidade espacial entre áreas edificadas e combustíveis vegetais contínuos, na qual pessoas, edificações e infraestruturas ficam expostas ao fogo que se inicia ou se propaga na vegetação. A literatura distingue diferentes configurações da IUF, como a interface clássica (borda urbana contígua à vegetação), o intermix (ocupação dispersa imersa em combustível) e situações oclusas, em que a continuidade do combustível é parcialmente interrompida por barreiras físicas. Nesta tese, o foco recai sobretudo sobre a interface clássica da IUF, isto é, a configuração contígua entre manchas urbanas contínuas e áreas de vegetação combustível, definida operacionalmente no Capítulo 5 por meio de buffers específicos aplicados às classes artificiais e de vegetação. Nessa categoria estão incluídas não apenas as áreas residenciais, mas também outras superfícies artificiais mapeadas – como vias e linhas de comunicação – que se encontram em contacto direto com combustíveis vegetais.

No caso do Brasil, essa expansão da interface tem intensificado a ocorrência de queimadas, tornando os grandes incêndios cada vez mais frequentes e impactando diretamente a população — seja pela degradação ambiental, pelos riscos à saúde pública, pela destruição de bens materiais ou pelas perdas no setor agropecuário. A recorrência desses eventos projeta o país no cenário internacional como palco de desastres ambientais de grande magnitude, aumentando a atenção global e, em alguns casos, gerando tensões diplomáticas com outros países diante da repercussão desses impactos.

O Brasil, pela sua grande extensão territorial, apresenta diversidade de climas, vegetações, relevos, padrões de urbanização e costumes da população. Diante disso, estudos regionais são fundamentais para

compreender melhor cada realidade em relação aos incêndios, considerando aspectos como: os tipos predominantes de queimas (urbanas, florestais ou rurais), as áreas mais suscetíveis ao fogo e a influência de práticas culturais regionais no uso do fogo.

Um exemplo emblemático é o estado do Tocantins, criado em 1988, localizado na região Norte do Brasil e integrante da Amazônia Legal, com grande parte de seu território inserido no bioma Cerrado. Nesse bioma, as queimadas fazem parte da dinâmica natural dos ecossistemas (Miranda et al., 2009), mas também são utilizadas pela população como prática tradicional de manejo da terra e agricultura familiar (Pivello, 2011). Quando essas queimadas, historicamente associadas ao ciclo de vida do Cerrado, avançam de forma descontrolada, passam a ser classificadas como incêndios florestais. A frequência e a intensidade desses eventos têm aumentado em função da maior pressão antrópica e das variações climáticas, especialmente em anos de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Gomes et al. 2024).

Desde a criação do estado do Tocantins, em 1988, observa-se um crescimento populacional expressivo em suas principais cidades, impulsionado por incentivos econômicos, oferta de empregos e políticas de ocupação territorial. Paralelamente, a expansão das monoculturas — especialmente soja e pastagens — tem avançado significativamente sobre a zona rural, como evidenciam os dados do MapBiomas (2024). No entanto, essa expansão ocorre de maneira desordenada, gerando uma distribuição irregular entre os espaços urbano e rural, processo que também está associado ao êxodo rural, à mecanização agrícola e à especulação imobiliária (SEPLAN, 2017; SEPLAN, 2023; Souza et al., 2020; Brito, 2010). A urbanização acelerada, aliada ao avanço do agronegócio, contribui para a formação de extensas interfaces urbano-rurais e urbano-florestais, fenômeno amplamente discutido na literatura sobre WUI (Bento-Gonçalves; Vieira, 2020; Chas-Amil et al., 2013).

Tais áreas de transição tornam-se particularmente vulneráveis aos impactos ambientais, como as queimadas, e refletem os desafios de planejamento territorial enfrentados pelo estado como demonstrado em estudos de caracterização de áreas queimadas confirmam a relevância desse cenário (Carvalho et al., 2017; Patriota et al., 2017; Correa, 2017). Assim, a caracterização e mapeamento dos incêndios ocorridos no Tocantins, somado a uma definição da área de Interface mais relevante frente à distribuição e tamanho dos incêndios pode auxiliar na tomada de decisão de medidas mitigadoras dos governantes, formulação de políticas públicas e legislações, desde que os tipos e dinâmicas dos incêndios sejam estudados e conhecidos, bem como a melhor delimitação para essa zona de intersecção (Anderson et al., 2019; Barradas et al., 2020; Borges et al., 2016).

Este estudo buscou uma análise de dados gerados e disponibilizados por diferentes órgãos do governo, com objetivo de fornecer um panorama destes incidentes somada a uma revisão de literatura sobre a normativa de outros países sobre o tema, de forma a sugerir método para caracterizar e mapear uma interface que fizesse sentido à realidade do local e que servisse para auxiliar as políticas públicas e normativas envolvidas na proteção da vida e do ambiente, associadas aos incêndios nas vegetações nativas.

1.3 OBJETIVOS, GERAL E ESPECÍFICOS

Assim, esta tese de doutorado tem como objetivo gerar uma reflexão e ferramentas para auxiliar na construção e elaboração das políticas públicas relacionadas aos incêndios florestais na interface urbano florestal dos 05 municípios de maior população do Tocantins: Palmas, Araguaína, Gurupi, Paraíso e Porto Nacional e em 10% dos municípios do estado, selecionando os com maior área queimada no período de 2020 a 2023: Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Paranã, Pium, Goiatins, Lizarda, Mateiros, Rio Sono, Arraias, Tocantínia, Ponte Alta do Tocantins, Almas, Conceição do Tocantins e

Monte do Carmo (Ministério Público do Tocantins, 2024). Como objetivo geral pretende-se criar uma proposta de regulamentação específica para incêndios florestais na interface urbano-florestal do Tocantins.

Atendendo àquele objetivo geral foi necessário primeiramente atingir objetivos específicos, nomeadamente:

- Este estudo analisa as principais ocorrências de incêndios florestais no último decênio (2010-2020) em diferentes regiões do mundo, assim como as políticas públicas implementadas pelos países investigados. A seleção dos países considerou, por um lado, a ocorrência de grandes incêndios e, por outro, a adoção de instrumentos regulatórios específicos para a interface urbano-florestal frente a tais eventos
- Realização de estudos sobre os incêndios florestais registrados no estado do Tocantins para fins de caracterização e distribuição desses fenômenos, bem como sobre as características, físicas, sociais e econômicas do estado que estão ligadas às queimadas;
- Sistematização e espacialização das ocorrências de incêndios florestais no estado do Tocantins para fins de compreender a dinâmica atual e traçar cenários futuros de suas possíveis ocorrências;
- Análise comparativa das legislações entre os países que adotam a definição de Interface Urbano-florestal, seus limites e conceitos dessa área para cada normativa;
- Faz-se também um estudo de caso no Estado do Tocantins para a delimitação e caracterização da área de interface para contributos normativos e de políticas públicas para uma melhoria na segurança contra incêndios rurais e florestais frente a este tipo de zona de transição;
- Realização de estudo estatístico e caracterização dos incêndios florestais no estado do Tocantins no período de 2020 a 2023 frente a interface urbano-florestal proposta no trabalho;
- Produção de propostas de aprimoramento legislativo e inovações em políticas públicas, com ênfase nas características da interface urbano-florestal mais adequadas ao contexto tocantinense, abordando estratégias eficazes de prevenção e resposta para esse tipo de queima.

1.4 METODOLOGIA DO TRABALHO

A execução desta tese foi realizada por meio de uma pesquisa documental, paralelamente a uma pesquisa bibliográfica sobre o tema. Segundo Marconi e Lakatos (2017), a distinção entre essas pesquisas está na natureza das fontes utilizadas: enquanto a pesquisa documental emprega fontes primárias, a pesquisa bibliográfica recorre a fontes de diversas origens. Em relação aos métodos empregues, foram adotados os métodos observacional, comparativo, estatístico e monográfico. Estes métodos são descritos por Severino (2013) como essenciais para a condução de pesquisas de maneira orientada, para obter, processar e validar dados relacionados com o problema investigado.

De modo a alcançar este objetivo estabeleceu-se um conjunto de tarefas que conduzem este trabalho à finalidade proposta, entre elas:

- Revisão da literatura para caracterizar e apontar dados semelhantes entre grandes incêndios florestais ocorridos no mundo e que atingiram de alguma forma uma Interface Urbano-Florestal;

- Apresentar por meio de dados, estatísticos, bibliográficos e legislativos as características físicas, sociais e econômicas do estado do Tocantins. Caracterizar a relação dessas características com o fogo bem como o enquadramento legislativo atual do Brasil – Tocantins e as políticas públicas relacionadas com as queimas florestais que atingem, ou não, a interface assim como o manejo do fogo nos biomas em que a área de estudo está inserida;
- Comparação entre as exigências dos padrões quanto à Interface Urbano-Florestal, seus limites, conceitos e metodologias para mitigação e prevenção do fogo, em países europeus;
- Realização de estudo de caso com a delimitação e caracterização de uma Interface Urbano-Florestal;
- Análise estatística em relação aos incêndios dos anos de 2020 a 2023 no estado do Tocantins e a Interface Urbano-Florestal sugerida;
- Colocação das considerações finais bem como sugestões para legislação, inovação em políticas públicas e atuações frente ao cenário dos incêndios rurais e florestais quanto às áreas de Interface.

Com objetivo de facilitar a leitura e visualização do conjunto de tarefas descritas nos pontos elencados acima, é apresentada a Figura 1 que reúne de forma esquemática toda a informação acima referida.

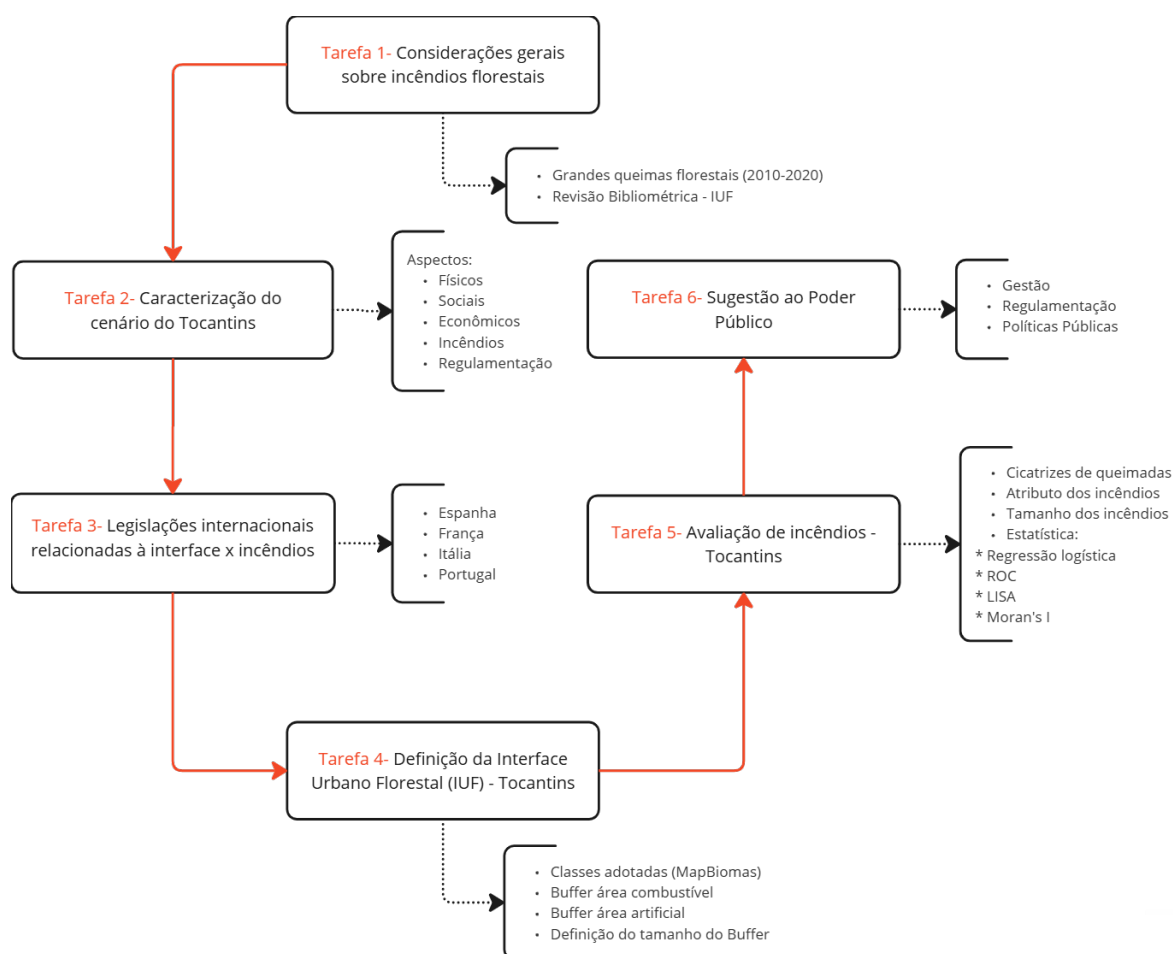


Figura 1- Plano de trabalho com tarefas e interações

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente tese apresenta-se organizada em oito capítulos, numa estrutura esquemática que procura responder ao problema inicialmente identificado de forma que os resultados traduzam os passos e tarefas definidos aquando dos objetivos. Assim, apresenta-se sumariamente em seguida o conteúdo de cada um dos capítulos.

- Capítulo 1 – apresenta-se a introdução do tema de estudo, fazendo o respetivo enquadramento na realidade atual em que se procura a melhoria na gestão de prevenção de incêndios florestais na Interface Urbano-Florestal. É dada ênfase à necessidade de normativas de definição desta área, bem como a relevância do estudo local com base nas características específicas de uma região. Indicam-se os objetivos e a metodologia com as estratégias adotadas no trabalho;
- Capítulo 2 – é destinado a justificativa e motivação do trabalho, contextualizando no cenário mundial e no crescimento da preocupação com os incêndios florestais com base nos fogos ocorridos. São elencados com base em dados publicados: os fatores que contribuíram para a ocorrência desses incêndios, os danos causados, as causas determinantes e as principais características de cada um, dando ênfase aos seus resultados obtidos nas áreas urbanas e nas políticas públicas e legislações que possam ser observadas em cada cenário. Uma pesquisa bibliométrica na base de dados Scopus também foi realizada para observar o panorama mundial, geográfico e temporal, das publicações sobre o tema;
- Capítulo 3 –tem como objetivo oferecer um panorama geral das características físicas e climáticas em que o estado está inserido e apresentar uma análise da evolução dos incêndios florestais no estado do Tocantins. É feita uma revisão dos dados históricos de incêndios florestais ocorridos no estado, a fim de identificar tendências e padrões na sua ocorrência;
- Capítulo 4 – apresenta sistematicamente as legislações e regulamentações entre países que utilizam áreas de Interface em suas normativas no tocante aos incêndios. São analisadas as principais diferenças e semelhanças entre essas legislações;
- Capítulo 5 – destina-se a apresentar e discutir a metodologia e os resultados do estudo de caso referente à uma proposta de definição de Interface do estado do Tocantins. São apontados os limites escolhidos que melhor se enquadram com base na realidade tocaninense de áreas urbanas, áreas florestais e áreas rurais em relação às cicatrizes de incêndios dos anos de 2020 a 2023;
- Capítulo 6 – analisa estatisticamente os incêndios que aconteceram em relação à interface nos anos de 2020 a 2023 bem como os padrões de distribuição geográfica e de extensão deles;
- Capítulo 7 –propõe diretrizes para uma regulamentação mais específica, incluindo a definição de limites claros para a interface urbano-florestal, além de sugestões para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à prevenção e resposta aos incêndios florestais nessa área no contexto do Tocantins;
- Capítulo 8 – apresenta as considerações finais sobre o tema em estudo, juntamente com as conclusões que se podem retirar das discussões. Também se apresentam alguns possíveis desenvolvimentos futuros na área de investigação a que se dedica esta tese.

2.

JUSTIFICATIVA - MOTIVAÇÃO

2.1. OS GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS DA ÚLTIMA DÉCADA (2010-2020)

Grandes incêndios florestais são eventos que vem ocorrendo com uma frequência considerável em diversas regiões do planeta. Sendo assim, para este trabalho foram escolhidos incêndios florestais mais veiculados na mídia no período que decorre entre o ano de 2010 e o ano de 2020. São analisados os grandes incêndios na Rússia e nas florestas tropicais da Bolívia em 2010, nos morros do Chile em 2014, o grande incêndio iniciado no Fort McMurray em 2016 no Canadá, a grande temporada de incêndios em Portugal no ano de 2017. Em seguida, apresenta-se, para o ano de 2019, o levantamento dos incêndios verificados na Amazônia Brasileira, de clima/vegetação extremamente úmida, e na Califórnia, de clima/vegetação seca, passando por grandes fogos na Austrália em 2020 e concluindo com a devastação ocorrida no Pantanal em 2020.

Foram registadas, com base em estudos já realizados, as principais características destes incêndios florestais, suas possíveis causas e principais danos causados, buscando assim particularidades comuns entre esses eventos.

2.1.1 OS INCÊNDIOS FLORESTAIS DE 2010 NA RÚSSIA: SECA EXTREMA E DESAFIOS DA GOVERNANÇA FLORESTAL

A Rússia é o país do mundo com maior extensão territorial e com um território variado em termos de morfologia. Em 2010 o país sofreu com incêndios florestais devastadores, tendo como resultado mais de 50 mortes, mais de 500000 ha ardidos, 1200 casas queimadas e sete regiões que entraram em estado de Emergência custando mais de USD 15 bilhões (Lau e Kim, 2010). Tal situação deu-se devido à elevada seca verificada, só comparável a apenas duas épocas ocorridas no século XX, em 1936 e 1972 (Busygina, 2012).

Em julho de 2010 atingiram-se as maiores temperaturas ambientais em Moscou (de acordo com registros de dados meteorológicos realizados durante os últimos 130). Neste caso as chamas tiveram um perigoso e rápido avanço às regiões extremamente populosas do país de forma que afetaram significativamente a saúde humana bem como a sua subsistência (Witte, et al., 2011). As pessoas foram expostas a alto risco de saúde devido aos produtos da combustão da matéria orgânica tendo ocorrido um aumento no número de mortes causado por um conjunto de fatores como os elevados calor e fumaça (Goldammer, et al., 2013) tendo a taxa de mortalidade aumentando 1,5 – 1,6 vezes neste período (Chubarova, et al., 2012).

A Rússia possui florestas boreais e sub-boreais, pradarias, terras agrícolas (principalmente na Sibéria) que desde a era da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) é vista como zona em que

incêndios são comuns. Na literatura, apesar de poucas estatísticas, há estudos que indicam que em 1987 já estavam presentes as grandes queimas florestais. Após o fim da URSS um cenário mais realista sobre o fogo foi apresentado apesar de ainda apresentar falhas por ter espaços não monitorados dificultando a determinação de área queimada. Esta realidade começou a melhorar em 1995 após a instalação de uma estação de recepção de satélite NOAA/AVHRR na Sibéria. Atualmente os estudos são feitos com o uso dos satélites para, através das cicatrizes das queimadas, obter registros mais precisos. Apesar da melhor coleta e divulgação de dados a transição política em 1991 fez com que os orçamentos para gerenciamento de incêndios fossem reduzidos (Goldammer, et al., 2013).

Este país tem uma grande área de Turfas e uma vegetação extremamente seca pelo que pequenas faíscas podem causar incêndios na floresta (Busygina, 2012), a queima em qualquer ecossistema causa alterações e até danos, assim a Rússia tem desafios sobre gerenciamento de fogo somado à proteção dos recursos florestais (Goldammer, et al., 2013). Em 2010 as vastas regiões de taiga presentes do oeste da Rússia e Ucrânia arderam (Lau e Kim, 2010), a drenagem de grandes áreas de turfa em torno de Moscou, por exemplo, somado à alta densidade demográfica daquele local aumentaram o potencial dos incêndios florestais e turfosos (Chubarova, et al., 2012).

O órgão governamental responsável por prevenção e controle dos incêndios ambientais em 2007 era uma agência com nome de Guarda Florestal Estatal (Goslesohrana) que contava com cerca de 70000 guardas florestais. Com a entrada em vigor do novo Código Florestal esta guarda deixou de existir e teve suas atribuições e poderes distribuídos entre autoridades da região e setores privados. Assim a gestão de incêndios passou para regiões da federação russa (Goldammer, et al., 2013; Busygina, 2012). Diversos especialistas russos e organizações não governamentais, como o Greenpeace, defenderam o retorno da Goslesohrana, argumentando que a descentralização enfraqueceu o controle de atividades florestais ilegais e reduziu a eficácia no manejo do fogo (Busygina, 2012). Em abril de 2010, antes do início dos imensos incêndios, o Greenpeace concluiu que não havia preparação adequada para enfrentar e prevenir incêndios florestais na região e que, uma vez iniciados, não haveria capacidade de controle (Busygina, 2012).

Essa conclusão ocorreu devido a muitas regiões não terem preparação para a prevenção de incêndios e para lidar com situações de incêndio. A reorganização estava acontecendo entre as regiões, não havia assistência inter-regionais e existiam dificuldades orçamentárias, além de falta de bombeiros e do seu compartilhamento entre as regiões. Para melhorar esta situação foi criada posteriormente a Agência Federal de Florestas (Goldammer, et al., 2013). Estes incêndios paralisaram cidades, causaram danos irreparáveis e tiveram como principal causa atividades humanas. A sua extensão e duração sobrecarregou o sistema existente para resposta ao fogo, como define Goldammer, et al. (2013) “A transição de uma empresa estatal anteriormente centralizada num sistema de proteção contra incêndio para um sistema descentralizado com a participação da sociedade civil continua sendo um desafio exigente para os próximos anos”.

Os incêndios em agosto de 2010, ocorridos nas florestas secas e turfeiras da Rússia, foram responsáveis por uma nuvem densa e alta de fumaça, atingindo centenas de quilômetros de extensão próximos ao local do evento, comprometendo a região com interferência na qualidade do ar, além de evidenciar altas probabilidades de futuros incêndios. Incêndios dessa proporção ocasionam distúrbios atmosféricos, afetam o ciclo de carbono, o clima e a qualidade do ar, liberando dióxido e monóxido de carbono, CO₂ e CO, durante a queima e, posteriormente, removem CO₂ durante o crescimento vegetal na região do incêndio. Muitos trabalhos foram realizados para avaliar alterações atmosféricas causadas nestes cenários que ocorreram em 2010 em solo russo (Witte, et al, 2011; Konovalov, et al., 2011).

Com a atual globalização e o compartilhamento de dados, estudos que buscam relatar conexão entre

eventos locais num contexto mundial são realizados. No cenário dos incêndios russos Lau e Kim (2010) apontaram que o evento meteorológico considerado responsável está diretamente conectado a uma inundação de elevada magnitude no Paquistão ocorrida na mesma época (Lau e Kim, 2010).

Shpakovsky (2018) destacou que, após os grandes incêndios de 2010, a Rússia passou por uma reforma significativa em sua legislação florestal. Um exemplo é a Lei Federal de 23 de junho de 2016, nº 218-FZ, "Sobre emendas ao código florestal da Federação Russa e atos legislativos separados no que diz respeito à melhoria das relações jurídicas relativas às florestas". Essa lei, elaborada com o objetivo de aprimorar a prevenção e a supressão de incêndios florestais, enfatizou a necessidade de coordenação efetiva entre diferentes órgãos e departamentos, ampliando também a responsabilidade atribuída aos cidadãos.

Entre as mudanças decorrentes, destacam-se os decretos, como o Decreto de 18 de agosto de 2016, nº 807, "Sobre alterações em alguns atos do Governo da Federação Russa relacionados à segurança contra incêndios em territórios". Este último introduziu alterações nas regras de regime de segurança contra incêndios na Federação Russa (aprovadas pelo Decreto Governamental de 25 de abril de 2012, nº 390) e nas regras de segurança contra incêndios nas florestas (aprovadas pelo Decreto Governamental de 30 de junho de 2007, nº 417), estabelecendo, por exemplo, a obrigatoriedade da limpeza de uma faixa de 10 metros adjacente às florestas ou da criação de faixas mineralizadas, onde a vegetação e a matéria orgânica superficial são removidas para expor o solo mineral e facilitar o combate durante a temporada de incêndios. Além dessas medidas, foram implementadas disposições administrativas e legais por meio de atos normativos do Ministério dos Recursos Naturais da Rússia, bem como acordos interinstitucionais firmados entre órgãos executivos federais.

Mesmo com esforços realizados alguns desafios persistem sendo necessário melhora nos mecanismos legais e de proteção com fortalecimento da aplicação legal e dos regulamentos florestais existentes além da conscientização pública e a educação sobre práticas de prevenção de incêndios para reduzir as queimas induzidas pelo homem, visto que segundo Shpakovsky (2018) a maioria das tendências negativas que afetam a proteção das florestas contra incêndios continua, estas não mudam significativamente há anos e se concentram em causas antropogênicas e na não observância das regras de segurança contra incêndios durante o uso e visitação da população nas áreas florestais.

2.1.2 INCÊNDIOS FLORESTAIS NA BOLÍVIA (2010 E 2019): PRESSÕES ANTRÓPICAS, VULNERABILIDADES AMBIENTAIS E DESAFIOS DE CONSERVAÇÃO

Os incêndios na Bolívia ocorrem especialmente nas florestas tropicais. Montellano (2012), realizou um estudo quantitativo de áreas que sofreram com incêndios entre 2000 e 2010, a fim de avaliar os danos, determinar os pontos críticos de maior pressão e a conversão florestal através do sensoriamento remoto. Os dados demonstram o crescente número de áreas devastadas e da frequência dos incêndios. Indicando ainda que o período para os ecossistemas se recuperarem estão cada vez mais reduzidos, já que existe um período curto de intervalo entre os incêndios nesta região. O estudo também contribuiu para identificar as áreas com maior vulnerabilidade, promovendo a prevenção e ações de controle.

Aproximadamente metade do território da Bolívia é coberto por florestas tropicais e subtropicais. No entanto, esses ecossistemas vêm sofrendo perdas anuais significativas em função do desmatamento e das queimadas. As florestas bolivianas desempenham um papel estratégico para a biodiversidade global e para os ciclos planetários da água e do carbono, abrigando uma enorme variedade de espécies de plantas, aves, peixes, mamíferos, répteis e anfíbios. Esses atributos ecológicos justificam a implementação de diversos projetos de conservação voltados à mitigação dos impactos das ações

humanas. Em estudo conduzido por Seiler et al. (2015), foi analisada a dinâmica do carbono nas florestas bolivianas sob dois cenários distintos de mudanças climáticas. Os resultados indicam variações nos fluxos de carbono, na temperatura média e nos índices de precipitação, com impactos mais severos projetados para as regiões ao sul da Amazônia, onde predominam florestas mais secas. Nessas áreas, uma redução acentuada das chuvas pode comprometer a resiliência ecológica e acentuar os riscos de colapso florestal (Seiler, et al., 2015).

As consequências de ocorrência de incêndios florestais na região seca de Chiquitania, na Bolívia, foram analisadas. Esses efeitos foram avaliados conforme o estado de variação da biomassa, estruturação da floresta, e da diversidade e composição de espécies. Observou-se também, como a floresta responderia após as chamas, especialmente as categorias de flora que já eram tolerantes, com os riscos de incêndios florestais que serão mais frequentes no futuro. Além disso, a análise identificou as perdas de carbono e diferenças do ecossistema, possibilitando um maior conhecimento acerca da região Devisscher, et al. (2016).

A Bolívia, o Brasil, o Paraguai e a Argentina destacam-se como os países da América do Sul mais afetados pelos incêndios florestais, conforme estatísticas publicadas pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Esses eventos, resultantes tanto de ações antrópicas quanto de causas naturais, exercem forte pressão sobre os ecossistemas de terras secas, especialmente durante as estações secas ou com baixa umidade (Silva et al., 2018). Embora grande parte das ocorrências esteja associada às práticas agropecuárias — que frequentemente recorrem ao uso do fogo para a preparação do solo —, a gestão florestal também faz uso controlado das queimadas como estratégia de regeneração de espécies arbóreas intolerantes à sombra, ou seja, aquelas que necessitam de alta incidência de luz e se beneficiam da abertura do dossel em florestas maduras (Portillo-Quintero et al., 2013). Dados da Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) indicam que os anos de 2005 e 2010 concentraram os maiores registros de incêndios no período entre 2000 e 2010, com destaque para os departamentos de Santa Cruz e Beni. Nesse contexto, o desmatamento e as queimadas constituem os principais fatores de risco para a conservação da biodiversidade, ameaçando tanto espécies quanto habitats na região.

Em 2019, entre os meses de julho e setembro, a planície de Chiquitania — localizada entre a Amazônia e o Gran Chaco — foi atingida por incêndios que devastaram aproximadamente 50.000 km², configurando-se como os mais severos desde o início do monitoramento em 2001 e superando a magnitude dos eventos registrados em 2010. As causas atribuídas a esse desastre variaram conforme a região: em algumas localidades, destacaram-se as práticas tradicionais de queima de vegetação associadas às mudanças climáticas; em outras, prevaleceram denúncias de grilagem de terras e pressões do agronegócio em detrimento dos interesses das comunidades locais e da estabilidade ecológica. Apesar de ambos os eventos — 2010 e 2019 — terem provocado impactos ambientais de grande escala, apenas os incêndios de 2019 obtiveram ampla cobertura midiática, permanecendo em destaque por vários meses.

A gravidade da situação desencadeou protestos, mobilizações voluntárias e debates públicos que expuseram a indignação social diante da destruição ambiental e da demora do governo em reconhecer e enfrentar a crise. Embora as chamas tenham sido controladas naturalmente com o aumento das chuvas, o governo anunciou posteriormente um plano de recuperação e restauração, centrado no abastecimento de água, construção de moradias e reflorestamento. Contudo, especialistas criticaram tais medidas por seu caráter paliativo e superficial no contexto do pós-incêndio (Barié; Zuazo, 2022).

Barié e Zuazo (2022) apontam que em 2020 a Corte Internacional dos Direitos da Natureza declarou "ecocídio", e indicou o governo (políticas de Estado) e o agronegócio como culpados e em 2021 há iniciativa dos deputados contra a legislação que promove desmatamento. Cabe ressaltar nesse cenário

que mesmo após as queimadas de 2010 o governo teve um posicionamento legislativo chamado de "Pacote incendiário". Com as mudanças legislativas melhoraram as capacidades institucionais quanto à articulação entre os níveis nacional, departamental e municipal, além de o governo dar maior ênfase à capacidade técnica de gerenciamento de incêndios mesmo sem grandes mudanças políticas florestais e fundiárias. Há ainda várias iniciativas legislativas em espera que promovam a reversão da colheita florestal e para regulamentar a Lei de Bases da Mãe Terra de 2012.

2.1.3 INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CHILE (2014): O CASO DE VALPARAÍSO E OS DESAFIOS DA GESTÃO DA INTERFACE URBANO-FLORESTAL

Todos os mega incêndios geram prejuízos significativos para o desenvolvimento das regiões afetadas, incluindo perdas econômicas, danos patrimoniais e vítimas humanas. Em 12 e 13 de abril de 2014, Valparaíso enfrentou uma das maiores catástrofes de sua história recente: um incêndio florestal que atingiu 3.238 domicílios em sete morros (El Litre, La Cruz, Mariposas, Merced, Ramaditas, Rocuant e Las Cañas), sendo este último o mais agravado (Claude et al., 2016).

A cidade apresenta características físicas, sociais e de localização que favorecem a ocorrência de desastres ambientais. Nesse sentido, cabe destacar que os incêndios florestais de grande magnitude, em escala global, vêm se tornando cada vez mais frequentes e imprevisíveis, o que dificulta seu controle e combate. Díaz (2019) identificou fatores de risco de natureza social, econômica e política, ressaltando a importância de investigar as causas dos incêndios e submetê-las às autoridades competentes para a devida aplicação de sanções, sejam elas intencionais ou de origem desconhecida. Complementarmente, Garfias et al. (2012) analisaram a população estabelecida em terras situadas entre colinas e ravinas na zona costeira de Valparaíso, no Chile central, identificando áreas de alto risco de incêndios florestais associadas a atividades humanas negligentes, ao crescimento urbano mal administrado e à topografia acentuada. A pesquisa permitiu a caracterização de locais sensíveis ao fogo, fornecendo subsídios territoriais importantes para o zoneamento e para o fortalecimento de ações preventivas.

No contexto nacional, milhares de hectares de vegetação são queimados anualmente no Chile, e estima-se que mais de 1 milhão de hectares de áreas florestais tenham sido afetados no período entre 1985 e 2016. A severidade dos eventos influencia diretamente as emissões de gases de efeito estufa, que tendem a se intensificar conforme a gravidade dos incêndios. Nesse sentido, Vidal et al. (2017) analisaram o incêndio de La Rufina, ocorrido em 1999, e estimaram a quantidade de gases emitidos em função do tipo de vegetação e da intensidade do fogo. O estudo indicou que os maiores índices de severidade foram registrados em florestas nativas e áreas de plantio, sendo o dióxido de carbono o principal gás liberado, especialmente em áreas de pastagem e cerrado, caracterizadas por eventos de alta intensidade.

O incêndio de 2014 em Valparaíso também gerou severos impactos ambientais. Pesquisas de campo, aliadas a dados de satélite, apontaram um aumento de construções em áreas suscetíveis ao fogo. Nesse sentido, a CONAF e a Universidade do Chile identificaram locais críticos em Valparaíso e Viña del Mar, os quais devem concentrar as medidas de proteção (Castillo et al., 2014). Os fatores determinantes para a propagação das chamas incluíram a presença e manejo da vegetação, a topografia local, os fortes ventos, a precariedade de habitações e infraestrutura básica, além da predominância de espécies de flora altamente inflamáveis. A Figura 2 evidencia que essas áreas de maior risco de propagação estão diretamente relacionadas a zonas densamente povoadas.

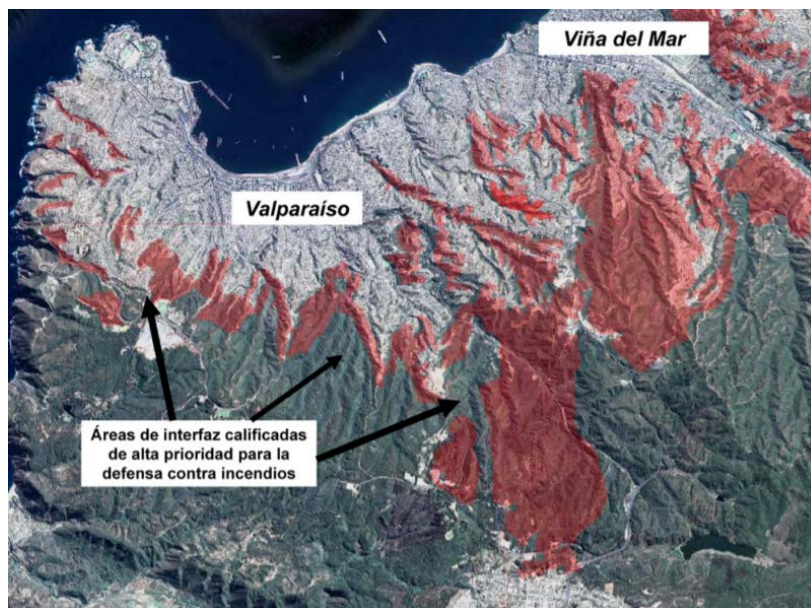


Figura 2- Áreas com maior risco de propagação de fogo. Fonte: Castillo, et al. (2014)

Ainda que o Chile seja reconhecido internacionalmente pela organização e capacidade de resposta a emergências, as temporadas de 2014 e 2015 expuseram deficiências significativas no ordenamento territorial, em especial nas áreas de interface urbano-florestal sob responsabilidade de municípios e governos regionais. A falta de coordenação entre os esforços institucionais e o planejamento adequado mostrou-se um entrave, e os planos de gestão comunal revelaram lacunas graves: expansão das áreas de interface além da capacidade da infraestrutura de serviços básicos, ausência de consideração do aumento da densidade populacional nos planos de crescimento urbano, agravamento da severidade dos incêndios e aumento dos casos de piromania, reforçados ainda por um sistema legal de sanções pouco eficaz (Castillo et al., 2014; Castillo, 2016). Diante desse cenário, Castillo (2016) defende a adoção de planos de pré-ataque, a melhoria da coordenação entre meios de combate aéreo e terrestre e a revisão da vegetação em propriedades privadas, uma vez que muitos incêndios se propagam a partir dessas áreas. O autor destaca também que a remoção de habitações situadas em zonas de alto risco, embora controversa, é essencial para reduzir a vulnerabilidade da população.

Castillo; Saavedra; Brull (2019) realizaram análise do mega incêndio que ocorreu no Chile em 2017 que, assim como as queimas de 2014, tiveram impactos consideráveis. Em 2017 os fogos desenvolveram-se sob condições ambientais extremas, agravadas por uma seca prolongada que afetou o país nos últimos oito anos. O aumento das condições perigosas, como o acúmulo de material combustível seco e a continuidade espacial das florestas e plantações, permitiu a rápida propagação das chamas. Em apenas três semanas, aproximadamente 460.000 ha foram queimados, o que representa mais de sete vezes a média anual de um período de oito meses de incêndios florestais. No final da temporada de 2017, 575000 ha de vegetação foram destruídos pelas chamas. Os autores relatam a criação de grupos de trabalho para propor faixas de proteção e manejo de combustíveis na IUF, com larguras exploratórias de 10 m (interfaces com predominância de pastagens) e 20 m (interfaces com arbustos/árvores), além de silvicultura preventiva até 80 m no interior de bosques após a faixa de corta-fogo/corta-combustível, voltadas à proteção de edificações e conjuntos habitacionais. (Castillo; Saavedra; Brull, 2019, p. 14).

A literatura posterior converge para a necessidade de definir normativamente a interface urbano-florestal. Sarricolea et al. (2020) ressaltam que a inexistência de uma definição clara, espacial e explícita compromete a efetividade das políticas públicas, sobretudo diante do agravamento dos incêndios pelas mudanças climáticas, que aumentam a intensidade e aceleram a propagação do fogo. Estima-se que

aproximadamente 3 milhões de pessoas residam atualmente em áreas de IUF no Chile, o que amplia os riscos sociais e ambientais. Nesse contexto, a regulamentação de áreas de interface torna-se essencial para identificar vulnerabilidades e implementar medidas de prevenção, como corta-fogos e queimadas prescritas.

Mais recentemente, o país avançou em medidas legislativas. Em 2023, um projeto de lei foi protocolado na Câmara de Deputados chilena com o objetivo de aprimorar a prevenção de incêndios florestais e rurais por meio de uma gestão territorial mais eficiente e da regulamentação da atividade florestal. O texto propõe, entre outras medidas, a criação obrigatória de corta-fogos, a delimitação de zonas de interface urbano-rural e a imposição de multas e restrições ao uso do solo afetado por incêndios, visando à recuperação da vegetação (Forestal Uchile, 2023) (Gobierno de Chile, 2024).

2.1.4 O INCÊNDIO DE FORT McMURRAY (2016): CAUSAS, IMPACTOS E LIÇÕES PARA A GESTÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CANADÁ

Em maio de 2016, a cidade de Fort McMurray, localizada na província de Alberta, Canadá, foi atingida por um incêndio florestal de proporções catastróficas. O fogo teve início em 1º de maio, quando apenas 2 hectares estavam em chamas, mas, em menos de 12 horas, já havia se expandido para 2.686 hectares, avançando rapidamente em direção ao perímetro urbano. Como resultado, aproximadamente 2.500 residências foram destruídas, representando cerca de 10% das habitações locais, e 90.000 pessoas precisaram ser evacuadas, uma vez que as chamas margeavam a principal rodovia de acesso, utilizada como rota de fuga. Em 8 de maio, a área atingida já alcançava 161.197 hectares, mobilizando mais de 500 bombeiros e 200 helicópteros no combate ao fogo. O desastre gerou perdas seguradas superiores a USD 3,5 bilhões e afetou a saúde da população em um raio de até 300 km (Stirling, 2017; Mamuji e Rozdilsky, 2019; De Azevedo, Singh e Da Silva, 2016). Posteriormente, Petoukhov et al. (2018) estimaram que o evento tenha representado até USD 4,7 bilhões em prejuízos, configurando-se como o desastre de maior custo econômico da história canadense até então.

A vulnerabilidade da região decorre de suas características ambientais. Fort McMurray está inserida em uma espessa floresta boreal composta por uma mistura de pântano e areias petrolíferas com cobertura de coníferas denso, ecossistema naturalmente adaptado ao fogo como parte de seu ciclo de regeneração. Em condições normais, os riscos são atenuados pelo acúmulo de neve no inverno, que mantém o solo úmido até a estação chuvosa. Contudo, em 2016, a atuação combinada do fenômeno El Niño e da Oscilação Decadal do Pacífico resultou no derretimento precoce da neve, criando um cenário altamente propício à propagação das chamas (Stirling, 2017). Como sintetizou Simms (2016), Fort McMurray configura-se como um “complexo de óleo enorme [construída] no meio de um ecossistema florestal que é projetado para queimar-florestas e regenerar-se através de fogo”.

Além desses fatores, extremos climáticos observados no inverno, incluindo uma frente fria polar seca e a configuração da corrente de jato, favoreceram a secagem da madeira, que se converteu em combustível para o incêndio (Stirling, 2017). Elmes et al. (2018) destacaram ainda que, desde o verão de 2015, havia um déficit acumulado de umidade que culminou em seca severa antes do evento. Esse quadro foi agravado por uma rara combinação de condições hidrometeorológicas: baixa umidade do solo no outono, cobertura reduzida de neve no inverno, escassez de chuvas na primavera, associadas a temperaturas elevadas e ventos intensos. Essa interação de fatores não apenas favoreceu a rápida disseminação do fogo, como também moldou os padrões de queima observados. Os autores ressaltam que o monitoramento sistemático da umidade do solo em diferentes tipos de terreno e bacias hidrográficas poderia oferecer sinais de alerta precoce às autoridades, permitindo um planejamento mais eficaz das estratégias de prevenção e mitigação.

Petoukhov, et al. (2018) apontaram um estudo que determinou a contribuição de comportamentos diversos da circulação das ondas planetárias na catástrofe de 2016 como explica: “Mostramos uma contribuição notável das circulações de ondas planetárias em larga escala na troposfera média / alta dos extra-tropicais do NH para a ignição de fortes incêndios florestais e de estepes no Canadá. Descobrimos que a onda QRA anormalmente de alta amplitude-4 foi um dos fatores importantes a favor do incêndio catastrófico na província de Alberta, no Canadá, em maio e junho de 2016”.

Apesar do forte componente climático, Stirling (2017) enfatiza que a magnitude do desastre poderia ter sido mitigada caso não houvesse cortes orçamentários e negligência em relação às recomendações de especialistas, fatores que comprometeram a preparação e a resposta.

No período pós-incêndio, Hassan et al. (2021), em estudo intitulado “Examining Post-Fire Perceptions of Selected Mitigation Strategies after the 2016 Horse River Wildland Fire in Alberta, Canada”, analisaram a percepção de 24 profissionais diretamente envolvidos na gestão e recuperação da área afetada. As estratégias de mitigação avaliadas incluíram manutenção de “pouca ou nenhuma vegetação” nos 30 m contíguos à WUI e a extensão desse raio de gestão até 70 m, quando viável, a implantação de via perimetral como barreira física/apoio à evacuação, e o uso de materiais resistentes ao fogo em edificações. A maioria dos participantes demonstrou concordância quanto à relevância dessas medidas, mas o estudo não fixa larguras normativas de faixas de gestão de combustíveis por tipologia de interface — é uma proposta exploratória, derivada de percepções pós-incêndio no contexto específico do evento. Entretanto, surgiram preocupações quanto ao alto custo de implementação e aos impactos sobre habitats locais. O estudo concluiu que, além de consolidar as zonas de amortecimento, seria essencial investir em programas de educação comunitária, incentivar o uso de materiais construtivos resistentes ao fogo e garantir múltiplas rotas de evacuação, integrando medidas estruturais e sociais para reduzir a vulnerabilidade frente a futuros incêndios catastróficos.

2.1.5 OS INCÊNDIOS RURAIS DE 2017 EM PORTUGAL: CAUSAS, IMPACTOS E EVOLUÇÃO LEGISLATIVA

Os incêndios rurais de 2017 em Portugal, ocorridos em junho e outubro, apresentaram características singulares, tanto pela sua intensidade quanto pela vasta área devastada. Os dois grandes episódios extremos — junho (Pedrógão Grande) e outubro — consumiram mais de 200.000 ha (Rodrigues et al., 2022). Considerando-se o ano como um todo, a área ardida ultrapassou 412.000 ha, podendo exceder 450.000 ha conforme critérios de contabilização adotados por diferentes instituições (Bento-Gonçalves & Santos, 2022).

Esses episódios foram marcados por comportamento errático e elevada severidade, especialmente no incêndio de Pedrógão Grande,

em junho, considerado um dos piores desastres da história do país. Nesse evento, a rápida propagação das chamas, associada ao desenvolvimento de uma tempestade de fogo, resultou em várias frentes simultâneas e consumiu grandes áreas em poucas horas, desafiando os esforços de combate já limitados pelas condições meteorológicas extremas — temperaturas elevadas, baixa umidade e ventos intensos. Em outubro, a situação foi igualmente crítica, com múltiplos focos agravados pela passagem do furacão Ophelia, que trouxe ventos fortes e criou condições ainda mais propícias à propagação do fogo (Rodrigues et al., 2022).

As consequências humanas foram trágicas. O número de vítimas é reportado de forma distinta pelas fontes: 114 mortes segundo estimativas oficiais (66 em junho e 48 em outubro), mas até 117 mortes em alguns estudos (66 em junho e 51 em outubro), dependendo dos critérios de contabilização adotados (Rodrigues et al., 2022; De Oliveira et al., 2023). A maioria das vítimas foi surpreendida na interface

urbano-florestal; cerca de 70% delas morreram tentando escapar das chamas, muitas vezes em veículos que encontraram o fogo no trajeto. No caso de Pedrógão Grande, a vulnerabilidade de turistas e visitantes foi ampliada pelo desconhecimento da malha viária e das rotas de evacuação, o que dificultou a tomada de decisão durante a rápida evolução do incêndio e levou alguns a avançarem inadvertidamente para zonas já comprometidas pelo fogo. Em outubro, predominavam idosos com mobilidade reduzida que não conseguiram abandonar suas residências a tempo. A ausência de evacuações organizadas pelas autoridades contribuiu de forma decisiva para a elevada mortalidade (Rodrigues et al., 2022).

A legislação portuguesa sobre incêndios passou por alterações significativas ao longo das últimas décadas, com foco crescente na prevenção e controle dos incêndios. Em 2002, ocorreu a descentralização administrativa, devolvendo aos conselhos municipais o poder de licenciamento do uso do fogo, antes atribuído aos governos civis. Após os incêndios devastadores de 2003, foi criado o Sistema Nacional de Defesa Florestal contra Incêndios (SNDFCI) em 2004, que estabeleceu regras mais rígidas para o uso do fogo e introduziu o fogo técnico sob supervisão do serviço florestal. Em 2006, lançou-se o Plano Nacional de Defesa contra Incêndios Florestais, seguido por novas alterações em 2009, que regulamentaram o uso de fogo para supressão e instituíram o Grupo de Análise e Uso de Incêndios (GAUF). Após os incêndios catastróficos de 2017, iniciou-se uma revisão profunda da política nacional. Em 2021, foi criado o Sistema Integrado de Gestão de Fogos Rurais (SGIFR), substituindo o termo “incêndios florestais” por “incêndios rurais” endurecendo as regras para o uso do fogo pelas comunidades, ao estabelecer que queimas e queimadas passassem a depender de licenciamento municipal e de critérios técnicos mais rígidos. A legislação passou também a limitar o fogo técnico a funções específicas (supressão e manejo de biomassa) e alterou o Código Penal, prevendo penas de prisão de até oito anos para o uso ilegal do fogo. Em 2020, foi aprovado o Plano de Gestão Integrada de Fogos Rurais (2020–2030), que prevê substituir gradualmente as práticas tradicionais de queima pela trituração de biomassa, reconhecendo a inadequação de métodos ancestrais diante dos atuais cenários de risco (De Oliveira et al., 2023).

Pesquisas recentes identificam fragilidades na aplicação do SGIFR. Tedim et al. (2022) apontam lacunas na integração dos mapas de risco de incêndio nos Planos Diretores Municipais (PDMs), devido à baixa resolução espacial e à natureza dinâmica do risco, o que limita a eficácia do ordenamento. Além disso, as restrições à construção em áreas de alto risco podem agravar o despovoamento rural, aumentando a vulnerabilidade a incêndios. O estudo ressalta que a rigidez dos instrumentos de planejamento urbano, revisados em longos intervalos, dificulta a adaptação às rápidas mudanças ambientais. Recomenda-se, portanto, maior flexibilidade normativa, atualização contínua dos mapas de risco e fortalecimento da participação comunitária na gestão territorial, de modo a equilibrar prevenção de incêndios e desenvolvimento sustentável.

A partir de 2017, a Proteção Civil portuguesa passou a adotar evacuações preventivas com maior frequência, o que contribuiu para que, entre 2017 e 2021, mesmo com incêndios severos, não houvesse registro de mortes civis. Ainda assim, em agosto de 2022, um casal de idosos perdeu a vida ao tentar escapar de um incêndio que cercava sua aldeia, contrariando a recomendação das autoridades para permanecerem em casa (Rodrigues et al., 2022).

2.1.6 INCÊNDIOS FLORESTAIS NA CALIFÓRNIA: PADRÕES, IMPACTOS E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO A PARTIR DO CAMP FIRE DE 2018

Desde 1972, a Califórnia passou por um aumento significativo na incidência de incêndios florestais, com as áreas queimadas crescendo cinco vezes até 2018. Esse aumento foi particularmente evidente no

verão, onde o avanço da aridez atmosférica, causado pela elevação das temperaturas, contribuiu para a propagação dos incêndios em áreas florestais. No outono, os principais fatores que impulsionam os incêndios estão relacionados aos eventos eólicos, como os ventos de Santa Ana, que, combinados com a secura dos materiais combustíveis, promovem grandes incêndios florestais. Durante o verão, a falta de precipitação agrava ainda mais a situação, aumentando o risco de incêndios florestais em grande escala (Williams et al., 2019).

Desde 1972, a Califórnia tem registado um aumento expressivo na incidência de incêndios florestais, com a área queimada ampliando-se cinco vezes até 2018. Esse crescimento está associado ao avanço da aridez atmosférica durante o verão, causado pela elevação das temperaturas e pela escassez de precipitação, que favorecem a propagação do fogo em áreas florestais. No outono, os principais fatores de propagação relacionam-se a eventos eólicos, em especial os ventos de Santa Ana e os North Winds, que, combinados ao acúmulo de material combustível, criam condições para incêndios de grande escala (Williams et al., 2019; Keeley; Syphard, 2019).

Segundo Keeley e Syphard (2019), os incêndios florestais na Califórnia podem ser agrupados em duas categorias principais: dominados por combustível e dominados por vento. Os primeiros, como o Rush Fire de 2012, resultam do acúmulo de biomassa devido à exclusão do fogo natural e ao manejo florestal inadequado, ocorrendo em áreas de alta carga de combustível. Já os incêndios dominados por vento, associados aos Santa Ana e North Winds, são caracterizados pela propagação rápida e destrutiva, sobretudo quando atingem áreas urbanas, e exigem estratégias diferenciadas de prevenção e mitigação.

O Camp Fire, ocorrido em novembro de 2018 no Condado de Butte, destacou-se como o incêndio mais destrutivo e letal da história da Califórnia, resultando na destruição de mais de 18.000 estruturas e 85 mortes. Iniciado próximo à comunidade de Pulga, o fogo se propagou rapidamente para Concow e Paradise, onde ocorreram a maior parte das fatalidades. A velocidade de propagação, associada a dificuldades de evacuação e congestionamentos nas vias de escape, levou a múltiplos episódios de entrincheiramento e queimaduras severas tanto em civis quanto em socorristas (Link; Maranghides, 2023).

O estudo conduzido por Link e Maranghides (2023) identificou 23 eventos críticos durante o Camp Fire, envolvendo cercos de fogo e rotas de evacuação comprometidas. Constatou-se que a maioria desses episódios ocorreu em áreas urbanas inseridas na interface com zonas florestais, evidenciando a vulnerabilidade da população. Os autores destacam a necessidade de evacuações preventivas mais eficazes, aliadas ao manejo da vegetação nas rotas de fuga e à criação de zonas de refúgio temporário para reduzir os riscos de fatalidades.

Além desses achados, Comfort et al. (2021) analisaram os efeitos do Camp Fire sobre a ação coletiva e a vulnerabilidade das comunidades locais. Embora algumas medidas de evacuação tenham sido implementadas, a rápida disseminação das chamas e a insuficiente coordenação institucional comprometeram a proteção à vida humana. Muitos residentes não receberam informações adequadas para uma saída segura, e a percepção de risco por parte de alguns moradores mostrou-se subestimada, o que agravou o número de vítimas. O estudo também destacou o dilema enfrentado no período de reconstrução: restaurar as comunidades nas áreas vulneráveis ou adotar novas estratégias de ordenamento territorial. Apesar dessas dificuldades, houve forte mobilização comunitária, com redes de apoio e participação ativa em debates sobre políticas de prevenção. Contudo, os autores alertam que a resiliência comunitária só poderá ser consolidada mediante políticas públicas integradas e investimentos em infraestrutura de segurança e comunicação (Comfort et al., 2021).

No campo legislativo, Knapp et al. (2021) examinaram os fatores que influenciaram a sobrevivência das residências no Camp Fire. A proximidade de casas destruídas e a densidade da vegetação no entorno

foram variáveis determinantes. As residências construídas após a adoção do Capítulo 7A do Código de Construção da Califórnia (2008) apresentaram taxas de sobrevivência ligeiramente superiores, ainda que não estatisticamente significativas. Entretanto, casas situadas a mais de 18 metros de estruturas destruídas e cercadas por menor cobertura vegetal (menos de 53% em um raio de 30 a 100 metros) tiveram maiores chances de resistir ao incêndio. O estudo reforça a importância da combinação entre normas construtivas mais rigorosas e medidas de mitigação, como a criação de espaços defensivos, a remoção de combustíveis próximos às casas e o uso de materiais resistentes ao calor e à radiação, incluindo fachadas não combustíveis e vidros temperados. Os autores alertam ainda que a densidade habitacional elevada pode intensificar a propagação do fogo, sugerindo que esforços colaborativos entre vizinhos e políticas urbanísticas mais restritivas são essenciais para reduzir riscos em áreas de interface urbano-florestal.

Em síntese, os incêndios florestais na Califórnia — especialmente o Camp Fire — evidenciam como a combinação de fatores climáticos, estruturais e de gestão territorial aumenta a vulnerabilidade das comunidades na interface urbano-florestal. A literatura analisada aponta para a necessidade de estratégias multissetoriais, integrando evacuações preventivas, manejo da vegetação, regulamentação construtiva e participação comunitária, como medidas indispensáveis para enfrentar a crescente severidade dos incêndios no estado.

2.1.7 'BLACK SUMMER' NA AUSTRÁLIA (2019 - 2020): MEGAINCÊNDIOS, IMPACTOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E DESAFIOS DE GOVERNANÇA

Os incêndios florestais ocorridos na Austrália entre 2019 e 2020, conhecidos como Black Summer, configuraram-se como um dos eventos mais devastadores já registrados no país. Estendendo-se entre julho de 2019 e março de 2020, atingiram principalmente a costa leste, incluindo Nova Gales do Sul, Queensland e Victoria. A área total queimada variou entre as estimativas: mais de 11 milhões de hectares segundo Ahmed e Ledger (2023), podendo chegar a 17 milhões de hectares de acordo com Friberg, Martinsson e Sporre (2023). As causas estão associadas a uma combinação de fatores climáticos extremos, como seca prolongada e temperaturas acima da média, intensificados pelas mudanças climáticas globais (Chester, 2020).

Os impactos sobre a população e os ecossistemas foram severos. Estimativas de mortes diretas divergem: 34 vítimas (Ahmed; Ledger, 2023) contra 33 registradas por Chester (2020). Além disso, cerca de 450 óbitos adicionais foram atribuídos à má qualidade do ar, acompanhados por mais de 4000 hospitalizações relacionadas a problemas respiratórios. Em termos de biodiversidade, calcula-se que mais de um bilhão de animais morreram, com várias espécies ameaçadas de extinção (Ahmed; Ledger, 2023; Chester, 2020). Os prejuízos econômicos foram estimados em até AUD 100 bilhões, abrangendo perdas nos setores agrícola e turístico, bem como custos de reconstrução de infraestruturas (Chester, 2020).

Do ponto de vista atmosférico, o Black Summer produziu fenômenos de grande escala. A formação de nuvens de pirocumulonimbus (PyroCb) em 29 de dezembro de 2019 e 4 de janeiro de 2020 transportou grandes quantidades de fumaça para a estratosfera, alcançando altitudes de até 35 km (Friberg; Martinsson; Sporre, 2023). Esse aumento de aerossóis teve proporções semelhantes às registradas após grandes erupções vulcânicas e persistiu por quase um ano, sendo considerado o evento climático mais grave do Hemisfério Sul desde a erupção do Monte Pinatubo (1991) (Friberg; Martinsson; Sporre, 2023).

Outro aspecto crucial foi a relação dos incêndios com a interface urbano-florestal (IUF). Ahmed e Ledger (2023) destacam que a infiltração do fogo em áreas urbanas foi favorecida pela ausência de

práticas adequadas de redução de riscos, como as queimadas controladas utilizadas tradicionalmente por povos indígenas. Chester (2020) reforça que a negligência histórica com essas práticas contribuiu para o acúmulo de material combustível, intensificando os impactos nas zonas urbanas adjacentes às florestas.

Em termos institucionais, verificou-se inicialmente falha de coordenação entre os governos federal e estaduais, consequência da estrutura fragmentada de responsabilidades em situações de emergência. Essa fragilidade suscitou debates sobre a necessidade de atribuir ao governo federal poderes excepcionais em cenários de desastres naturais. Uma Comissão Real foi instaurada para investigar o evento e propor mudanças estruturais na governança do fogo (Chester, 2020). O consenso na literatura é que as mudanças climáticas amplificaram a frequência e a severidade dos incêndios florestais na Austrália, demandando um planejamento mais robusto, coordenado e integrado de políticas públicas (Friberg; Martinsson; Sporre, 2023).

2.1.8 BRASIL, 2019 - 2020

2.1.8.1 Amazonia, 2019 Incêndios florestais na Amazônia em 2019: causas estruturais, impactos e desafios institucionais

Os incêndios florestais na Amazônia, especialmente no ano de 2019, configuraram-se como um dos principais problemas ambientais do Brasil, com impactos significativos para o bioma, a economia e a saúde pública. Esses eventos foram agravados principalmente por atividades humanas, como o desmatamento voltado à expansão agrícola, o uso do fogo para limpeza de áreas de pastagem e a insuficiência de fiscalização ambiental. A prática recorrente de cortar árvores durante a estação chuvosa e queimá-las na estação seca, voltada à abertura de áreas para pecuária e cultivo de soja, esteve no centro do processo. A relação entre desmatamento e incêndios ficou evidente em 2019, quando o desmatamento aumentou 39% em relação a 2012, contribuindo diretamente para o crescimento do número de focos (Butt et al., 2021; Silva et al., 2021). Embora o clima seco favoreça a propagação do fogo, Kelley et al. (2021) demonstram que, naquele ano, a influência meteorológica foi mínima: apenas 9% de probabilidade de os incêndios terem sido causados exclusivamente por fatores climáticos.

Os impactos ambientais foram expressivos. Estima-se que cerca de 906.000 hectares do bioma amazônico tenham sido afetados diretamente, com grandes emissões de carbono que influenciam o equilíbrio climático global (Kelley et al., 2021). A destruição de extensas áreas de floresta primária comprometeu a biodiversidade, reduziu a capacidade de regulação climática e de retenção de água, agravando os processos de degradação ambiental. Estudos indicam ainda que o uso contínuo do fogo para renovação de pastagens e a degradação do sub-bosque tornam a floresta mais vulnerável a incêndios futuros (Butt et al., 2021; Silva et al., 2021).

Os efeitos sobre a saúde pública também foram graves. A exposição ao material particulado fino (PM_{2.5}), resultante das queimadas, causou um aumento significativo de doenças respiratórias. Estudos estimam que, para cada 1.000 incêndios na estação de queimadas, ocorram em média 22 internações hospitalares entre crianças e idosos, e que em 2019 houve 3.400 mortes adicionais associadas à poluição do ar (Butt, et al., 2021) (Ribeiro, et al., 2024). Tais dados reforçam a urgência de políticas públicas que integrem saúde e meio ambiente, incluindo sistemas de vigilância para monitoramento da saúde respiratória da população durante os períodos críticos (Ribeiro et al., 2024).

A interface entre áreas agrícolas e florestas primárias desempenhou papel central na propagação do fogo. Nessas zonas de transição, o uso do fogo em áreas recém-desmatadas frequentemente se espalha de forma descontrolada para a floresta adjacente, como observado em estados como o Acre (Silva et al.,

2021). Esse padrão reforça a relevância da interface urbano-rural e agroflorestal na dinâmica dos incêndios amazônicos.

No campo jurídico, o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) estabelece diretrizes de preservação e uso sustentável das florestas. Entretanto, sua implementação mostrou-se insuficiente para conter o avanço do desmatamento e das queimadas (Brasil, 2012). A Portaria Conjunta nº 1/2020 transferiu aos municípios a responsabilidade pela regularização fundiária, o que, segundo Correa e Correa (2020), acabou por facilitar a ocupação ilegal de terras públicas e contribuir para novos focos de incêndio e desmatamento. Como resposta emergencial, o governo federal decretou em 2019 uma moratória do fogo de 60 dias, proibindo queimadas, mas a medida foi ineficaz devido à frágil fiscalização e à redução da capacidade operacional do IBAMA (Machado et al., 2024).

No plano econômico e político, a questão amazônica tornou-se um ponto de tensão global. A Moratória da Soja (2006), criada para impedir a compra de soja cultivada em áreas desmatadas ilegalmente, perdeu efetividade nos últimos anos, especialmente após 2018, com o enfraquecimento das políticas de fiscalização (Correa; Correa, 2020; Butt et al., 2021). Durante o governo Jair Bolsonaro, observou-se uma flexibilização das políticas ambientais, acompanhada de um discurso oficial que incentivou práticas como desmatamento e ocupação ilegal de terras públicas (Silva et al., 2021; Kelley et al., 2021). Essa postura resultou em críticas contundentes da comunidade internacional, com ameaças de boicote a produtos brasileiros, pressões diplomáticas e sanções econômicas. A Amazônia consolidou-se, assim, como questão central nos debates globais sobre mudanças climáticas e conservação ambiental.

2.1.8.2 Incêndios no Pantanal em 2020: causas, impactos e desafios para a gestão do fogo

Os incêndios de 2020 no Pantanal brasileiro representaram um desastre ambiental de proporções sem precedentes, com consequências severas para a biodiversidade, a saúde pública e até mesmo para a matriz energética do país. Aproximadamente 4,5 milhões de hectares foram queimados, o que correspondeu a cerca de 30% da área total do bioma. Esse valor foi 200% superior à média histórica de áreas queimadas entre 2000 e 2019 (Ferreira Barbosa et al., 2022; Pelissari et al., 2023). Um fator crítico foi a proximidade das áreas atingidas em relação às infraestruturas humanas: 60% dos focos estavam localizados a menos de 5 km de estradas, vias navegáveis e ferrovias, e 80% a menos de 10 km de áreas com atividades humanas, como rodovias e áreas de pastagem (Neto; Evangelista, 2022).

Os incêndios não ficaram restritos ao Pantanal, afetando também os biomas vizinhos do Cerrado e da Amazônia. A fumaça e os gases liberados pelas queimadas se espalharam por vastas regiões, comprometendo a qualidade do ar e agravando as condições climáticas em grande parte do Brasil (Rosário et al., 2022). A biodiversidade foi fortemente impactada: as áreas queimadas eram compostas predominantemente por gramíneas (60%), seguidas por florestas (15%) e savanas (14%) (Ferreira Barbosa et al., 2022). Estimativas apontam para a morte de cerca de 17 milhões de vertebrados, sendo os mamíferos neotropicais particularmente afetados, o que aumentou a vulnerabilidade dessas espécies (Neto; Evangelista, 2022; Bardales et al., 2024).

Outro impacto significativo foi a pluma de fumaça, que cobriu cerca de 2,6 milhões de km². Esse fenômeno reduziu em até 200 W/m² a radiação solar incidente, afetando a qualidade do ar e provocando um aumento nos casos de doenças respiratórias e cardiovasculares. Além disso, a fumaça interferiu na produção de energias renováveis, prejudicando tanto a geração solar (redução da incidência solar) quanto a hidroelétrica (alteração do regime de chuvas) (Rosário et al., 2022).

A crise foi agravada pela pandemia de COVID-19. Houve queda expressiva na aplicação de multas ambientais, não por redução das infrações, mas pela diminuição da fiscalização. O corte de recursos

para órgãos como o IBAMA, combinado a atos legislativos que flexibilizaram a proteção ambiental e favoreceram a expansão de culturas como soja e cana-de-açúcar em áreas sensíveis, intensificou a vulnerabilidade do Pantanal e da Amazônia (Pelissari et al., 2023). As restrições sanitárias, a escassez de equipamentos de proteção para brigadistas e a redução de efetivo comprometeram ainda mais a capacidade de combate ao fogo.

Em resposta, o governo brasileiro decretou em julho de 2020 uma moratória de quatro meses proibindo o uso do fogo durante a estação seca. No entanto, a medida mostrou-se insuficiente, destacando a necessidade de políticas mais robustas e integradas. Pesquisadores defendem a adoção do Manejo Integrado do Fogo (MIF) e da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF) como pilares de uma gestão mais eficiente, que exige cooperação federativa e maior fiscalização em terras privadas, onde ocorre a maioria dos incêndios (Pelissari et al., 2023). Além disso, a criação de brigadas permanentes, com participação de comunidades locais e indígenas, é considerada essencial para prevenir e enfrentar novos episódios (Pelissari et al., 2023).

Dessa forma, ficou evidente que os incêndios do Pantanal em 2020 foram resultado de uma combinação de fatores climáticos extremos, expansão agropecuária descontrolada, fragilidade legislativa e falhas de fiscalização. Embora medidas governamentais tenham sido implementadas posteriormente, ainda são necessárias ações estruturantes, intersetoriais e duradouras para evitar que tragédias semelhantes voltem a se repetir.

2.1.9 ANÁLISE COMPARATIVA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS DE GRANDES PROPORÇÕES E SUAS IMPLICAÇÕES NA GESTÃO DE ÁREAS DE INTERFACE URBANO-FLORESTAL

A última década testemunhou incêndios florestais devastadores que impactaram regiões significativas em vários países do mundo, como: a Rússia, Bolívia, Chile, Canadá, Portugal, Califórnia, Austrália e Brasil, na Amazônia e Pantanal. Esses eventos, embora ocorram em contextos ecológicos, climáticos e sociais distintos, compartilham elementos comuns que revelam a vulnerabilidade das áreas de interface urbano-florestal (IUF) e as deficiências das políticas públicas de prevenção e combate ao fogo. Analisando as causas, as características e as respostas governamentais, é possível identificar diretrizes essenciais para a gestão eficaz dessas áreas em diferentes biomas. Para explicitar o caráter comparativo, adotam-se quatro eixos analíticos: (i) determinantes físico-climáticos; (ii) fatores antrópicos/uso do fogo; (iii) arranjos institucionais e coordenação; (iv) papel da IUF nas perdas e nas respostas.

Na Rússia, os incêndios de 2010, que devastaram mais de 500 mil ha e causaram 50 mortes, foram impulsionados por uma combinação de seca extrema e temperaturas elevadas (recordes), as maiores registradas em 130 anos. A infraestrutura florestal inadequada e a descentralização das responsabilidades de manejo após a dissolução da União Soviética exacerbaram a situação. A falta de um sistema centralizado eficiente e a ausência de uma coordenação inter-regional adequada impediram uma resposta eficaz ao fogo (Goldammer, et al., 2013). Esse contexto destaca a importância de uma governança ambiental sólida e centralizada, especialmente em áreas de IUF, onde a interação entre o meio ambiente e a ocupação humana intensifica os riscos.

Por outro lado, a Bolívia enfrenta desafios distintos, com incêndios recorrentes nas florestas tropicais, especialmente nas regiões de Chiquitania e Santa Cruz. Em 2010, as causas principais foram atribuídas ao uso do fogo para práticas agrícolas e pecuárias, além da falta de fiscalização e controle sobre desmatamentos ilegais. A vulnerabilidade das florestas secas e a rápida recuperação da vegetação após as queimadas dificultam a implementação de políticas de manejo sustentável. O governo boliviano, apesar de algumas iniciativas de recuperação pós-incêndio, ainda enfrenta críticas pela falta de um

planejamento integrado e de políticas que restrinjam práticas agrícolas prejudiciais nas áreas de IUF (Silva, et al., 2018; Portilho-Quintero, et al., 2013).

No Chile, os grandes incêndios de 2014 e 2017 revelaram como a expansão desordenada das áreas urbanas, a gestão inadequada da vegetação e a ausência de uma infraestrutura preventiva eficaz contribuem para a propagação do fogo em áreas de IUF. A má administração do crescimento urbano, especialmente nas áreas de encostas, e a ausência de planos de evacuação adequados foram fatores determinantes para a severidade dos eventos. Apesar dos esforços para aprimorar o planejamento e a gestão territorial, ainda há necessidade de maior coordenação entre as autoridades locais e nacionais para mitigar os riscos em áreas de interface (Castillo, et al., 2014; Sarricolea, et al., 2020).

Comparativamente, no Canadá, os incêndios de Fort McMurray em 2016, que consumiram mais de 500 mil ha e causaram prejuízos econômicos superiores a US\$ 4 bilhões, expuseram as limitações das estratégias de mitigação em áreas de IUF. A combinação de condições hidrometeorológicas extremas, como a seca e o vento forte, aliadas à presença de material combustível denso, dificultou o combate ao fogo. A experiência canadense destaca a importância de estratégias de mitigação que incluam o manejo de vegetação, a construção de infraestruturas defensivas e a implementação de políticas de evacuação mais eficientes (Hassan, et al., 2021).

Em Portugal, os incêndios de 2017, que resultaram em 117 mortes, evidenciam a urgência de um planejamento mais robusto nas áreas de IUF. A propagação rápida e incontrolável do fogo, agravada pela falta de rotas de evacuação seguras e pela má coordenação entre os serviços de emergência, apontou a necessidade de revisar as políticas de uso do solo e de fortalecer a legislação contra a ocupação desordenada de áreas de risco (Rodrigues, et al., 2022).

Nos Estados Unidos, a Califórnia enfrenta uma dinâmica semelhante, com incêndios frequentes que se intensificam devido à combinação de seca, ventos fortes e densidade populacional elevada nas áreas de interface. A implementação de regulamentações mais rigorosas para construção em áreas de risco, aliada a estratégias de manejo de combustíveis e evacuação, é essencial para reduzir os danos (Knapp, et al., 2021). A situação na Califórnia exemplifica a necessidade de uma abordagem multidimensional que integre planejamento urbano, gestão ambiental e políticas públicas.

No Brasil, os incêndios na Amazônia e no Pantanal em 2019 e 2020 foram agravados pela redução na aplicação de multas ambientais aos incumpridores e pelo enfraquecimento dos órgãos de fiscalização. A combinação de práticas agrícolas inadequadas, falta de monitoramento e políticas públicas ineficientes contribuiu para a devastação de milhões de ha e para a emissão de grandes quantidades de gases de efeito estufa. A resposta governamental, limitada pela moratória do uso do fogo e por cortes orçamentários, foi insuficiente para mitigar os impactos, evidenciando a necessidade de políticas mais abrangentes e integradas (Pelissari, et al., 2023).

A Austrália, que sofreu com os incêndios de 2019-2020, conhecidos como Black Summer, viu mais de 11 milhões de ha queimados devido a uma combinação de seca extrema, altas temperaturas e falta de práticas adequadas de manejo de risco de incêndios. A falha na coordenação entre governos estaduais e federal e a falta de implementação de práticas tradicionais de manejo por queimadas controladas contribuíram para a severidade dos incêndios. A Comissão Real estabelecida após os eventos destacou a necessidade de revisão das políticas públicas e de uma melhor preparação para eventuais futuros desastres (Chester, 2020).

Síntese comparativa: Nos eixos (i)–(iv), observam-se convergências: calor/vento/seca extremos como gatilhos comuns; peso de fatores antrópicos (uso do fogo agropecuário, expansão urbana na IUF); e falhas de coordenação na resposta. Há divergências estruturais: em contextos boreais (Canadá) prevalece

a combinação de anomalias hidrometeorológicas e continuidade de combustíveis; em mediterrâneos (Portugal, Chile) sobressaem ordenamento urbano/evacuação e gestão da vegetação na IUF; em trópicos (Bolívia, Amazônia/Pantanal) destacam-se usos do fogo e fiscalização; na Califórnia, o acento recai sobre normas construtivas e densidade na interface. Em todos, a IUF aparece como zona crítica para mitigação (gestão de combustíveis, construção/evacuação) e para ajuste de governança.

Esses casos demonstram que, independentemente do contexto geográfico e político, a gestão eficaz das áreas de interface urbano-florestal requer uma abordagem integrada, que considere simultaneamente aspectos climáticos, socioeconômicos e culturais. Esta tese foca na criação de uma estrutura legal e de gestão adaptável a diferentes realidades, fundamentada em princípios comuns de prevenção, fiscalização e participação comunitária.

A comparação internacional evidencia que, apesar das diferenças entre biomas e modelos institucionais, os incêndios florestais configuram-se como um problema global que exige soluções locais, baseadas em um entendimento aprofundado das dinâmicas específicas de cada região. A Tabela 1 sistematiza os principais eventos de incêndios florestais analisados nesta tese, reunindo de forma comparativa dados sobre a extensão das áreas queimadas, perdas humanas, causas predominantes, falhas institucionais, medidas implementadas após os eventos e a relevância atribuída à interface urbano-florestal (IUF) na literatura. Esse recurso visual não apenas facilita a compreensão das especificidades de cada caso nacional, mas também evidencia padrões comuns entre diferentes contextos geográficos e políticos. Ao integrar informações essenciais em um formato sintético, a tabela amplia a aplicabilidade das análises, fornecendo subsídios diretos para a formulação de políticas públicas de prevenção, mitigação e gestão adaptada às particularidades locais.

Tabela 1: Quadro comparativo dos grandes incêndios florestais (2010–2020): áreas afetadas, perdas humanas, causas, falhas institucionais, pós-evento e IUF.

País/ano	Área queimada (ha)	Mortes	Causas predominantes (síntese)	Falhas institucionais apontadas	Pós-evento (medidas)	IUF em foco?
Rússia (2010)	>500.000	>50	Seca extrema; altas T°	Descentralização pós-Código Florestal; orçamento reduzido; coordenação inter-regional insuficiente	Reformas legais, medidas administrativas, acordos interinstitucionais.	Parcial
Bolívia (2010)	n/d	n/d	Uso do fogo agropecuário; vulnerabilidade em secas	Fiscalização/planejamento insuficientes	Ações de prevenção/controlar pontuais; debate legal	Parcial
Bolívia (2019)	5.000.000	n/d	Queimas tradicionais, mudanças climáticas; grilagem/pressão agronegócio	Resposta tardia; críticas à superficialidade do pós-fogo	Plano de recuperação; em 2020 Corte declara “ecocídio”; iniciativas legislativas (2019–2021)	Parcial
Chile (2014)	n/d	n/d	Ocupação em colinas/ravinas; negligências humanas; topografia/ventos	Ordenamento/IUF deficitários; sanções pouco eficazes	Identificação de áreas críticas; propostas de pré-ataque e gestão privada da vegetação	Sim
Chile (2017)	575.000	n/d	Seca prolongada; continuidade de combustíveis; plantações	Planejamento preventivo aquém da expansão da IUF	Recomendações de faixas livres de combustível (10–80 m) em áreas de IUF	Sim
Canadá (2016)	≥161.197	n/d	Déficit de umidade; El Niño + ODP; ventos; combustíveis	Cortes orçamentários; recomendações negligenciadas	Zonas de amortecimento, vias de saída, materiais resistentes ao fogo nas edificações e educação	Sim
Portugal (2017)	>200.000	114–117	Calor/vento extremos.	Falta de rotas de evacuação seguras e pela má coordenação entre os serviços de emergência	Revisões legais (SGIFR; PGIFR 2020–2030; penalidades), evacuações preventivas.	Sim

País/ano	Área queimada (ha)	Mortes	Causas predominantes (síntese)	Falhas institucionais apontadas	Pós-evento (medidas)	IUF em foco?
Califórnia/ EUA (2018)	n/d	85	Ventos (Santa Ana/North); material seco.	Dificuldades de evacuação; comunicação/coordenação	Literatura sugere regulamentações mais rigorosas para construção em áreas de risco, aliada a estratégias de manejo de combustíveis e evacuação	Sim
Austrália (2019–20)	≈11–17 milhões	33–34	Seca prolongada e temperaturas acima da média	Coordenação federativa falha; baixa adoção de manejo de terras	Revisão de governança e preparação	Sim
Brasil/Ama zônia (2019)	≈906.000	n/d	Desmate/queima para agropecuária	Fiscalização insuficiente; moratória do fogo pouco eficaz	Moratória 60 dias; debates sobre governança e comércio	Parcial
Brasil/Pant anal (2020)	≈4,5 milhões	n/d	Desmate/queima para agropecuária; proximidade a infraestruturas.	Fiscalização e recursos limitados; pandemia reduziu resposta	Moratória 4 meses; propostas PNMIF/MIF; brigadas permanentes	Parcial

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos estudos analisados (Goldammer et al., 2013; Silva et al., 2018; Portilho-Quintero et al., 2013; Castillo et al., 2014; Sarricolea et al., 2020; Hassan et al., 2021; Rodrigues et al., 2022; Knapp et al., 2021; Link & Maranghides, 2023; Chester, 2020; Friberg; Martinsson; Sporre, 2023; Pelissari et al., 2023; Ribeiro et al., 2024).

2.2. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Para embasar a pesquisa, agora no campo acadêmico, com ênfase na Interface Urbano Florestal, uma análise bibliométrica foi realizada. Para conduzir o estudo, foi utilizada a base de dados Scopus (Elsevier), aplicando critérios de busca específicos. Os resultados refletem diferentes métodos de filtragem, adaptados à plataforma, visando fornecer uma base sólida que permita uma avaliação detalhada do estado atual do conhecimento sobre o tema. No escopo desta tese, a revisão bibliométrica tem função instrumental: (i) consolidar a terminologia e os descritores associados à IUF/WUI; (ii) evidenciar lacunas geográficas e temáticas pertinentes ao Brasil/Cerrado/Tocantins; e (iii) orientar os recortes analíticos e as prioridades dos capítulos empíricos e propositivos.

2.1.10 BASE DE DADOS SCOPUS

A análise na base de dados Scopus teve início com uma abordagem exploratória, aplicando filtros específicos que direcionaram a busca para o segmento de Título, Resumo e Palavras-chave com termos e sinônimos relacionados à interface urbano-florestal (WUI/IUF). Esse procedimento resultou na identificação de 1041 artigos relevantes.

Nesta primeira busca e para maior abrangência, não foram aplicadas restrições quanto ao ano de publicação. Os resultados obtidos mostram que o período de publicações registradas neste banco de dados sobre o tema começa em 1979, com apenas uma publicação. Após um longo período sem registros, observa-se que, a partir de 1990, começam a surgir publicações esparsas. A frequência de registros se torna mais consistente a partir do ano 2000, embora ainda com números modestos.

Nos anos 2000, o número de publicações permaneceu relativamente baixo, mas constante, com pelo menos uma publicação por ano. Um aumento gradual pode ser observado a partir de 2010, com um crescimento mais acentuado a partir de 2021. Entre 2010 e 2020, houve um total de 416 registros, com o pico de 70 publicações ocorrendo em 2020.

A partir de 2021, o número de publicações sobe consideravelmente, atingindo 83 registros tanto em 2021 quanto em 2022, e alcançando 117 publicações em 2023, sendo este o ano com a maior concentração de publicações até o momento. Em 2024 (até a data da presente pesquisa – 09 de setembro de 2024), já foram registrados 73 artigos, o que indica uma tendência contínua de crescimento.

Com esses dados, pode-se observar que o tema estudado tem ganho cada vez mais relevância na última década, especialmente nos anos recentes, refletindo um maior interesse da comunidade científica sobre o tema (Figura 3).

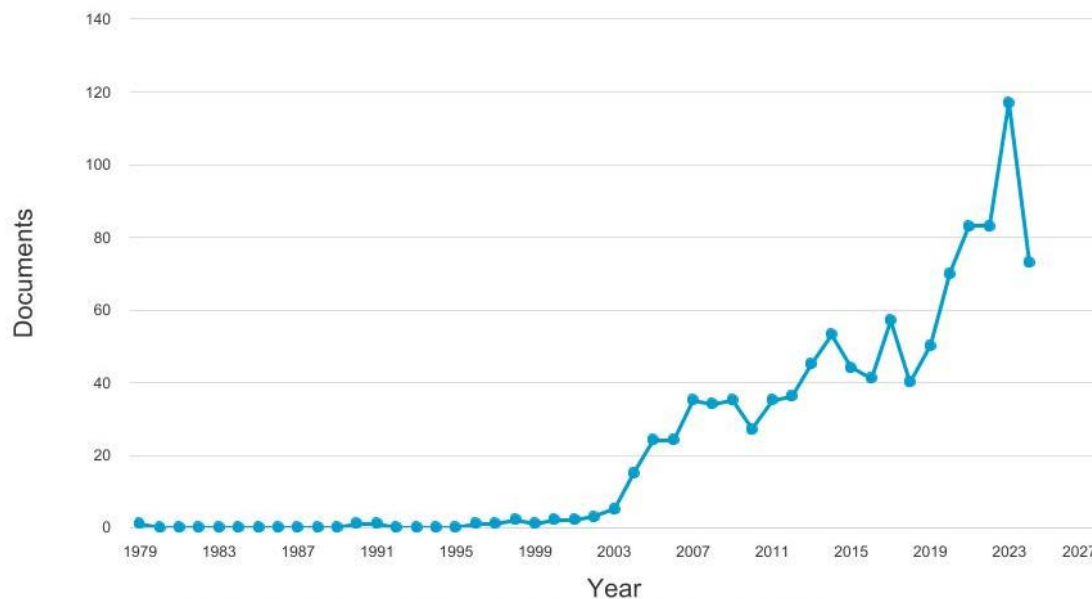


Figura 3- Documentos por ano na base Scopus sobre “fires urban forest interface”.

Com base nos resultados, para uma análise mais detalhada, foram aplicados filtros adicionais, limitando a análise aos anos de 2010 a 2024 (agosto de 2024). Esse período permitiu uma visão mais aprofundada sobre as tendências atuais e emergentes no campo de estudos da interface urbano-florestal e dos incêndios. Durante esse intervalo, as publicações totalizaram 854 documentos, distribuídos em diversas áreas do conhecimento.

A área com maior concentração de publicações foi Ciências Ambientais, que contabilizou 463 artigos, evidenciando o foco das pesquisas sobre os aspectos ambientais relacionados aos incêndios florestais e à interface urbano-florestal.

Ciências Agrícolas e Biológicas aparece em segundo lugar, com 274 publicações, refletindo um interesse substancial nas interações entre o manejo agrícola e biológico com os incêndios. Engenharia ocupa a terceira posição, com 245 registros, sugerindo o desenvolvimento de soluções tecnológicas e infraestruturais para enfrentar os desafios dos incêndios na interface urbano-florestal. Ciências Sociais apresenta 200 publicações, refletindo o crescente interesse em estudos sociais e de políticas públicas relacionados com o tema.

Outras áreas, com número expressivo de publicações, incluem Ciências da Terra e Planetárias (132), Ciência dos Materiais (116), e Química (86). As pesquisas nessas áreas sugerem um interesse em aspectos geológicos, de materiais combustíveis, e químicos nos estudos sobre incêndios.

Além disso, foram registradas publicações em Física e Astronomia (67), Ciência da Computação (56), e Engenharia Química (50). Apesar de um número menor de registros, áreas como Medicina (37), Energia (34), e Multidisciplinar (23) também contribuíram significativamente para o total de publicações, demonstrando o impacto transversal dos incêndios em diversos campos do conhecimento.

Áreas com menor representatividade incluem Negócios e Gestão (18), Matemática (17), Ciências da Decisão (14), Economia (12), Bioquímica e Biologia Molecular (8), e outras áreas com menos de 10 publicações, como Artes e Humanidades, Enfermagem, Psicologia, Profissões de Saúde, Neurociência e Farmacologia.

Esses resultados destacam o caráter multidisciplinar dos estudos sobre incêndios e a interface urbano-florestal, abrangendo desde as ciências exatas e biológicas até as ciências sociais e humanas. A

complexidade e a abrangência do tema são refletidas pela diversidade de áreas de estudo envolvidas nas pesquisas (Figura 4).

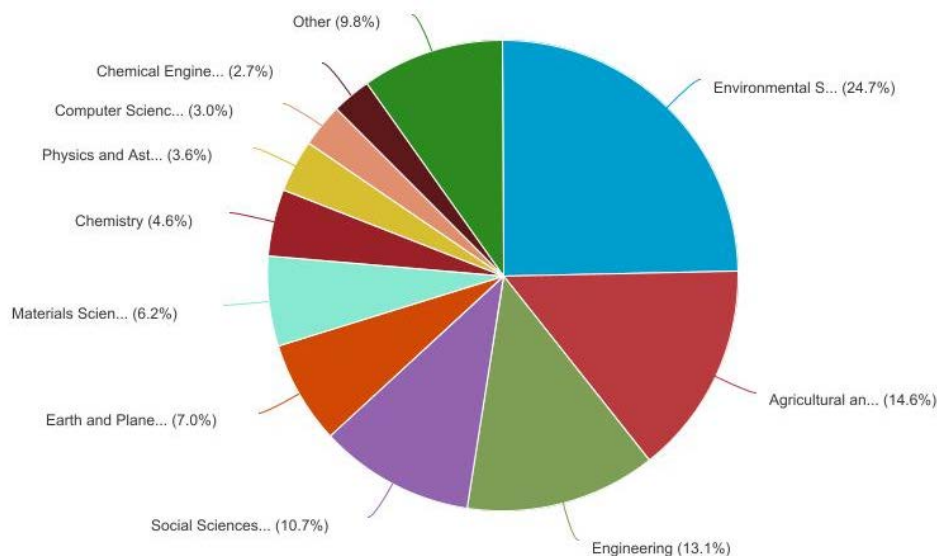


Figura 4- Documentos por área na base Scopus sobre “fires urban forest interface”

Para aprimorar a pesquisa sobre a interface urbano-florestal e os incêndios, foram selecionadas as áreas de estudo mais alinhadas ao tema da tese, sendo elas: Ciências Ambientais, Ciências Agrárias e Biológicas, Engenharia, Ciências Sociais, Ciências da Terra e Planetárias, e multidisciplinar. As áreas de Ciências Sociais e Multidisciplinar foram incluídas devido à abordagem da tese, que trata de aspectos relacionados à legislação e políticas públicas, essenciais no contexto da interface urbano-florestal e na gestão de incêndios.

Após essa seleção das áreas mais relevantes, aplicaram-se filtros adicionais com palavras-chave específicas relacionadas ao tema, como: incêndios, wildfire, interface, interface urbano-florestal, wildland urban interface (WUI), incêndios WUI, entre outras variações que abrangem as diversas terminologias utilizadas na literatura acadêmica sobre o tema, de forma que se filtrou 622 publicações.

Os dados resultantes evidenciam os países com maior número de publicações sobre o tema da interface urbano-florestal e incêndios. Os Estados Unidos lideram com 379 publicações, seguido por Espanha com 57, Austrália com 52, e Canadá com 44. Esses números indicam uma forte concentração de estudos em países desenvolvidos, especialmente na América do Norte e na Europa.

Outros países que se destacam incluem Itália com 37 publicações, Reino Unido com 32, China com 31, Japão e Portugal com 28 cada, e França com 25 publicações. Esses países refletem o foco de pesquisa em nações que enfrentam desafios significativos na gestão de incêndios florestais e no desenvolvimento de políticas públicas voltadas para mitigação.

Além disso, nota-se uma participação crescente de países da América Latina, com o Chile apresentando 22 publicações e o Brasil com 8 registros. Argentina também figura com 7 publicações. Esse envolvimento crescente reflete uma maior conscientização e interesse da América Latina nos estudos sobre incêndios e interface urbano-florestal.

Outros países que contribuem significativamente incluem Israel com 18 publicações, Grécia com 16, Suécia com 12, e Nova Zelândia com 9. Essas contribuições demonstram que o tema é abordado em diferentes contextos climáticos e econômicos, abrangendo tanto regiões mediterrâneas quanto de clima temperado.

A distribuição geográfica dessas publicações mostra a relevância global do estudo sobre incêndios florestais e interface urbano-florestal, com maior concentração em países desenvolvidos. Entretanto, há um interesse crescente por parte de nações emergentes, como os países da América Latina, que começam a aumentar sua participação neste campo de estudo, destacando a relevância do tema em uma perspectiva mais ampla e interdisciplinar (Figura 5).

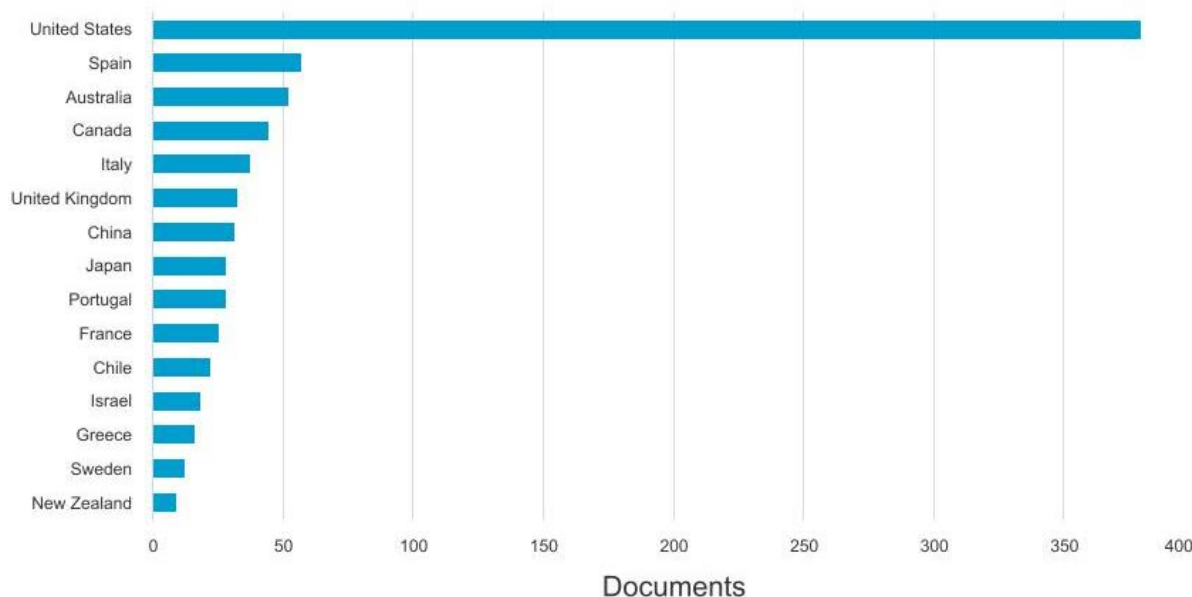


Figura 5- Documentos por países na base Scopus

Em consonância com Lamsaf et al. (2024) — que, por mineração de texto aplicada às publicações da Scopus (1979–2022), estruturam a literatura internacional de WUI nos eixos exposição–perigo–vulnerabilidade — esta revisão, de caráter descritivo (2010–2024), é utilizada aqui para sustentar os recortes territoriais e regulatórios da tese e para evidenciar lacunas de aplicação no Brasil/Cerrado/Tocantins, complementando o panorama global apresentado por aqueles autores. Enquanto Lamsaf et al. organizam a agenda por eixos temáticos, este mapeamento privilegia cortes por período, áreas e países, com finalidade aplicada aos capítulos empíricos e propositivos subsequentes.

Em termos de conclusões globais, Lamsaf et al. (2024) evidenciam (i) forte expansão da pesquisa sobre WUI no período 1979–2022 (acento após 2003 e pico em 2021–2022); (ii) predomínio de tópicos associados a exposição e perigo, com sub-representação de vulnerabilidade; e (iii) variações regionais na ênfase temática (maior peso relativo de “exposição” no sul da Europa e na América do Sul) (LAMSAF et al., 2024). Esses achados oferecem uma lente de leitura para a literatura internacional e ajudam a contextualizar as lacunas identificadas para o Brasil/Cerrado.

Em relação à temática abordada no Brasil, a Tabela 2 detalha os artigos selecionados utilizando o filtro “país/região - Brasil”. No entanto, ao analisar os resumos dos artigos, observa-se que nem todos possuem a área de estudo localizada no Brasil, mesmo estando listados sob esse filtro aplicado. Dos oito artigos listados, cinco efetivamente realizam suas investigações em áreas brasileiras.

Tabela 2 - Documentos sobre incêndios florestais selecionados por filtro "país/região - Brasil"

Autor	Título	Ano	Área do Estudo
Juvanhol R.S., Fiedler N.C., Dos Santos A.R., Da Silva G.F., Omena M.S., Eugenio F.C., Pinheiro C.J.G., Filho A.C.F.	Gis and fuzzy logic applied to modelling forest fire risk	2021	Brasil (Mato Grosso do Sul)
Franco M., Stefanuto E.B., Úbeda X., Pereira P.	Long-term impact of prescribed fire on soil chemical properties in a wildland-urban interface	2019	Espanha
Filkov A.I., Tihay-Felicelli V., Masoudvaziri N., Rush D., Valencia A., Wang Y., Blunck D.L., et al.	A review of thermal exposure and fire spread mechanisms in large outdoor fires	2023	Global
Zamproni K., Ferreira H.R., Batista A.C.	Evaluation of forest fires in Paraná in 2018 and 2019	2021	Brasil (Paraná)
Lopes R.F.R., Modarres M., Rodrigues J.P.C., Almeida M.	Experimental demonstration test of damages in houses caused by wildland-urban interface fires	2023	Portugal
Ferreira H.R., Batista A.C., Tetto A.F.	Assessment of firefighting efficiency of vegetation fires in Curitiba-Paraná	2021	Brasil (Paraná)
Batista A.C., Biondi D., Martini A.	Flammability of ornamental species for fire management in wildland-urban interface	2021	Brasil (Paraná)
Guerrero F., Espinoza L., Vidal V., Carmona C., Krel P., Targino A.C., Ruggeri M.F., Toledo M.	Black carbon and particulate matter concentrations amid central Chile's extreme wildfires	2024	Chile

Os estudos que focam o Brasil estão concentrados principalmente nos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, abordando temas como a gestão de riscos de incêndios florestais, a eficiência no combate a incêndios e a avaliação da inflamabilidade de espécies ornamentais na interface urbano-florestal (IUF). Estes artigos têm uma aplicação prática significativa nas regiões mencionadas, sendo úteis na formulação de políticas e estratégias de prevenção e controle de incêndios florestais.

Por outro lado, os demais artigos, embora apareçam sob o filtro "Brasil", têm sua aplicação prática em outras regiões, como: Espanha, Portugal, e Chile, ou oferecem uma abordagem global. Esses estudos focam dinâmicas mais amplas relacionadas a incêndios em áreas florestais, abordando o impacto dos incêndios em diferentes contextos climáticos e geográficos ao redor do mundo.

Os estudos "Evaluation of forest fires in Paraná in 2018 and 2019" e "Gis and fuzzy logic applied to modelling forest fire risk" abordam a questão dos incêndios florestais no Brasil, com foco em diferentes metodologias de análise e prevenção. O primeiro estudo avalia as características dos incêndios no Paraná, destacando a distribuição geográfica e temporal dos eventos entre 2018 e 2019, além de identificar os tipos de vegetação mais afetados, enfatizando a necessidade de medidas educativas para a prevenção de incêndios em terrenos baldios. O segundo estudo utiliza lógica fuzzy e sistemas de informação geográfica (GIS) para modelar o risco de incêndios florestais em áreas remanescentes de floresta natural no Brasil. A pesquisa identifica variáveis críticas para a segurança contra incêndios e combina esses fatores para criar mapas de risco, apontando a interface urbano-florestal como uma área particularmente vulnerável a incêndios. O estudo "Assessment of firefighting efficiency of vegetation fires in Curitiba-Paraná" salienta a relevância de estratégias de combate a incêndios considerando o conceito de IUF. Outro exemplo relevante é o artigo "Flammability of ornamental species for fire management in wildland-urban interface", que avalia a escolha de espécies vegetais com menor

inflamabilidade para o paisagismo em áreas da interface urbano-florestal no estado do Paraná. A proposta do estudo visa prevenir incêndios, minimizando os riscos em áreas de interface com a escolha de espécies vegetais adequadas.

Em contrapartida, os outros estudos listados, apesar de constarem no filtro "Brasil", aplicam suas metodologias em contextos internacionais, sem uma relação direta com a realidade brasileira. Um exemplo disso é o estudo que trata do impacto de incêndios florestais no Chile, evidenciando o impacto das queimadas em áreas urbanas e sua correlação com a poluição do ar e mudanças climáticas.

2.3. OPORTUNIDADE - JUSTIFICATIVA DE INVESTIGAÇÃO

A análise dos resultados da base de dados Scopus sobre incêndios em interface urbano-florestal revela uma carência notável de estudos dedicados a essa temática no Brasil, particularmente no que tange às especificidades dos diferentes biomas. Apesar de haver pesquisas pontuais, como no estado do Paraná, observa-se uma limitação quando se busca uma abordagem mais ampla quanto à delimitação dessas áreas e que contemple as particularidades de biomas estratégicos, como é o caso do Cerrado, especialmente no estado do Tocantins. Este bioma, caracterizado por ser uma das regiões mais suscetíveis a incêndios devido à sua vegetação e clima, exige uma atenção científica mais apurada.

As conclusões de Lamsaf et al. (2024) convergem com esse diagnóstico ao indicar baixa presença de estudos voltados à vulnerabilidade e assimetria regional na produção científica (LAMSAF et al., 2024), reforçando a pertinência de ampliar investigações aplicadas ao Cerrado e ao Tocantins com foco integrador entre IUF, governança e gestão do fogo.

É urgente a ampliação de estudos que mapeiem as características e as melhores delimitações dessas áreas vinculadas ao crescimento urbano e à transição nas vegetações selvagens somado aos riscos de incêndio e que proponham soluções adequadas às realidades locais. O estado do Tocantins, por sua localização e composição natural, é um dos que mais necessitam de estratégias específicas de prevenção e controle, devido a tendência de aumento das áreas de interface urbano-florestal e da ocorrência de incêndios.

Além disso, os resultados aqui apresentados estão em consonância com o estudo de Cancio et al. (2025), que evidenciou a predominância de pesquisas sobre o uso do fogo na Amazônia brasileira, concentradas sobretudo em temas como desmatamento, ecologia florestal e fogo, mas com reduzida atenção às dimensões sociais e institucionais. De modo complementar, Folharini et al. (2023) reforçam que, embora exista uma base consolidada de estudos sobre queimadas, biodiversidade e mudanças climáticas, ainda há uma lacuna significativa no que diz respeito à integração entre incêndios, áreas protegidas e mecanismos de governança territorial. A ausência de políticas consistentes e de instrumentos robustos de ordenamento territorial é apontada como um dos principais entraves à redução do risco de incêndios no Brasil, revelando a necessidade de pesquisas que articulem gestão do fogo, políticas públicas e participação social.

Portanto, o cenário atual evidencia a necessidade de intensificar a produção científica sobre incêndios no Brasil, abrangendo todos os seus biomas e, em especial, o Cerrado no estado do Tocantins. Este enfoque contribuiria significativamente para a elaboração de políticas públicas mais eficazes, adaptadas às características ambientais locais, promovendo não apenas a preservação ambiental, mas também a proteção das populações que vivem em áreas de risco.

No próximo capítulo desta tese a realidade tocantinense frente aos incêndios foi retratada bem como as características físicas, sociais e econômicas do estado para que sirva de apoio ao entendimento dos resultados nos capítulos subsequentes.

3.

CENÁRIO TOCANTINENSE E O FOGO

3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DO ESTADO

As caracterizações físicas, sociais e econômicas do estado do Tocantins têm importância para uma melhor adequação da legislação de combate a incêndio florestais. Compreender como o clima, a vegetação, o relevo, as características sociais e a economia do estado interagem na geração de perigosidade e risco (Anderson, et al., 2019; Moreira, et al., 2010) auxilia as sugestões de alteração legislativa e as torna mais eficazes. Considera-se que a componente perigosidade (fire danger) no risco de incêndio é específica para cada região e leva em conta os seguintes fatores (Moreira, et al., 2010; Anderson, et al., 2019):

- Características sociais, culturais e econômicas da população residente;
- Características ambientais e físicas do local como: umidade, direção e intensidade do vento, temperatura, relevo, vegetação, tipo de solo;

Características socioeconômicas como: o uso do fogo em atividades de agropecuária, uso da terra e a degradação florestal entre outros. Em termos operacionais, a perigosidade resulta da interação entre combustíveis, meteorologia e topografia — o piroambiente (NWCG, 2024; IPMA; ICNF, 2025).

É perceptível a necessidade de legislações adequadas à realidade do local para a gestão do fogo em determinado ecossistema. Desta forma a caracterização das suas componentes deve ser considerada na formulação e no aprimoramento das normativas. Essa orientação está alinhada a guias internacionais de manejo do fogo (FAO, 2024). Uma das componentes é a vulnerabilidade, que é complexa e pode estar associada, quando tratar de incêndios florestais, às questões sociais, ecológicas, físicas, econômicas e políticas (Anderson, et al., 2019).

Entre os conceitos básicos nos estudos de queimadas em florestas estão os seguintes:

- **Inflamabilidade:** propensão dos combustíveis à ignição, sustentação/propagação do fogo e consumo, comumente descrita por quatro componentes: ignitabilidade, combustibilidade, sustentabilidade e consumibilidade (SCHWILK, 2015; PRIOR; MURPHY; BOWMAN, 2018; ver também Moreira, et al., 2010).
- **Combustão:** processo químico de oxidação que libera calor e dá origem ao fogo; não se confunde com “comportamento do fogo”. O comportamento do fogo descreve como o fogo reage às influências de combustível, meteorologia e topografia (velocidade de propagação, comprimento de chamas, intensidade) (NWCG, 2024). Quando essa caracterização é feita à luz do piroambiente (combustíveis, meteorologia, topografia e suas interações), emprega-se o conceito de perigosidade (Moreira, et al., 2010; IPMA; ICNF, 2025).

O termo risco de incêndio resulta da combinação da perigosidade com a exposição e a vulnerabilidade dos elementos em risco (Moreira, et al., 2010; DGT, 2023). A inflamabilidade e a combustibilidade dos combustíveis dependem da secura do material que serve de combustível, bem como da estrutura e da continuidade da vegetação (Pivello, 2011; Moreira, et al., 2010).

Conhecer as características físicas da vegetação (espécies e biomassa em geral) são imprescindíveis para ações de prevenção e combate ao incêndio - em especial a carga/continuidade de combustíveis finos e lenhosos e a umidade — é imprescindível para ações de prevenção e combate ao incêndio, pois tais características estruturam a perigosidade em conjunto com as condições meteorológicas e a topografia, isto é, com o piroambiente (Anderson, et al., 2019; Moreira, et al., 2010; Pivello, 2011). Paton e Tedim (2012) reforçam a necessidade de inclusão social na gestão do fogo, pois a maneira como uma comunidade percebe a queima e como as suas decisões e ações afetam diretamente o risco; a capacidade de prevenção e a resposta da população são determinantes (Anderson, et al., 2019). Assim conclui que para definir a vulnerabilidade de uma região quanto aos incêndios florestais, bem como a sua inflamabilidade, comportamento do fogo, combustibilidade, risco de incêndio dentre outras variáveis importantes para o estudo deste tema, a interdisciplinaridade tem que estar presente e deve considerar dados nos aspectos espacial, social, econômico, político, ecológico e demográfico/censitário.

ASPECTOS FÍSICOS

O Estado do Tocantins, representado na Figura 6, é o mais jovem do Brasil, tendo sido criado em 1988 e instalado em 1989. Atualmente, possui 1.511.459 habitantes (IBGE, 2022), resultando em uma densidade demográfica de 5,45 hab/km², valor significativamente inferior à média nacional de 25,4 hab/km² no mesmo período, o que evidencia a baixa ocupação relativa do território. O estado é composto por 139 municípios, sendo os mais populosos Palmas (a capital), Araguaína, Gurupi, Porto Nacional e Paraíso do Tocantins. Seu território está situado na Região Norte do Brasil, com área total de 277.423,63 km², correspondendo a aproximadamente 3,26% do território nacional (IBGE, 2024). Ademais, 97,9% de sua extensão territorial encontra-se inserida na Amazônia Legal, o que confere ao Tocantins uma posição estratégica tanto do ponto de vista ecológico quanto de formulação de políticas públicas regionais (SEPLAN, 2023). O estado faz fronteira com Maranhão (nordeste), Piauí (leste), Bahia (sudeste), Goiás (sul), Mato Grosso (sudoeste) e Pará (noroeste) (SEPLAN, 2012; SEPLAN, 2023). A rede hidrográfica é ampla, composta por bacias estaduais organizadas em 18 áreas estratégicas de gestão, destacando-se os rios Tocantins e Araguaia, que, em sua confluência, formam a maior bacia hidrográfica inteiramente situada em território brasileiro (SEPLAN, 2012; SEPLAN, 2023).

A Amazônia Legal, na qual o Tocantins está inserido quase em sua totalidade, é uma área delimitada por lei com a finalidade de promover o desenvolvimento regional e orientar políticas públicas específicas para a região. Instituída pela Lei nº 1.806, de 6 de janeiro de 1953, durante o governo Getúlio Vargas, no âmbito do Plano de Valorização Econômica da Amazônia, teve como propósito inicial reduzir desigualdades regionais e fomentar o crescimento econômico. Posteriormente, a Lei Complementar nº 124, de 2007, consolidou suas delimitações atuais. Essa área abrange aproximadamente 5,2 milhões de km², o que corresponde a cerca de 60% do território nacional, e inclui nove estados: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão (parte oeste), Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Ressalta-se que a Amazônia Legal não corresponde integralmente ao bioma Amazônia, pois incorpora áreas do Cerrado e do Pantanal, especialmente nos estados do Maranhão e do Mato Grosso. O termo “Legal” refere-se, portanto, a um recorte estabelecido por critérios geoeconômicos e políticos, e não apenas ecológicos (Presidência da República, 1953; Presidência da República do Brasil, 2007).

Palmas, a capital estadual, está localizada na região central e apresenta população de 302.692 habitantes (IBGE, 2022). É a capital mais jovem do país, e desde sua fundação tem apresentado elevadas taxas de crescimento populacional, impulsionadas por correntes migratórias oriundas de diversos estados

brasileiros. Tal processo resulta da combinação entre a oferta de novas oportunidades econômicas, expansão de serviços e expectativas de geração de empregos, especialmente no contexto da consolidação do Tocantins como unidade federativa.



Figura 6 - Estado do Tocantins: Mapa de localização. Fonte: SEPLAN, 2023.

No território do Tocantins, predominam duas grandes províncias vegetacionais: a Floresta Ombrófila, pertencente ao Bioma Amazônia, e a Savana, que corresponde ao Bioma Cerrado — reconhecida como a maior savana da América do Sul (Miranda et al., 2009). Além disso, a região abriga áreas de contato entre diferentes tipos de vegetação, conhecidas como ecótonos, que funcionam como zonas de transição entre biomas distintos. Duas das três principais áreas de transição existentes no Brasil estão presentes no Tocantins: o ecótono Cerrado-Amazônia e o Cerrado-Caatinga. Do ponto de vista da biodiversidade, o Cerrado é considerado um dos biomas mais ricos do planeta, rivalizando com a Mata Atlântica, embora ambos estejam entre os mais ameaçados (Silva, 2007).

Nesse estado, o Cerrado ocupa aproximadamente 87,8% do território, enquanto a Amazônia corresponde a 12,2% restantes (SEPLAN, 2023). Quanto à vegetação, essas formações podem ser divididas em três grandes regiões fitoecológicas: Cerrado, Floresta Estacional e Floresta Ombrófila (Figura 7). O Cerrado apresenta elevada diversidade estrutural, abrangendo desde formações campestres (campos limpos e campos sujos), passando por formações savânicas (cerrado ralo, cerrado denso, cerrado rupestre, cerrado típico e veredas) até formações florestais mais densas, como o cerradão. A Floresta Estacional, ainda dentro do bioma Cerrado, caracteriza-se pela alternância entre estação chuvosa e período seco, no qual as árvores perdem suas folhas. Esse tipo de vegetação inclui desde matas de galeria e ciliares até formações em áreas mais elevadas, como mata seca decídua e semidecídua. Já a Floresta Ombrófila, localizada na porção amazônica do território, apresenta árvores que podem alcançar de 30 a 40 metros de altura, podendo ocorrer em duas variantes principais: ombrófila aberta, com menor densidade, e ombrófila densa, com estrutura fechada e espécies de grande porte (SEPLAN, 2023).

As áreas de transição entre essas regiões fitoecológicas constituem ecossistemas de elevada complexidade ecológica, onde diferentes formações vegetais coexistem e competem. Nesses ecótonos,

é comum a presença de espécies endêmicas e raras, muitas vezes organizadas em mosaicos, nos quais florestas tendem a ocupar encostas inferiores enquanto as formações savânicas se distribuem nos topos e encostas superiores (SEPLAN, 2023).

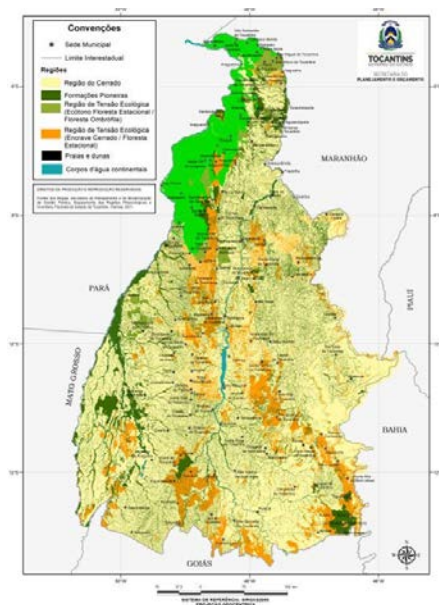


Figura 7- Estado do Tocantins: Regiões Fitoecológicas. Fonte: SEPLAN, 2023.

Durante a construção da capital Palmas, o Cerrado foi severamente impactado. Embora a cidade tenha sido inaugurada com o título de “Capital Ecológica”, a vegetação nativa foi amplamente removida em 1989 para abertura de avenidas, sendo substituída por espécies exóticas em áreas públicas, como ruas, praças e parques (Paz, 2009). Historicamente, o Cerrado ocupava quase 25% do território nacional (Miranda et al., 2009), mas vem sofrendo intensa pressão antrópica, especialmente em decorrência da expansão agrícola.

A fitofisionomia do Cerrado pode ser subdividida em diferentes formações, classificadas de acordo com suas características estruturais e composição florística (Silva, 2007; Ribeiro; Walter, 2008, p. 165). A Tabela 3 apresenta as principais tipologias e suas características, em a Figura 8 um gradiente que varia desde as formações florestais até as campestres e savânicas, destacando também os tipos de solos mais associados a cada fitofisionomia (Embrapa, 1999).

Tabela 3 - Características das Fitofisionomias presentes no Bioma Cerrado. Fonte: Adaptado (Silva, 2007)

Fitofisionomia	Características
Cerradão	Espécies do cerrado sentido restrito e de mata; cobertura arbórea que varia de 50 a 90%, formação de estratos arbustivos e herbáceo;
Cerrado (sentido restrito)	Árvores retorcidas, baixas, inclinadas, com ramos irregulares, tortuosas e comumente com sinais de queimadas;
Mata Ciliar	Vegetação florestal de margens de rios de médio e grande porte;
Mata de galeria	Vegetação florestal de margens de rios de pequeno porte e córregos – formando corredores de vegetação sobre os cursos d’água.
Campo sujo	Arbustos e subarbustos distribuídos, indivíduos florestais menos desenvolvidos em comparação do cerrado sentido restrito;
Campo rupestre	Arbustos e subarbustos distribuídos e poucos indivíduos florestais de até 2 metros de altura;
Campo limpo	Raros arbustos e ausência de árvores;

Parque de Cerrado	Árvores agrupadas em elevações de terreno;
Palmeiral	Presença destacada de uma espécie de palmeira arbórea;
Vereda	Presença da palmeira arbórea buriti localizada em agrupamentos densos de espécies arbustivo-herbáceas.

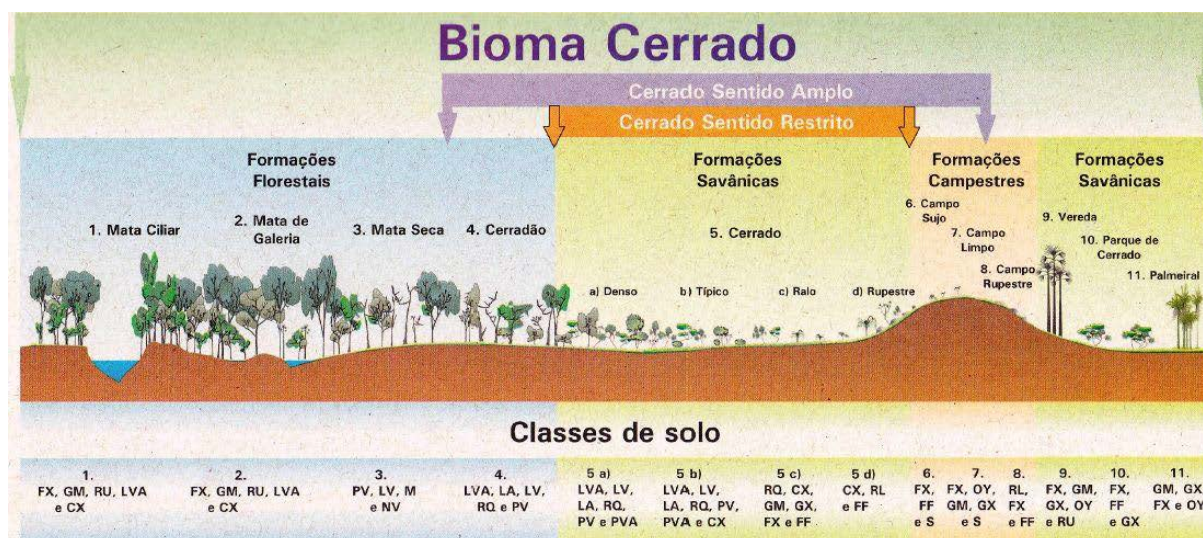


Figura 8 - Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado, apresentadas em gradiente daquelas de maior biomassa (formações florestais) para as de menor biomassa (formações campestres e savânicas), com indicação das classes de solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). Fonte: adaptado de Ribeiro; Walter (2008).

As savanas ocorrem tanto no clima estacional (em torno de seis meses de seca) e em clima ombrófilo, sendo neste último necessário a existência correlacionada de solos lixiviados e/ou aluminizados (Silva, 2007). Nas áreas de conservação do Cerrado, os programas de gerenciamento de incêndio são indispensáveis para manter a diversidade biológica, com base em conhecimento científico e dos povos indígenas que lá residem (Pivello, 2011).

A capacidade de queima desta vegetação tem que ser conhecida já que são o combustível do incêndio florestal e delas dependem a combustão e propagação do fogo (Moreira, et al., 2010), assim “a descrição quantitativa do combustível e uma tipologia para a sua classificação” é uma das exigências para compreender e minimizar riscos na gestão de incêndios florestais (Moreira, et al., 2010, p. 14). Em face disto a vegetação do cerrado mostra-se totalmente adaptada ao fogo, visto que possui características como; isolamento térmico em certos tecidos e órgãos subterrâneos que auxiliam no armazenamento de água e nutrientes (Miranda, et al., 2009).

Do ponto de vista fitoecológico, o fogo tem papel central na expansão do Cerrado. Evidências indicam que, sem a recorrência das queimadas, a extensão desse bioma seria consideravelmente menor, visto que o fogo contribuiu historicamente para sua manutenção e expansão, inclusive por meio do uso controlado realizado por populações indígenas (Silva, 2007). Estudos comparativos mostram que espécies do Cerrado apresentam maior potencial de crescimento em áreas de ocupação florestal, em razão de sua alta capacidade de germinação sob estresse térmico, ao contrário das espécies típicas de matas de galeria, que apresentam menor resiliência a essas condições (Ribeiro, 2010).

Os incêndios no Cerrado brasileiro, à semelhança do que ocorre em ecossistemas como o chaparral da Califórnia e as savanas africanas, não dependem exclusivamente da ação antrópica. Nessas regiões, as condições ambientais — como elevadas temperaturas e a incidência de descargas elétricas — são

suficientes para desencadear incêndios de grande magnitude (Anderson et al., 2019). Durante a estação chuvosa há acúmulo expressivo de biomassa, que se converte em combustível inflamável à medida que a estação seca avança, favorecendo a ocorrência de fogos de superfície. Esses incêndios utilizam principalmente a camada herbácea como combustível, afetando espécies adaptadas que, na maioria dos casos, apresentam capacidade de rebrotar dias após a queima (Miranda et al., 2009).

Os ecossistemas podem ser classificados em três categorias conforme sua relação com o fogo: independentes (raramente afetados pelo fogo), sensíveis (com perda de biodiversidade e danos estruturais quando submetidos ao fogo) e dependentes (em que o fogo é recorrente e necessário para a manutenção do sistema). Essa tipologia reforça o papel do fogo como fator ecológico estruturante (Pivello, 2011). No entanto, estudos recentes propuseram novas interpretações para o Cerrado. Barradas (2017), por exemplo, não o classificou como ecossistema dependente do fogo, mas como “propenso ao fogo”, por abrigar predominantemente espécies inflamáveis e resilientes à ação ígnea.

A paisagem do Tocantins, além de sua diversidade ecológica, também é moldada por fatores climáticos que influenciam diretamente a ocorrência de incêndios. O clima predominante é o Tropical Típico, subdividido em três variações, todas marcadas por altas temperaturas e pela alternância entre estação chuvosa (outubro a abril) e estação seca (maio a setembro). A precipitação anual varia entre 1.000 e 2.000 mm, sendo mais elevada nas regiões oeste e noroeste, sob influência do bioma Amazônia, e mais reduzida no sul e leste, associados ao Cerrado e à transição com a Caatinga (SEPLAN, 2023). As temperaturas médias mensais giram em torno de 25 °C, com máximas superiores a 32 °C e mínimas raramente abaixo de 18 °C. O mês mais quente é setembro, enquanto maio apresenta os menores valores médios (Figura 9a e 9b) (SEPLAN, 2023).

O estado está inteiramente localizado na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA), que se divide entre duas grandes bacias hidrográficas. A leste, o Rio Tocantins abrange 62,3% do território, com 14 sub-bacias, enquanto a oeste, o Rio Araguaia cobre os 37,7% restantes, com 16 sub-bacias (Figura 9c). Essas bacias são essenciais tanto para o potencial agrícola irrigado, especialmente no cultivo de grãos como soja, arroz e milho, quanto para a produção de energia hidroelétrica. O turismo também é favorecido pelos recursos hídricos, sendo a alta temporada entre junho e agosto, período em que as praias fluviais atraem grande fluxo de visitantes (SEPLAN, 2023).

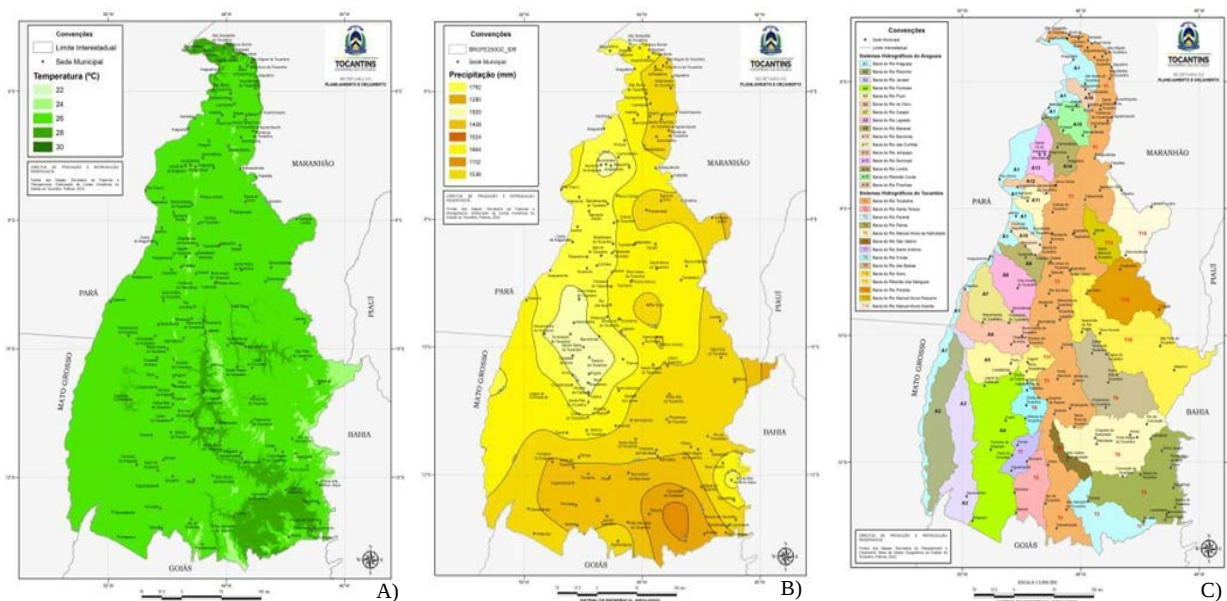


Figura 9 - Mapa do estado do Tocantins – A) distribuição de temperatura; B) distribuição de precipitação; C) bacias hidrográficas. Fonte: SEPLAN, 2023.

3.1.1. ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS

Em 2017, a SEPLAN lançou um documento com dados econômicos e populacionais do Estado do Tocantins, com base em levantamentos do IBGE e estimativas populacionais entre os anos de 1970 e 2016. Além do crescimento demográfico, verificou-se uma inversão entre a proporção de população rural e urbana, sendo esta última a maioria, com 78,80% (SEPLAN, 2017). Em relação às atividades da população economicamente ativa, observa-se grande concentração no setor de Administração pública, educação, saúde e serviços sociais (SEPLAN, 2023). Quanto à estrutura etária da população (Figura 10), destaca-se um processo de envelhecimento em 2022, quando comparado a 1991, evidenciado nas pirâmides etárias apresentadas pela SEPLAN (2023).

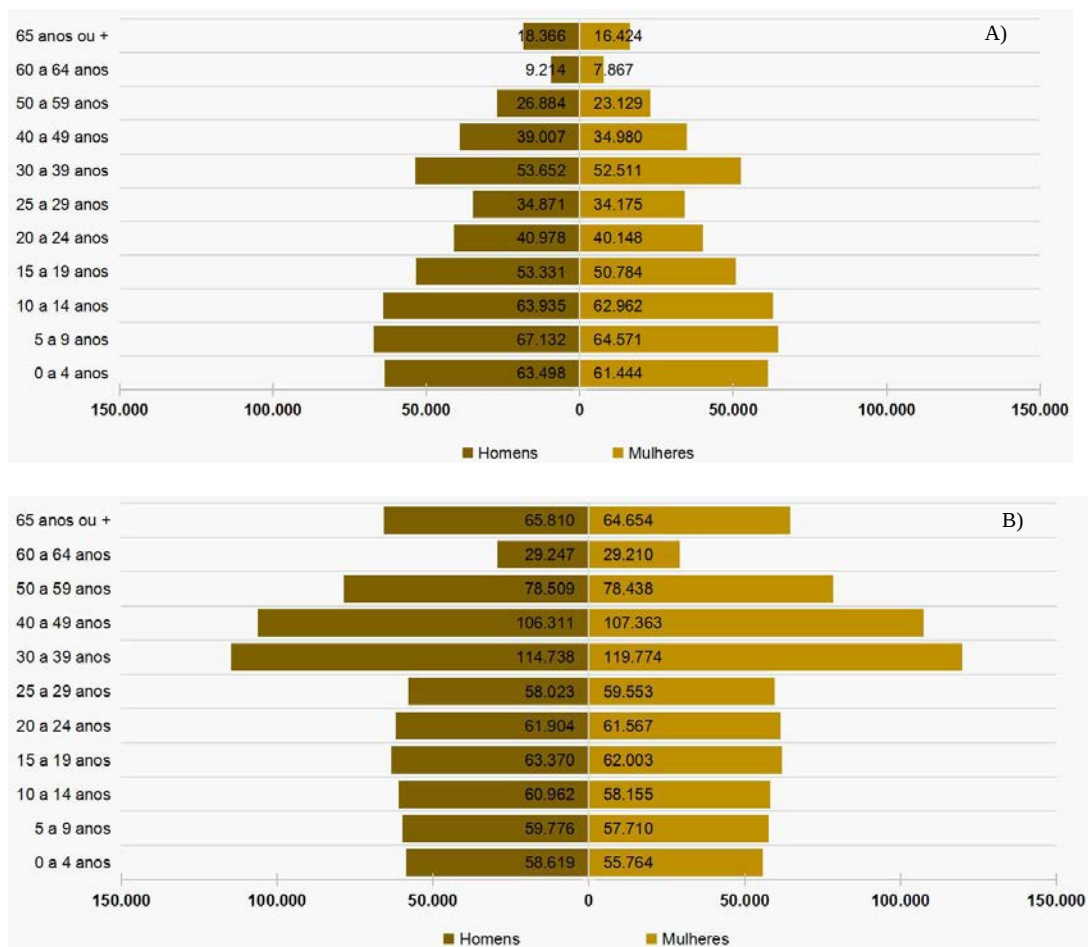


Figura 10 - Pirâmide etária do estado de Tocantins– A) 1991; B) 2022 Fonte SEPLAN 2023.

Os municípios mais populosos mantiveram-se os mesmos entre os censos de 2010 e 2022, embora com crescimento relativo na participação dos doze maiores municípios, que passaram de 52% para 56% da população estadual (Tabela 4) (IBGE, 2022). A Figura 11 ilustra a distribuição da população pelo território, evidenciando também as desigualdades na densidade demográfica entre os municípios (SEPLAN, 2023).

Tabela 4 – Ranking dos 12 maiores municípios em população do estado de Tocantins – 2010 e 2022

Município	Nº habitantes (2010)	Nº habitantes (2022)
Palmas	228.332	302.692
Araguaína	150.484	171.301
Gurupi	76.755	85.126
Porto Nacional	49.146	64.418
Paraíso do Tocantins	44.417	52.360
Colinas do Tocantins	30.838	34.233
Araguatins	31.329	31.918
Guaraí	23.200	24.775
Tocantinópolis	22.619	22.615
Formoso do Araguaia	18.427	18.881
Miracema do Tocantins	20.684	18.566
Dianópolis	19.112	17.739
Total dos 12 municípios	715.343	844.624
Participação dos 12 municípios (%)	52%	56%

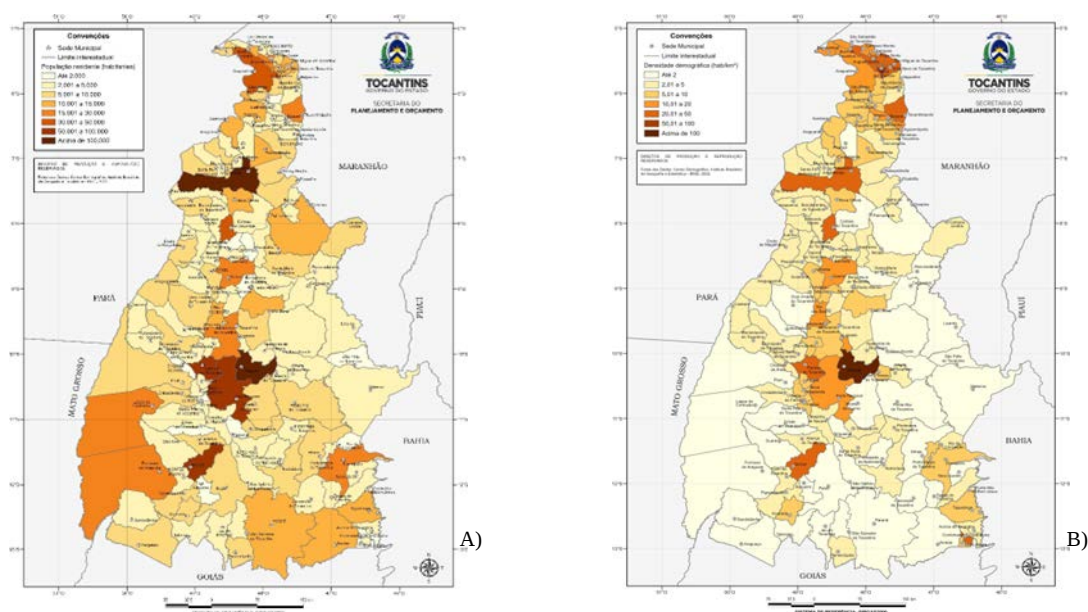


Figura 11 – Distribuição populacional do estado do Tocantins – A) População residente; B) Densidade demográfica (hab/km²) Fonte SEPLAN 2023.

No Tocantins, encontram-se 21 etnias indígenas: Apinaye, Apurinã, Atikum, Ava-Canoeiro, Fulni-Ô, Guajajara, Guarani, Javaé, Kamayurá, Karajá, Karajá Javaé, Karajá Xambioá, Krahô, Krahô Kanela, Krikati, Makuxi, Maxakali, Pankararu, Tapuia, Tuxá e Xerente. Essas etnias estão distribuídas em seis áreas indígenas que totalizam 19.895,09 km² sob domínio federal (SEPLAN, 2017). Os cinco municípios com maior população indígena são Tocantínia, Goiatins, Tocantinópolis, Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia (SEPLAN, 2023) (Figura 12a). Além disso, o estado abriga cinco territórios quilombolas oficialmente reconhecidos — Barra do Aroeira, Cocalinho, Kalunga do Mimoso, Grovão, Ilha de São Vicente e Lajeado. Fora deles, destacam-se municípios como Chapada da Natividade, Arraias, Mateiros, Brejinho de Nazaré e Natividade, que concentram as maiores populações quilombolas (SEPLAN, 2023) (Figura 12b).

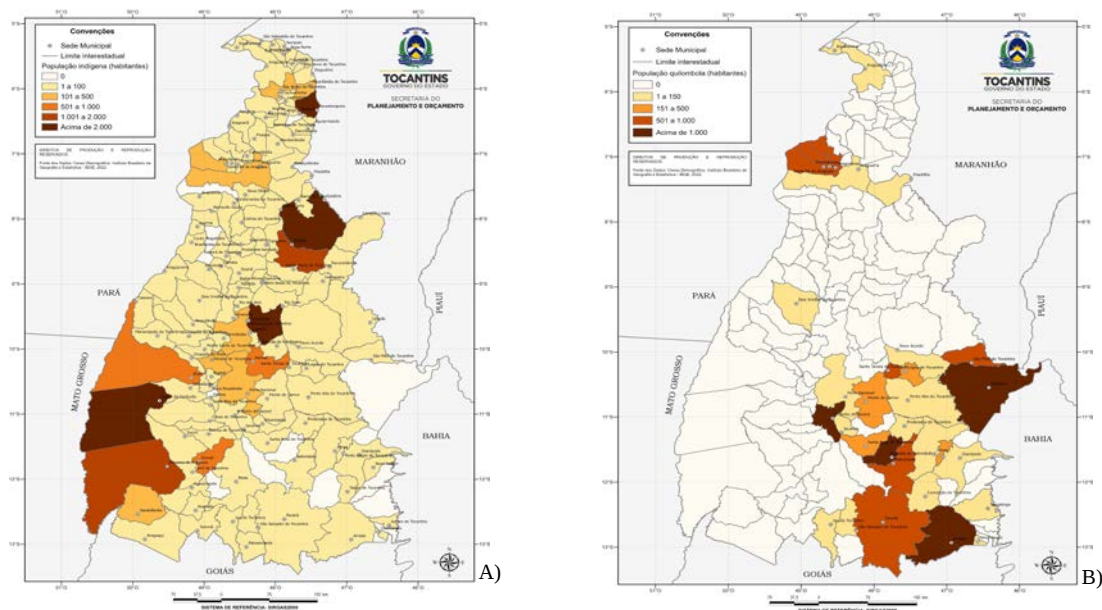


Figura 12 – Distribuição populacional do estado do Tocantins – A) População indígena; B) População quilombola. Fonte SEPLAN 2023.

No campo econômico, em 2010 o Tocantins registrou crescimento real de 14,2%, superando todas as demais Unidades da Federação, a média da região Norte (9,9%) e do Brasil (7,5%). O PIB estadual atingiu R\$ 17,24 bilhões, equivalente a 0,46% do PIB nacional, ocupando a 24ª posição entre os estados. O PIB per capita foi de R\$ 12.462, elevando o estado da 16ª para a 15ª posição nacional. Em termos setoriais, os Serviços responderam por 56,5% do valor adicionado, a Indústria por 25,4% e a Agropecuária por 18,1% (Tocantins, 2016). O setor agropecuário, com destaque para soja, cana-de-açúcar, cereais e bovinocultura, cresceu 8%. A Indústria aumentou 16%, impulsionada pela geração de energia da Usina Hidrelétrica de São Salvador, enquanto o setor de Serviços expandiu 14,9%, com forte contribuição do comércio varejista. A construção civil também registrou avanço de 14,7%, vinculado ao desenvolvimento da capital Palmas, com obras de infraestrutura, saneamento e moradias. A produção industrial, por sua vez, cresceu 35,6%, destacando-se a fabricação de cimento em Xambioá e o processamento de produtos químicos, alimentos e minerais não metálicos, como o fosfato em Arraias (Tocantins, 2016).

Esse dinamismo econômico, entretanto, esteve fortemente vinculado à expansão do agronegócio, que consolidou a soja como principal cultura agrícola, com produção de 3.785.386 toneladas em 2022 (SEPLAN, 2023). Na pecuária, os rebanhos bovinos predominam, e a produção de leite ocupa papel central, ao lado da aquicultura, em que espécies como o tambaqui são relevantes (SEPLAN, 2023) (Figura 13). A silvicultura estadual é marcada pelo plantio de eucalipto, que representava 89% da área plantada em 2013, somando 105.989,11 hectares (Carvalho et al., 2019). Em 2022, a área de eucaliptos atingiu 105.510 hectares de um total de 114.947 hectares florestais cultivados (SEPLAN, 2023).

Contudo, como adverte Santos (2020), esse processo de expansão agropecuária tem implicado concentração fundiária e expulsão de pequenos agricultores, além da substituição de mão de obra por mecanização intensiva, resultando em desemprego rural e expropriação dos meios de produção das famílias agricultoras. No campo ambiental, os efeitos incluem compactação do solo, aumento de pragas decorrente da ausência de rotação de culturas, desmatamento e contaminação de solo e água por agrotóxicos. Essas consequências revelam uma forte relação causal entre crescimento econômico,

concentração de terras e impactos socioambientais, que afeta não apenas a sustentabilidade dos sistemas produtivos, mas também a permanência de comunidades indígenas e quilombolas em seus territórios.

No comércio exterior, a soja lidera as exportações, seguida por carne bovina congelada e milho, sendo a China o principal destino. Nas importações, destacam-se óleos de petróleo ou de minerais betuminosos, fertilizantes minerais ou químicos e produtos residuais de petróleo, com a Rússia e os Estados Unidos figurando entre os principais parceiros (SEPLAN, 2023).

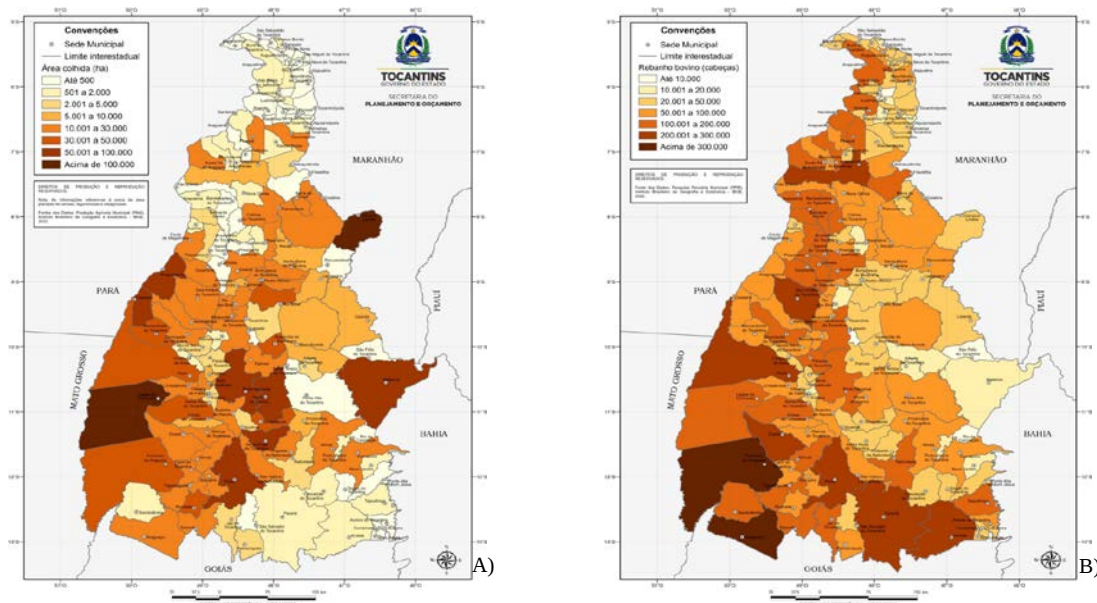


Figura 13 - Estado do Tocantins distribuição de atividades do setor primário – A) Área colhida (ha); B) Rebanho bovino (cabeça). Fonte: SEPLAN 2023.

3.2. OS INCÊNDIOS NO TOCANTINS

Segundo dados do INPE (2024), os incêndios no estado do Tocantins, representados na série histórica de 1998 a 2024 (Figura 14), revelam um padrão de grande variabilidade nos focos ativos detectados pelo satélite de referência. É importante esclarecer que, conforme definição oficial do INPE, “foco de calor” não equivale necessariamente a um incêndio, mas sim a uma anomalia térmica detectada pelo sensor orbital, indicando possível presença de fogo no momento da passagem do satélite (INPE, 2024). A série histórica apresentada utiliza, desde 1998, dados do sensor AVHRR a bordo dos satélites NOAA-12 e NOAA-14, que compuseram o início do monitoramento sistemático de queimadas no Brasil. A partir de 2002, a base de dados passa a incorporar majoritariamente os sensores MODIS (Terra/Aqua), e desde 2012 são incluídos também os sensores VIIRS, de maior resolução espacial (375 m), o que explica parte das diferenças de sensibilidade e detecção ao longo do período (INPE, 2024).

O número de ocorrências oscilou entre um mínimo de 6.428 focos em 2009 e um máximo de 29.100 em 2010, ano marcado por condições climáticas extremas e possível falha nas políticas de prevenção e combate. Picos relevantes também ocorreram em 2007, 2012 e 2020, contrastando com os anos de baixa incidência, como 2009 e 2018. Entre 2019 e 2024 observa-se uma tendência de crescimento, com um breve declínio em 2021 e 2022, seguido de aumento em 2023 e 2024. Até setembro deste último ano, já haviam sido registrados 15.173 focos, sugerindo que poderá encerrar como um dos mais críticos.

No que se refere à capacidade de detecção, o INPE informa que sensores como o MODIS detectam áreas de fogo típicas entre aproximadamente 100 m² e 1.000 m², variando conforme o contraste térmico e a temperatura radiativa do alvo. Assim, os valores apresentados na Figura 14 correspondem ao número de pixels com anomalia térmica detectados, e não diretamente ao número de incêndios. Essa distinção é fundamental para interpretar a série histórica e responde à observação do orientador quanto ao significado operacional de “foco ativo” e “área mínima detectável” (INPE, 2024).

Essa variabilidade demonstra como fatores climáticos, mudanças no uso do solo e políticas de manejo influenciam diretamente a intensidade e frequência das ocorrências térmicas detectadas pelos satélites, embora tais registros de anomalias não representem necessariamente o total exato de incêndios ocorridos em solo, exigindo estratégias preventivas mais robustas e adaptadas à realidade local.

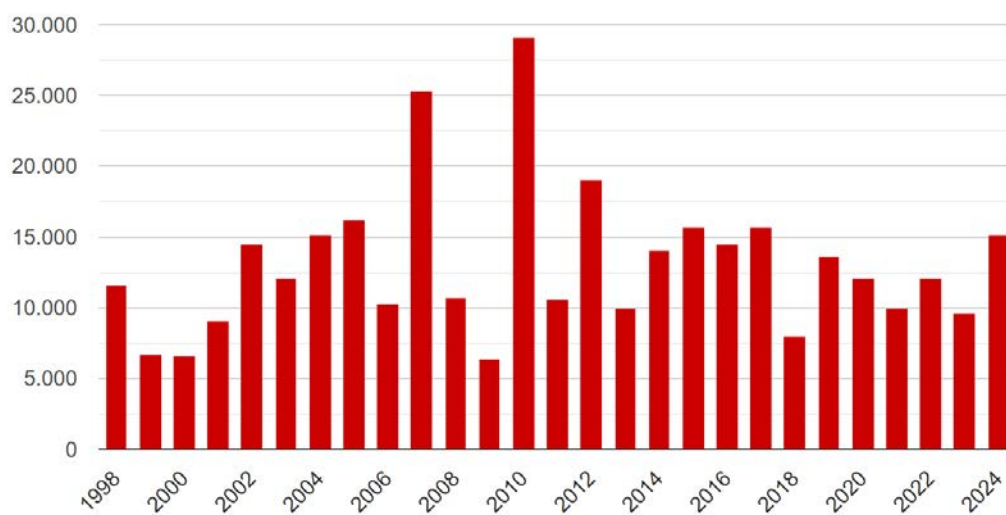


Figura 14 - Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 30/Set de 2024.

Estudos sobre a percepção social do uso do fogo ajudam a contextualizar essas dinâmicas. Santopuoli et al. (2017), ao investigar municípios tocantinenses, identificaram que, embora a população reconheça o risco e o poder destrutivo do fogo, sua utilização em atividades agropecuárias é amplamente aceita. Causas relatadas como bitucas de cigarro e fundos de garrafa, embora cientificamente pouco prováveis, evidenciam a necessidade de campanhas educativas mais eficazes. O estudo também apontou que a maioria dos entrevistados já participou de algum combate a incêndios florestais, mas quase sempre sem treinamento formal, revelando lacunas significativas na capacitação comunitária. Além disso, foi mencionado o uso do fogo por indígenas, cuja prática, segundo a literatura, tende a manter baixos os níveis de combustível devido à baixa intensidade e ao caráter rotineiro dessas queimas. É importante distinguir, contudo, que tais práticas culturais podem gerar pequenos focos de calor detectáveis por satélites, mas nem sempre resultam em incêndios de grande proporção, conforme ressaltado pelos documentos técnicos do INPE.

O contexto histórico da colonização europeia também alterou o regime de fogo no Cerrado, aumentando sua frequência com a implantação da pecuária extensiva e da agricultura itinerante. Como explica Pivello (2011), o fogo passou a ser empregado de forma recorrente para limpar áreas de vegetação natural, queimar restos de culturas ou estimular o crescimento de gramíneas para alimentação do gado. Ainda que possa ter usos funcionais, essas práticas frequentemente resultam em incêndios acidentais de grandes proporções, somando-se a casos de incêndios criminosos. Em 2017, por exemplo, o relatório da “Operação Tocantins” mostrou que as Terras Indígenas foram mais afetadas por queimadas do que Unidades de Conservação e suas zonas de amortecimento, levantando questionamentos sobre a

participação ou impacto das práticas indígenas nesse cenário (Morais et al., 2018). Essas áreas também apresentam elevada detecção de focos de calor, o que indica atividade térmica na paisagem, embora nem toda anomalia térmica corresponda diretamente a um incêndio efetivamente instalado em solo.

Pesquisas também têm buscado correlacionar os picos de incêndio com fatores socioeconômicos. Sousa e Giongo (2017) identificaram maior incidência de queimadas entre 2007 e 2010, em consonância com os registros de focos de calor. Carvalho et al. (2017) concluíram que o aumento dos incêndios em 2014 não foi aleatório: o tamanho das áreas queimadas esteve proporcional ao crescimento do PIB agropecuário, e grande parte das áreas afetadas localizava-se fora de unidades de conservação, especialmente em classes de Cerrado sentido restrito, Campo e áreas agropecuárias. Essa relação reforça a conexão entre a expansão das atividades produtivas e a pressão sobre o ambiente. Contudo, que os focos de calor atuam como um indicador indireto da atividade de fogo, e não uma medida absoluta do número de incêndios, uma vez que representam anomalias térmicas captadas remotamente.

No período de 2002 a 2011, Lazzarini et al. (2012) mostraram a predominância dos incêndios no Cerrado em relação à Amazônia dentro do Tocantins, com 110.441 focos de calor contra 4.940 no bioma amazônico. O ano de 2010 foi o mais crítico, com 25.063 registros, e 2009 o menos afetado, com 5.746. As áreas mais impactadas foram assentamentos de reforma agrária e terras indígenas, que, apesar de ocuparem 7,3% da área estadual, concentraram em média 12,8% dos focos. A Tabela 5 sintetiza essa distribuição, evidenciando diferenças estruturais entre áreas urbanas, periurbanas e rurais. Áreas urbanas apresentaram baixa incidência de focos (25/1.000 km²) devido à infraestrutura de combate e menor combustível. No entorno urbano, os registros aumentam (30/1.000 km²) pela proximidade com vegetação. Assentamentos de reforma agrária tiveram os índices mais altos (53/1.000 km²), relacionados ao uso do fogo em práticas agrícolas sem tecnologia adequada. Rodovias e depósitos de resíduos sólidos tiveram valores intermediários (39 e 35/1.000 km², respectivamente), enquanto localidades e aldeias indígenas apresentaram altas concentrações (50/1.000 km²), refletindo o uso cotidiano do fogo em atividades domésticas. Esses dados mostram que áreas de maior interação humano-ambiental concentram os maiores riscos, indicando a necessidade de políticas públicas direcionadas a esses contextos.

Tabela 5 – Focos de calor no estado de Tocantins por área de utilização humana nos anos de 2002 a 2011.
Fonte: Adaptado Lazzarini, et al. (2012)

Área	Relação com os focos de calor no período estudado
Áreas urbanas	Apresentaram a menor concentração de focos de calor (25 focos por 1.000 km ²). Isso se deve à presença de barreiras à propagação do fogo, maior disponibilidade de infraestrutura para combate a incêndios e menor quantidade de material combustível nas áreas urbanas. Além disso, brigadas de combate a incêndios e bombeiros são mais acessíveis nessas áreas, o que contribui para a redução do impacto dos incêndios.
Entorno de áreas urbanas	Apesar de a área urbana propriamente dita apresentar baixa concentração de focos, seu entorno teve uma incidência maior (30 focos por 1.000 km ²). Isso pode ser atribuído à presença de material combustível, que facilita a propagação do fogo vindo de áreas adjacentes.
Assentamentos de reforma agrária (ARA)	Os assentamentos de reforma agrária e seus entornos foram identificados como áreas críticas. A média anual de focos foi de 53 focos por 1.000 km ² . O uso do fogo para práticas agrícolas nesses assentamentos, aliado

	à falta de tecnologias adequadas, torna essas áreas mais vulneráveis a incêndios descontrolados.
Rodovias e depósitos de resíduos sólidos (DRS)	O entorno das rodovias apresentou uma média de 39 focos por 1.000 km ² . Essas áreas tendem a ter maior incidência de focos devido à proximidade com áreas vegetadas e ao uso do fogo para limpeza de terrenos próximos às estradas (p. 30). Já os DRS, que incluem lixões e aterros, surpreenderam por apresentar uma concentração de focos abaixo da média, com 35 focos por 1.000 km ² . A baixa detecção de incêndios nesses locais pode estar relacionada à curta duração dos incêndios ou à sua contenção antes da detecção pelos satélites.
Localidades e aldeias indígenas	As localidades, como vilas e agrovilas, também apresentaram uma alta concentração de focos de calor, com 50 focos por 1.000 km ² . Essas áreas, onde o uso do fogo é comum em atividades cotidianas, como a queima de resíduos e limpeza de terrenos, estão mais expostas à propagação de incêndios.

Outros estudos corroboram esse panorama. Correa (2017) identificou mais de 2,5 milhões de hectares afetados por queimadas em 2015. Patriota et al. (2017) verificaram que os registros de focos de calor superaram os de ocorrências oficiais de incêndios e que a maior parte dos eventos estava associada a atividades agropecuárias. Os municípios de Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão, Mateiros e Pium foram destacados tanto pelo número de focos quanto por registros de ocorrência. Essa evidência confirma que os fatores antrópicos ainda respondem pela maioria dos eventos, potencializados pelo período de estiagem característico do Cerrado. O contraste entre registros de focos e ocorrências oficiais reforça a orientação do INPE de que a detecção orbital deve ser interpretada como uma medida indireta, sujeita a falsas detecções ou à não detecção de incêndios de baixa intensidade.

Experiências de manejo também têm trazido aprendizados. Barradas (2017) destaca países como África do Sul, Austrália e Estados Unidos como referências na gestão do fogo em regiões savânicas. No Tocantins, a Estação Ecológica Serra Geral tornou-se um marco na adoção do Manejo Integrado do Fogo (MIF) a partir de 2014, substituindo a política de “fogo zero” por um modelo adaptativo. Esse manejo passou a incluir a prática da queima em mosaico, que consiste em realizar queimas controladas e planejadas em áreas fragmentadas, distribuindo o fogo de forma heterogênea na paisagem e reduzindo a intensidade dos incêndios de grande escala (Barradas, 2019). Sua implementação envolveu acordos com comunidades quilombolas locais, reconhecendo institucionalmente suas práticas tradicionais. A inclusão dessas comunidades transformou a relação entre gestores e moradores, promovendo confiança e integração de conhecimentos. Esse modelo demonstra que políticas públicas participativas e fundamentadas no conhecimento tradicional podem tornar a gestão do fogo mais eficaz e socialmente justa (Barradas et al., 2020).

Assim, a análise integrada da série histórica, das percepções sociais e das dinâmicas espaciais dos incêndios no Tocantins reforça a necessidade de políticas públicas baseadas em ciência, capazes de equilibrar a preservação ambiental, a proteção das populações e a continuidade das atividades produtivas.

3.3. REGULAMENTAÇÃO BRASIL - TOCANTINS

3.3.1. CONSTITUIÇÃO

Este subitem sintetiza os fundamentos constitucionais da proteção ambiental na CF/88 e a distribuição de competências entre União, Estados, DF e Municípios, com ênfase nas implicações práticas para a gestão do fogo e para políticas de prevenção no Tocantins. O Brasil abriga a maior biodiversidade do planeta, com mais de 20% das espécies conhecidas (Brasil, 2018), e a Constituição Federal de 1988 estrutura um arcabouço protetivo cujo núcleo é o art. 225, que assegura o “direito ao meio ambiente equilibrado, de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida” (Brasil, 1988). Ainda assim, parte das normativas ignora conhecimentos e constrangimentos socioeconômicos das populações locais, o que dificulta o reconhecimento social das regras e pode estimular usos ilegais e erosão de práticas tradicionais de manejo do fogo (Borges et al., 2016).

O art. 225 tem feição programática (Toffanello, 2014), cabendo ao legislador infraconstitucional viabilizar seus comandos — dever de preservação intergeracional, vedação a danos à fauna e flora, recuperação de áreas degradadas, educação ambiental, controle de atividades que possam representar riscos à vida, à qualidade de vida e ao meio ambiente e estratégias para o desenvolvimento sustentável (Nader, 2016). Esses vetores conformam a base para instrumentos como licenciamento, planos de prevenção e políticas de gestão do fogo.

Destaca-se o princípio da prevenção/precaução, dado o caráter, em regra, irreversível dos danos ambientais — ‘de que forma restituir uma floresta milenar...?’ (Fiorillo, 2019, p. 99). Esse descompasso entre a capacidade de reparação e a escala do dano justifica respostas antecipatórias, tornando o princípio da precaução elemento fundamental do direito ambiental.

Na doutrina, o princípio (gênero) compreende precaução e cautela, orientando a antecipação ao risco (Sirvinskas, 2018) e encontra respaldo no Princípio 15 da Rio-92 (Brasil, 1992).

Conforme Antunes (2019, p. 26), aplica-se a impactos conhecidos com nexos causais suficientes para projetar efeitos futuros, razão pela qual licenciamento e estudos prévios de impactos ambientais, por exemplo, operam como barreiras de risco; não implicam ‘dano zero’, mas um balanceamento compatível com o desenvolvimento sustentável.

A cooperação é eixo da governança ambiental desde Estocolmo/1972 (Nações Unidas, 1972), envolvendo múltiplas escalas (local a internacional). No federalismo brasileiro, a interdependência funcional impõe arranjos cooperativos para eficiência e coordenação de políticas (Moreira, 2015).

A CF/88 adota competência concorrente em matéria ambiental (art. 24, IV), cabendo à União normas gerais e aos Estados/DF competência suplementar (Brasil, 1988; Giacomelli, 2018). Municípios podem suplementar quando houver interesse local, respeitadas as normas gerais (Steinmetz; Schwantes, 2015).

Há espaço normativo para aperfeiçoamentos regionais na competência concorrente, sem hierarquia entre entes quando respeitadas as competências (Sarlet; Fensterseifer, 2013). Estados e municípios podem adotar padrões mais protetivos quando necessário à tutela de situações específicas. A proteção ambiental é competência comum (art. 23, CF/88) e os municípios legislam sobre interesse local e ordenamento territorial (art. 30), devendo suplementar normas gerais quando pertinente (Brasil, 1988; Giacomelli, 2018). Esse desenho reforça a cooperação federativa na execução de políticas de prevenção e gestão do fogo.”

Nesse contexto, o município é locus privilegiado da qualidade de vida (Fiorillo, 2019). O STF reconhece a centralidade do ente local — ‘as populações e as autoridades locais reúnem amplas condições de bem

conhecer os problemas e mazelas de cada localidade’ (RE 665.688 AgR/SC, relato do Min. Celso de Mello, apud Fiorillo, 2019, p. 209) — o que legitima a atuação próxima ao território.

Em síntese, os princípios constitucionais (prevenção/precaução e cooperação) e a repartição de competências fornecem a base jurídico-institucional para políticas de manejo do fogo. No caso do Tocantins, esse arranjo legitima a articulação entre União, Estado e Municípios na prevenção, preparo e resposta a incêndios — inclusive em áreas de interface urbano-florestal — com uso de instrumentos de ordenamento territorial e educação ambiental.

3.3.2. LEGISLAÇÃO INFRACONSTITUCIONAL

A Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), é considerada por Sirvinskas (2018, p. 209) a norma ambiental mais relevante após a Constituição, pois sistematiza conceitos, princípios, objetivos, instrumentos e responsabilidades. Benjamin (1991, p. 39) observa que foi a primeira vez que o Brasil passou a contar com um arcabouço legal unificado de sustentação à política ambiental, reconhecendo o meio ambiente como bem jurídico autonomamente tutelado. Ou seja, a partir de tal, tornou-se possível a cobrança de danos a ele praticados, dispensada a antijuridicidade da conduta. Rodrigues (2008) acrescenta que a lei inovou ao superar a visão fragmentada, adotando um conceito biocêntrico, a partir da proteção do entorno globalmente considerado (ecocentrismo), estendido a todas as formas de vida.

Em seu artigo 6º, a Lei institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), como um “conjunto de órgãos e instituições vinculadas ao Poder Executivo que [...] são encarregados da proteção e melhoria da qualidade ambiental” (Antunes, 2019, p.83). Sua estruturação é feita pelos incisos do artigo 6º da seguinte maneira (Brasil, 1981):

- I- Órgão Superior: Conselho de governo, responsável pelo acessoriamente do Presidente da República;
- II- Órgão Consultivo: CONAMA;
- III- Órgão Central: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República;
- IV- Órgãos Executores: IBAMA e ICMBio;
- V- Órgãos Seccionais: órgãos ou entidades estaduais;
- VI- Órgãos Locais: órgãos ou entidades municipais.

Segundo Leite (2015), o órgão superior do SISNAMA é composto pela reunião de todos os Ministros(as) de Estado, que, nos moldes do inciso I do artigo 6º, são os responsáveis pelo auxílio na “formulação da Política Nacional e nas diretrizes governamentais para o meio ambiente e os recursos ambientais”. Para o autor, é muito importante que o órgão superior do SISNAMA seja o Conselho de Governo, principalmente pela pluralidade de matérias que envolvem diferentes pastas governamentais.

Por sua vez, o órgão que estuda, assessora e propõe ao Conselho de Governo políticas “para o meio ambiente e os recursos naturais e delibera, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida” (BRASIL, 1981), conforme o inciso II, é o CONAMA. Este órgão não possui função meramente consultiva, como também tem função deliberativa, quando delibera sobre a edição de normas em matéria ambiental.

O Decreto n. 99274/1990 (Brasil, 1990) determina que o CONAMA é presidido pelo Ministro do Meio Ambiente e é composto por conselheiros escolhidos por critérios geopolíticos, institucionais (como o presidente do IBAMA), representantes de entidades ambientalistas de âmbito nacional, de entidades empresariais (Confederação Nacional das Indústrias e Confederação Nacional do Comércio por

exemplo). O plenário se reúne a cada três meses, em sessão pública, e seus integrantes não são remunerados, por se tratar de serviços de natureza relevante. O CONAMA delibera sob a forma de resoluções, moções, recomendações e proposições como demonstra a Tabela 6.

Tabela 6 - Formas de deliberação do CONAMA

Formato	Quando
Resoluções	se tratar de deliberação vinculada a diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais;
Moções	se tratar de manifestação, de qualquer natureza, relacionada com a temática ambiental
Recomendações	se tratar de manifestação acerca da implementação de políticas, programas públicos e normas com repercussão na área ambiental, inclusive sobre os termos de parceria de que trata a Lei no 9.790, de 23 de março de 1999
Proposições	quando se tratar de matéria ambiental a ser encaminhada ao Conselho de Governo ou às Comissões do Senado Federal e da Câmara dos Deputados;

Fonte: Adaptado (Brasil, 2020)

A análise da Tabela 6 demonstra que as resoluções possuem caráter normativo obrigatório, vinculando órgãos e empreendimentos, enquanto moções e recomendações funcionam como orientações políticas ou técnicas de menor força vinculante. Já as proposições ampliam a interlocução do CONAMA com instâncias legislativas e executivas, reforçando sua atuação como espaço central de articulação institucional na política ambiental.

O CONAMA, através destes instrumentos, regula, por exemplo, questões tais como: o Licenciamento Ambiental (Resolução n. 237/97) e o Estudo Prévio de Impacto Ambiental e seu Relatório (Resolução n. 001/86) (Brasil, 1997; Brasil, 1986); recomendação sobre o uso do termo "floresta" pelo Ministério do Meio Ambiente somente em formações florestais (Moção n. 117/2011) (Brasil, 2011); recomendação acerca da aprovação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSB) (Recomendação n. 016/2013) (Brasil, 2013); e a proposição ao Senado Federal para que seja promovido um amplo debate público sobre o Projeto de Lei do Código Florestal aprovado na Câmara dos Deputados (Proposição n. 003/2011) (Brasil, 2011). O CONAMA, através destes mecanismos, estabelece padrões técnicos, diretrizes e orientações para as políticas públicas que podem partir, tanto do Poder Legislativo, como do Executivo, em todas as suas esferas, incluindo órgãos executores como o IBAMA e o ICMBiO.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) foi criado pela Lei n. 7.735/1989, a partir da fusão de órgãos como a SEMA, IBDF, SUDEPE e SUDHEVEA, integrando o SISNAMA como autarquia federal vinculada ao Ministério do Meio Ambiente. Com autonomia administrativa e financeira, exerce funções de licenciamento, fiscalização, monitoramento ambiental, aplicação de penalidades e apoio a emergências. Sua atuação consolidou-se especialmente na prevenção e controle de desmatamentos, queimadas e incêndios florestais, exercendo ainda o poder de polícia ambiental (Brasil, 1989; Brasil, 2019).

A Figura 15 apresenta o arcabouço estratégico do IBAMA (2024–2027), destacando objetivos institucionais e operacionais voltados à proteção ambiental. Esse material complementa sua atuação

legal, evidenciando a ênfase em resultados institucionais, processos internos e gestão de recursos humanos e infraestrutura (Brasil, 2025).



Figura 15 - Arcabouço Estratégico do IBAMA 2024/2027. Fonte: Brasil, 2025.

A Figura 15 sintetiza, portanto, como o IBAMA busca alinhar sua atuação normativa e executiva a objetivos institucionais estratégicos, reforçando a integração entre proteção ambiental e gestão administrativa.

O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), criado pela Lei n. 11.516/2007, integra o SISNAMA com autonomia administrativa e financeira, dedicado à gestão das Unidades de Conservação federais, fiscalização, apoio a populações tradicionais e promoção da pesquisa e educação ambiental (Brasil, 2007; Brasil, 2000). Juntamente com o IBAMA, o ICMBio busca assegurar a execução da Política Nacional do Meio Ambiente, cabendo ao primeiro maior ênfase no licenciamento e fiscalização, e ao segundo a proteção das Unidades de Conservação. Ambos compartilham ainda o exercício do poder de polícia ambiental (Leite, 2015).

A Lei n. 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, apresenta em seu artigo 9º os instrumentos de execução, classificados por Sirvinskis (2018) em três grupos: mecanismos de intervenção ambiental ou direcionadores de conduta (incisos I, II, III, IV, V, VI e XII); mecanismos de controle ambiental (incisos III, IV, VII, VIII, X e XI); e mecanismos de controle repressivo ou sancionatório (inciso IX). Entre eles, destacam-se o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental e o licenciamento ambiental. O inciso I, por exemplo, estabelece limites às ações humanas, compatibilizando-as com a preservação do meio ambiente. Esses padrões são definidos numericamente pelo CONAMA em resoluções administrativas, abrangendo ar, água, ruído e solo. Leite (2015) cita como exemplo a Resolução CONAMA n. 274/2000, que fixa critérios de balneabilidade das águas com base em parâmetros microbiológicos como coliformes fecais e Enterococos, cuja presença indica esgoto e risco à saúde pública (Brasil, 2000).

No tocante ao licenciamento ambiental, a Lei Complementar n. 140/2011 o define como procedimento administrativo que condiciona atividades ou empreendimentos potencialmente poluidores (art. 2º, I),

complementando o arcabouço previsto na CF/88 (art. 225, §1º, IV). Antunes (2017) diferencia controle ambiental e licenciamento, entendendo este último como a principal manifestação do poder de polícia ambiental do Estado. A materialização ocorre na licença ambiental, disciplinada pela Resolução CONAMA n. 237/1997, que estabelece condições, restrições e medidas de controle a serem cumpridas pelo empreendedor (Brasil, 1997). A competência para emissão dessas licenças é repartida entre União, Estados, Distrito Federal e Municípios, conforme a LC 140/2011: cabe à União quando se tratar de atividades em mais de um Estado, em terras indígenas ou com materiais radioativos; aos Estados, em casos de impactos regionais ou em unidades de conservação estaduais; e aos Municípios, em impactos de natureza local ou em unidades municipais (Brasil, 2011).

Além dos órgãos executores do SISNAMA, cabe destacar os mecanismos de fiscalização e responsabilização. O Ministério Público, nos termos do art. 129, III, da CF/88, possui legitimidade para propor ações civis públicas em defesa do meio ambiente, sendo frequentemente protagonista em litígios relacionados a omissões estatais no combate a incêndios florestais. Já os Tribunais de Contas, embora não tratem expressamente da proteção ambiental na CF/88, exercem controle externo sobre a aplicação de recursos públicos (arts. 70–74), o que inclui a análise da efetividade de políticas ambientais e reforça a governança ambiental (Queiroz, 2011; Brasil, 1988).

Esse arranjo institucional, articulando órgãos executores e mecanismos de fiscalização e controle, constitui a base da governança ambiental brasileira, da qual dependem as estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais.

3.3.3. CÓDIGO FLORESTAL

Dentro do arcabouço legal de proteção ambiental no Brasil, merece destaque a Lei nº 12.651/2012, “Novo Código Florestal”. Denominação essa que tem sido objeto de muitas críticas entre ambientalistas e doutrinadores de Direito Ambiental (Fiorillo, 2018; Sirvinskis, 2018) que alegam que a nova lei não tutela por completo a vegetação nativa e que poderia ser denominada de “Código Ruralista”, pelas influências e negociações com a chamada “bancada ruralista” do Congresso Federal. Fato é que a Lei nº 12.651/2012 substituiu a Lei Federal nº 4.771/1965, o então Código Florestal (Brasil, 2012).

O primeiro Código Florestal brasileiro foi instituído pelo Decreto Federal nº 23.793 de 1934, durante o governo de Getúlio Vargas (Brasil, 1934). Elaborado por naturalistas que “buscavam proteger os recursos naturais de importância econômica, estabelecendo normas que regulamentassem o acesso e o uso destes recursos, sem, contudo, conter uma visão holística do meio ambiente” (Granziera, 2014, p. 32), frente a preocupação com os desmatamentos ocasionados pela produção cafeeira (Ahrens, 2003). Em seu artigo 1º o Código já caracterizava as florestas em território nacional como um bem comum de todos os brasileiros, independentemente de estarem em propriedades públicas ou privadas, e as considerava em seu conjunto.

Entre os pontos principais deste documento, está a criação da delimitação de uma área mínima preservada dentro das terras privadas, no total de 25% das propriedades, a chamada quarta parte. Entretanto, falhou quando deixou de orientar qual o tipo de área a ser preservado, como margens de rios ou outras. Com o passar do tempo, notou-se a ineficiência da lei, e novos movimentos ambientalistas motivaram as discussões para a criação de um novo código que suprisse suas demandas de uma adequada proteção jurídica ao patrimônio florestal brasileiro, neste interim, em 15 de setembro de 1965, foi editada a Lei Federal nº 4.771, que revogou o Decreto Federal nº 23.793 (Brasil, 1934; Brasil, 1965).

Antunes (2019) destaca que o Código Florestal de 1965 foi o principal diploma legislativo brasileiro voltado para a proteção legal das florestas, pois com ele se instituiu uma política intervencionista do Estado sobre a propriedade privada do imóvel rural. O Código trouxe consigo dois institutos jurídicos

que assumiram grande relevo no cenário nacional, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a Reserva Legal.

O artigo 1º, parágrafo 2º, inciso II, do Código Florestal de 1965 define APP como (Brasil, 1965): “área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

Por sua vez, o inciso III do mesmo dispositivo define Reserva Legal como: “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas”.

Segundo Mello (2010), as APPs e a Reserva Legal são institutos jurídicos com finalidade, isto é, para ele a finalidade das APPs é a proteção da água e do solo, e a da reserva legal é a conservação da diversidade da fauna e da flora e o equilíbrio ecológico. A área de reserva legal pode ser explorada economicamente através do manejo florestal sustentado, já as APPs não podem ser exploradas economicamente, com exclusão dos casos de interesse público e o acesso de pessoas ou animais para obtenção de água, (§§4º e 7º, art. 4º do Código Florestal de 1965).

Ahrens (2005) ressalta que as percepções utilitaristas dos recursos florestais ainda estavam presentes no Código de 1965, mesmo com seus avanços. O proprietário rural, a partir de então, passou a ser obrigado a reservar parte de sua terra, destinando-a a manutenção da vegetação natural, através dos dois instrumentos (Sparovec, et. al, 2011). Mas, mesmo assim, não se conseguia fazer com que os limites impostos fossem cumpridos e áreas, até então intocadas, passaram a ser atingidas com o avanço da mecanização e da produção extensiva.

Assim, considerando um aumento significativo no número de desmatamentos na década de 1990, segundo dados do INPE, e aos compromissos afirmados quando da realização da RIO 92, o governo federal tenta criar mecanismos e legislação de fortalecimento do arcabouço legal ambiental. Podemos citar, a título exemplificativo, a Lei nº 9.605/1998, de Crimes Ambientais (Brasil, 1998), o PROARCO, Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal, instituído pelo Decreto nº 2.662/1998 (Brasil, 1998a), e o Prevfogo, Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais, regulamentado pelo Decreto nº 2.661/1998 (Brasil, 1998b). Criado dentro do âmbito do IBAMA, o Prevfogo tem por finalidade, conforme o parágrafo único do artigo 18 do referido dispositivo legal: "Desenvolvimento de programas, integrados pelos diversos níveis de governo, destinados a ordenar, monitorar, prevenir e combater incêndios florestais, cabendo-lhe, ainda, desenvolver e difundir técnicas de manejo controlado do fogo, capacitar recursos humanos para difusão das respectivas técnicas e para conscientizar a população sobre os riscos do emprego inadequado do fogo" (BRASIL, 1998b).

Em 1999, foi apresentado na Câmara dos Deputados o projeto de lei 1876 (Brasil, 1999) pelo deputado Sérgio Carvalho (PSDB/RO), que tratava das Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reserva Legal e exploração florestal, entre outros temas. No entanto, o projeto ficou paralisado até 2009, quando voltou a tramitar no Congresso Nacional, resultando na Lei nº 12.651/12, conhecida como “Novo Código Florestal”. O projeto foi objeto de intensos debates e polêmicas, tanto durante sua tramitação quanto após sua promulgação, especialmente entre as bancadas ruralista e ambientalista. Um dos pontos mais discutidos foi o cancelamento das multas aplicadas aos produtores rurais que haviam infringido o Código, o que ficou conhecido como a "anistia" dos crimes ambientais anteriores, bem como as mudanças nos parâmetros das APPs. Para discutir o projeto, foi criada uma Comissão Especial na Câmara dos Deputados, presidida pelo deputado Moacir Micheletto (PMDB/PR) e com relatoria do

deputado Aldo Rebelo (PCdoB/SP), que se mostrou favorável às propostas da bancada ruralista. A comissão realizou 14 audiências públicas internas na Câmara e 20 audiências públicas externas em 15 estados brasileiros. No total, 34 audiências foram realizadas, além de outras 12 no Senado em 2011, quando o projeto começou a ser discutido nessa Casa. Nas audiências, participaram 31 cientistas de diferentes instituições, contribuindo para o debate sobre o Código Florestal (Miguel, 2014).

O atual código carrega consigo dois regimes jurídicos: um de tolerância com as condutas lesivas ao meio ambiente que ocorreram até o dia 23 de julho de 2008, e outro rígido com os atos praticados após essa data. Isso, porque neste dia foi publicado o Decreto 6.514, que dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente e instituiu tipos administrativos para punir quem infringir a legislação ambiental (Brasil, 2008). O Novo Código também instituiu no seu artigo 29 o Cadastro Ambiental Rural, e a partir de então o proprietário não está mais obrigado a averbar a Área de Reserva Legal às margens da matrícula do imóvel rural no Cartório de registro de imóveis, contrariando o que determinava o Código anterior, a Lei nº 4.771/65, art. 16, §8º (Brasil, 1965).

Leite (2015, p. 337) destaca as alterações quantitativas das faixas marginais definidas pelo novo Código, em relação à legislação anterior: “Partindo de um dever de manter pelo menos 30 metros, podendo chegar até quinhentos metros, definidas de acordo com a largura dos cursos hídricos: a) 30 metros para cursos de largura inferior a 10 metros; b) 50 metros para cursos entre 10 a 50 metros; c) 100 metros para cursos entre 50 a 200 metros; d) 200 metros para aqueles que possuam de 200 a 600 metros; e, por fim, e) 500 metros para cursos com largura superior a 600 metros. O Código revogado fixava, por exemplo, um dever de proteger no mínimo 150 metros para cursos hídricos com largura entre 150 e 200 metros”.

Outra inovação trazida pelo Novo Código foi a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Segundo o Sistema Florestal Brasileiro¹, trata-se de um “registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais”, principalmente no que diz respeito às áreas de preservação permanente e de reserva legal. Sendo o primeiro passo para a regularização ambiental do imóvel e nele estão presentes as principais informações sobre o imóvel, como: dados do proprietário, possuidor rural ou responsável direto pelo imóvel rural, informações georreferenciadas do perímetro do imóvel e das áreas de interesse social ou de utilidade pública, entre outras.

Entre os críticos ao “Novo Código Florestal”, destaca-se o argumento de que as mudanças introduzidas comprometem as condições ambientais mínimas indispensáveis “não apenas à existência digna da pessoa humana, mas à sua própria sobrevivência” (Leite, 2015, p. 343). Os padrões estabelecidos pela norma revogada (Lei nº 4.771/65) asseguravam esse mínimo, e as alterações realizadas configuram uma violação ao princípio da proibição do retrocesso ambiental. Esse princípio busca proteger os direitos fundamentais contra ações legislativas que impliquem retrocessos, funcionando como uma espécie de salvaguarda contra flexibilizações prejudiciais (in pejus) (Sarlet e Fensterseifer, 2011).

No Tocantins, a aplicação prática do Código Florestal enfrenta limitações semelhantes. Estudos recentes demonstram falhas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e fragilidades na proteção de APPs em bacias críticas como as dos rios Formoso e Javaés, o que tem favorecido o avanço do desmatamento na região do Matopiba². Carneiro et al. (2024) mostram que o mecanismo de compensação de Reserva Legal tem

¹ BRASIL. **Sistema Florestal Brasileiro**. Cadastro Ambiental Rural (CAR). Registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br>. (2024).

² O termo MATOPIBA refere-se à região formada pelo acrônimo dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Trata-se da última grande fronteira agrícola do Brasil, caracterizada pela expansão da produção de grãos e pela intensificação de conflitos socioambientais, especialmente no Cerrado. A delimitação oficial da região foi estabelecida pelo Decreto nº 8.447, de 6 de maio de 2015, que instituiu o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA (PDA-MATOPIBA) (BRASIL, 2015).

sido utilizado para legitimar desmatamentos ilegais no Cerrado, revelando como brechas normativas e omissões locais contribuem para a erosão da efetividade da legislação. Esses problemas reforçam a necessidade de articular a norma nacional à realidade estadual e municipal, onde os desafios são mais agudos.

Essa dificuldade também se relaciona ao arranjo federativo de competências previsto nos arts. 23 e 24 da CF/88. Embora União, Estados e Municípios compartilhem responsabilidade sobre a proteção ambiental, a omissão de muitos municípios tocaninenses em exercer sua competência local (art. 30, CF/88) tem comprometido a fiscalização, sobretudo em áreas de expansão agrícola. A ausência de planos municipais e estaduais consistentes de controle e a falta de integração entre União, Estado e municípios resultam em sobreposição de normas sem efetividade prática, permitindo que pressões econômicas prevaleçam sobre a tutela ambiental (Brasil, 1988).

A interface urbano-florestal (IUF) é entendida como a zona de contato direto entre áreas urbanizadas e a vegetação natural, marcada pela sobreposição de riscos ambientais, ocupação humana e combustíveis florestais (Bento-Gonçalves; Vieira, 2020; Radeloff et al., 2005). No Cerrado tocaninense, essas áreas apresentam características próprias: forte pressão de expansão agropecuária, presença de fragmentos florestais em mosaico e proximidade de comunidades rurais e urbanas, o que as torna particularmente vulneráveis aos incêndios.

De acordo com Vitali (2021), uma das principais barreiras é a inexistência de uma estratégia unificada e específica voltada para a proteção de pessoas e estruturas nessas áreas. A legislação atual é fragmentada e, muitas vezes, desatualizada, ainda baseada em dispositivos do antigo Código Florestal (Lei nº 4.771/1965), revogado e substituído pela Lei nº 12.651/2012. Isso indica uma lacuna na atualização normativa para enfrentar os desafios contemporâneos na gestão territorial e na prevenção de incêndios. Além disso, Vitali (2021) aponta a ausência de planos de contingência adequados nos níveis estadual e federal. Embora o artigo 39 do Código Florestal atribua aos órgãos públicos a responsabilidade de elaborar e atualizar esses planos em áreas com vegetação nativa ou plantios florestais, essa obrigatoriedade não se materializa em ações concretas. A falta de planejamento robusto reflete-se, sobretudo, nas regiões de maior risco, onde as regulamentações, na maior parte dos casos, não são vinculativas. Assim, as boas práticas e a gestão de combustíveis, apesar de recomendadas, não têm caráter obrigatório, limitando a eficácia das ações preventivas. Em termos de delimitação da interface urbano-florestal, Vitali (2021) não faz menção direta a uma proposta concreta para a definição desses limites no Brasil.

No entanto, o documento destaca a importância da delimitação adequada das zonas de segurança e do espaço defensável, que podem ajudar a mitigar os riscos de incêndios. Essas medidas são fundamentais para a proteção de habitações e outras infraestruturas próximas às áreas florestais, e poderiam ser integradas numa política mais abrangente de prevenção e combate a incêndios. As sugestões gerais para o Brasil, conforme apontado por Vitali (2021), incluem o fortalecimento das regulamentações sobre a gestão de combustíveis ao redor de edificações, a implementação de materiais resistentes ao fogo nas construções e a criação de zonas de segurança entre áreas urbanas e florestais. Ademais, a autora recomenda o desenvolvimento de campanhas de conscientização pública, o treinamento das comunidades locais sobre como agir em caso de incêndio, além da introdução de tecnologias de monitoramento e alerta precoce para reduzir os impactos de incêndios florestais (Vitali, 2021).

Em síntese, o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), embora represente um marco jurídico relevante, introduziu mecanismos de flexibilização que suscitam críticas quanto à efetividade de sua proteção ambiental. Uma dessas alterações posteriores foi a Lei nº 14.285/2021, que transferiu aos municípios a competência de definir as faixas de Áreas de Preservação Permanente (APPs) em áreas

urbanas consolidadas. Embora justificada pela necessidade de compatibilizar preservação ambiental e expansão urbana, essa mudança abriu margem para regulamentações locais menos rigorosas, enfraquecendo a uniformidade nacional de proteção e ampliando a vulnerabilidade de ecossistemas frágeis em contextos urbanos (Brasil, 2012; Brasil, 2021).

Assim, o Brasil, apesar de possuir um extenso arcabouço legal ambiental que visa a proteção dos recursos naturais, ainda enfrenta desafios na incorporação do conhecimento local e na aplicação efetiva dessas normativas. A falta de integração com as populações locais resulta em práticas ilegais e na perda de saberes tradicionais, comprometendo o manejo sustentável. No Tocantins, tais fragilidades adquirem contornos ainda mais críticos diante da expansão agropecuária e da baixa capacidade de fiscalização em áreas de risco. A soma desses fatores resulta em um quadro de vulnerabilidade institucional que compromete tanto a conservação da vegetação nativa quanto a prevenção de incêndios em áreas críticas.

3.3.4. REGULAMENTAÇÃO - TOCANTINS

Como foi dito anteriormente, os estados possuem competência para, no âmbito de seus interesses, legislar concorrentemente à União sobre a proteção do Meio Ambiente. Então, na mesma linha do Código Florestal (em nível federal), o Estado do Tocantins possui a Lei Estadual nº 771, de 07 de julho de 1995, que dispõe sobre a Política Florestal do Estado do Tocantins. E, em seu artigo primeiro já determina que “as florestas existentes no território do Estado do Tocantins e demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade ao meio ambiente e as terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do Estado”. Conforme a Lei, art. 2º, a gestão florestal no estado deverá observar os princípios da preservação e conservação da biodiversidade; da função social da propriedade; da compatibilização entre o desenvolvimento e o equilíbrio ambiental e o uso sustentado dos recursos naturais renováveis. além disto, entre os objetivos estão: assegurar a conservação das principais formações fitogeográficas; controlar a exploração, utilização e consumo de produtos e subprodutos florestais; e proteger a flora e fauna silvestres; entre outros (Tocantins, 1995).

No dia 26 de julho de 1996, através da Lei Estadual nº 858 de 26 de julho de 1996, foi criado o Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), com semelhanças ao IBAMA. Trata-se de uma autarquia estadual que substituiu a Fundação Natureza do Tocantins, criada em 1989. O instituto tem por competências, segundo o artigo 3º da Lei Estadual nº 858/96: I- a execução da política ambiental do Estado; II- o monitoramento e o controle ambiental; III- a fiscalização do cumprimento da legislação ambiental e IV- a prestação do serviço correlatos que lhe sejam atribuídos resultando de convênios, acordos e contratos. Além disso, também é de sua alçada a gestão das Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável do Estado, e visa a promoção do bem-estar socioambiental através de projetos e ações voltados para o manejo sustentável dos recursos naturais geradores de renda familiar (Tocantins, 1996).

Dentro do âmbito da NATURATINS, entre outras, há a Diretoria de Proteção e Qualidade Ambiental, dentro da qual atua a Gerência de Fiscalização Ambiental e a Gerência de Inspeção Ambiental. A primeira, responsável pela fiscalização e controle dos desmatamentos e queimadas, pela fiscalização da caça e pesca predatória e da degradação ambiental. A segunda, entre outras questões, é responsável por analisar, aprovar e acompanhar a execução dos Planos de Recuperação de área Degradada, emitir Declaração de Regularidade Ambiental e atender denúncias relacionadas a empreendimentos e atividades regularizadas junto ao NATURATINS. Este órgão é de fundamental importância para o entendimento da gestão ambiental no Estado, pois trabalha junto com o IBAMA, no âmbito estadual. Importante destacar que a Lei Estadual nº 071, de 31 de julho de 1989, que estabelece as normas de proteção ao meio ambiente, coloca o Estado recém-criado em sintonia com a legislação nacional de

proteção do meio ambiente. Quando em seu artigo primeiro determina que “as pessoas físicas e jurídicas que se estabelecem no Estado do Tocantins e que trabalham com produtos poluentes, ficam obrigadas a apresentar projeto ao órgão ambiental competente”, que, no Estado do Tocantins, se trata do NATURATINS (Tocantins, 1989).

Apesar da relevância do NATURATINS como órgão executor da política ambiental estadual, sua atuação enfrenta limitações estruturais e institucionais que comprometem a eficácia da fiscalização. Carneiro et al. (2024) apontam que fragilidades na implementação do Cadastro Ambiental Rural e no controle das Áreas de Preservação Permanente permitem que mecanismos legais sejam instrumentalizados para legitimar desmatamentos irregulares. Essa realidade reflete-se também no Tocantins, onde a pressão exercida pela expansão agropecuária no MATOPIBA sobrecarrega a capacidade operacional do órgão. Somam-se a isso a dependência de convênios com a União e a baixa capacidade técnica e orçamentária em algumas regiões, fatores que dificultam a prevenção efetiva de queimadas e desmatamentos em áreas críticas. Essas limitações institucionais ajudam a explicar por que, mesmo com a existência de planos e programas estaduais, os focos de calor permaneceram elevados nas últimas décadas (INPE, 2024).

O Estado do Tocantins, no ano de 2008, aderiu ao Plano Amazônia Sustentável (PAS), do governo federal, que propõe diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. E tem entre os objetivos a valorização da diversidade sociocultural e ambiental da Amazônia, ampliar a presença do Estado na Amazônia, combater o desmatamento ilegal (Brasil, 2008). Tal aderência se deu por meio da Lei Estadual nº 1.917/2008 (Tocantins, 2008), que instituiu a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins. Deste dispositivo legal, de salientar o art. 1º, § único, inciso I, que reconhece a importância da “conservação das florestas, do cerrado e da biodiversidade diante das atividades antrópicas que provocam os efeitos nocivos da mudança global do clima”. A Lei, de forma expressa, elenca os princípios orientadores da política estadual, que são: prevenção; precaução; responsabilidades comuns; desenvolvimento Sustentável e Cooperação Nacional e Internacional.

No mesmo íterim, foi apresentado o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas no Estado do Tocantins. Neste documento o Estado apresentou a estrutura de controle e combate às queimadas, que hoje é operada pela Defesa Civil e tem como órgãos executores os Corpos de Bombeiros do Estado, a Defesa Civil e NATURATINS. Abaixo (Figura 16) podemos conferir a estrutura do estado no diagrama apresentado no Plano (Tocantins, 2009).

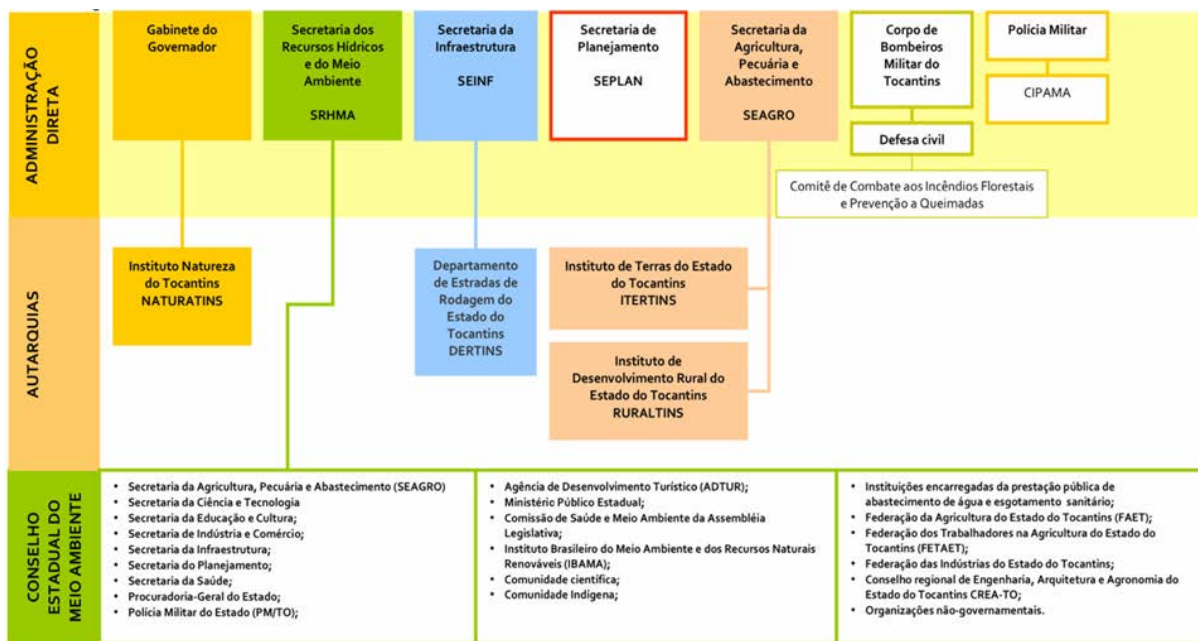


Figura 16 - Órgãos estaduais envolvidos no plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e queimadas do estado do Tocantins

No dia 20 de agosto de 1998, através do Decreto Estadual nº 645, foi criado o Comitê do Fogo, presidido pelo Corpo de Bombeiros Militar, com o objetivo de aperfeiçoar as ações de controle e prevenção das queimadas no Estado do Tocantins. A partir de 2007, tornou-se atribuição do Comitê do Fogo a elaboração do Plano Anual de Controle e Combate às Queimadas Descontroladas no Estado do Tocantins (Tocantins, 1998). Segundo o NATURATINS (2015), o plano conta com quatro etapas e 16 ações, "entre elas, está a campanha educativa de prevenção ao fogo e visita de sensibilização aos produtores rurais" (NATURATINS, 2015).

Um projeto relevante no contexto da gestão ambiental é o Projeto Proteção Florestal, implementado pelo Fundo Amazônia em 2013. O projeto tem como objetivo apoiar ações de monitoramento, prevenção e combate ao desmatamento causado por incêndios florestais e queimadas não autorizadas no Estado do Tocantins, com ênfase na região centro-norte. Entre suas iniciativas, destacam-se a capacitação de recursos humanos, a estruturação de mecanismos de gestão integrada e a aquisição de materiais e equipamentos para instrumentalizar o Batalhão de Proteção Ambiental (Fundo Amazônia, 2013).

O executor do projeto é o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins, que passou a ser mais bem estruturado, com o fornecimento de insumos necessários para a ampliação de ações de monitoramento e combate a incêndios florestais, a capacitação de gestores e a formação de brigadistas civis, além do treinamento da comunidade. O projeto recebeu apoio do Fundo Amazônia, no montante total de R\$ 4.958.910,00 (Fundo Amazônia, 2013). O projeto contribui para o cumprimento da meta de redução de emissões de gases acordada na Conferência das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, realizada em Copenhague em 2009 (Tocantins, 2013).

Apesar dos avanços institucionais e do aporte financeiro de iniciativas como o Comitê do Fogo (Tocantins, 1998) e o Projeto Proteção Florestal (Fundo Amazônia, 2013), os resultados práticos em termos de controle dos incêndios permanecem limitados. Dados do INPE (2024) revelam que os focos de calor no estado oscilaram intensamente nas últimas décadas, com picos críticos em 2007, 2010, 2012 e 2020, além de tendência recente de crescimento entre 2019 e 2024. Esse padrão demonstra que a criação de planos e estruturas não foi suficiente para conter a expansão das queimadas, sobretudo em áreas de fronteira agrícola como o Matopiba. Estudos complementares reforçam esse quadro: Lazzarini

et al. (2012) mostraram que assentamentos de reforma agrária e terras indígenas concentram parte expressiva dos focos, enquanto Santopuoli et al. (2017) evidenciaram a persistência do uso do fogo como prática aceita socialmente nas atividades agropecuárias tocaninenses. Esses achados revelam que, embora as políticas públicas tenham fortalecido a capacidade de resposta emergencial, não houve redução consistente da incidência ou da área queimada no estado.

Em 2017 o Ministério do Meio Ambiente (MMA) formulou a portaria nº 105, de 21 de fevereiro de 2017 declarando o estado de emergência ambiental no Tocantins (de maio a dezembro daquele ano), foram contratados por meio do PREVFOGO 141 brigadistas que constituíram seis brigadas, distribuídas nas Terras Indígenas Apinajé, Kraolândia, Parque do Araguaia e Xerente tendo, por meio de notas climatológicas e dados registrados em campo, sido constatado que o Tocantins passava pela pior estiagem registrada. Em 13 de setembro de 2017 já tinham sido registrados mais de 140 dias sem precipitações, com temperaturas elevadas, umidade relativa do ar baixa e fortes ventos. Este também foi o ano com maior número de focos de calor nos últimos sete anos. Tais características são certas para a maior incidência de rápida propagação de chamas, problemas respiratórios na população, morte da fauna, possíveis problemas de fornecimento de serviços básicos à população como; energia e transporte além de evidentes danos econômicos. Assim, com o intuito de proteger deste cenário foi formado o Comando Unificado da Operação Tocantins 2017 com os seguintes órgãos e com objetivo de realizar gestão integrada dos incêndios florestais: IBAMA, Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins (CBMTO), Defesa Civil Estadual (DC), Exército Brasileiro (EB), Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins (SEMARH-TO) e Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS) entre outros apoiadores (Moraes, et al., 2018).

A Lei Estadual nº 3.804/2021, que estabelece as normas para o licenciamento ambiental no Tocantins, foi alvo de questionamentos judiciais quanto à sua constitucionalidade. O Tribunal de Justiça do Tocantins declarou a inconstitucionalidade de diversos dispositivos dessa lei, acolhendo a Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) proposta pelo Ministério Público do Estado (MPE). Entre os dispositivos considerados inconstitucionais estão o artigo 6º, inciso II, que tratava do "Licenciamento Ambiental Autodeclaratório", e o artigo 30, que instituía o "Licenciamento por Adesão e Compromisso". Estes mecanismos foram criticados por flexibilizarem de forma excessiva o processo de licenciamento ambiental, permitindo que atividades potencialmente prejudiciais ao meio ambiente fossem autorizadas sem uma análise prévia adequada por parte dos órgãos competentes (Tocantins, 2021).

O MPE argumentou que tais flexibilizações violam os princípios constitucionais de prevenção e precaução ambiental, ao permitir que os próprios empreendedores autodeclarassem o cumprimento das exigências ambientais, sem o devido rigor técnico exigido por lei. Dessa forma, o afrouxamento das normas poderia resultar em danos ambientais irreversíveis, contrariando o direito fundamental ao meio ambiente equilibrado, previsto na Constituição Federal (Ministério Público do Tocantins, 2023). A decisão do Tribunal de Justiça reforça a necessidade de um controle mais rigoroso e técnico sobre as atividades de licenciamento ambiental no Estado.

O Decreto nº 6.840, de 5 de setembro de 2024, declara situação de emergência no Estado do Tocantins devido a desastres climatológicos, especificamente incêndios florestais. O decreto foi emitido em resposta à escalada de incêndios no estado, que afetam vastas áreas de vegetação e representam graves ameaças à fauna, flora e à saúde pública. A situação de emergência permite que o governo estadual tome medidas extraordinárias para combater os incêndios, agilizando processos burocráticos e mobilizando recursos materiais e humanos com maior rapidez para controlar e mitigar os danos provocados pelo desastre ambiental (Tocantins, 2024). Esse decreto ilustra como, apesar dos esforços institucionais, a incapacidade de prevenir incêndios de larga escala ainda obriga o Estado a recorrer a medidas emergenciais, com alto custo social e econômico (Tocantins, 2024).

Embora o Tocantins possua um arcabouço jurídico e institucional alinhado às diretrizes nacionais e tenha implementado iniciativas relevantes, a efetividade prática dessas medidas permanece limitada. Pesquisas revelam que a emissão de licenças ambientais em desacordo com a legislação e a baixa capacidade de fiscalização reduzem a eficácia dos instrumentos existentes (Carneiro et al., 2024). Além disso, os dados históricos demonstram que a variabilidade e recorrência dos incêndios permanecem elevadas (INPE, 2024; Lazzarini et al., 2012), o que reforça que a existência de normas e planos, por si só, não garante proteção ambiental efetiva. Nesse contexto, a crítica acadêmica torna-se fundamental para revelar o descompasso entre a robustez normativa e os resultados concretos em termos de conservação da biodiversidade e prevenção de incêndios.

3.3.5. MANEJO DO FOGO NOS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO – TERRITÓRIO BRASILEIRO

Durante a colonização o uso do fogo foi um elemento central nas atividades econômicas, associada à extração de madeira, plantação de cana-de-açúcar e café, além da criação de pastagens. No entanto, com o tempo, as práticas indígenas de queima controlada foram progressivamente suprimidas, e o uso indiscriminado do fogo por agricultores e pecuaristas levou a mudanças nos regimes de fogo. Enquanto os indígenas usavam pequenas queimadas para criar mosaicos de vegetação com diferentes níveis de queima, os colonizadores e fazendeiros substituíram essas práticas por incêndios de grande escala, que resultaram na homogeneização da paisagem e no aumento de incêndios tardios e descontrolados. Em termos de políticas, o Brasil adotou por muito tempo uma política de supressão total do fogo, independentemente do tipo de vegetação. No Cerrado, isso levou a uma invasão de espécies lenhosas e a um aumento da carga de combustíveis, o que tornou o bioma ainda mais suscetível a incêndios de grande escala (Moura, et al., 2019).

O manejo do fogo no Brasil tem passado por uma transição importante nos últimos anos, com a mudança de políticas de supressão para políticas de manejo integrado. Esta mudança tem sido particularmente significativa no bioma Cerrado, onde o fogo desempenha um papel crucial nos ecossistemas, mas onde as políticas anteriores de supressão do fogo se mostraram ineficazes e prejudiciais, resultando em grandes incêndios no final da estação seca (Eloy, et al., 2019).

Tradicionalmente, o Brasil adotou políticas de supressão do fogo, que proibiam o uso de queimadas por comunidades tradicionais e indígenas, criminalizando essas práticas (Eloy, et al., 2019). Essa abordagem não considerava o papel histórico do fogo na manutenção dos ecossistemas do Cerrado, um bioma que inclui, tanto vegetação resistente ao fogo, quanto espécies que dependem dele para seu ciclo de vida (Durigan e Ratter, 2016). Antes da colonização europeia, os povos indígenas no Brasil realizavam queimadas de forma regular e estratégica, geralmente em pequenas áreas contíguas (tipicamente de tamanho de um hectare). Essas queimadas eram utilizadas para criar mosaicos de vegetação com diferentes histórias de fogo e extensões queimadas. O objetivo dessas práticas era múltiplo, incluindo a criação de áreas propícias para caça, a manutenção da biodiversidade e a prevenção de incêndios de grandes proporções. Os indígenas geralmente iniciavam as queimadas no início da estação seca, quando os combustíveis começavam a secar, e as mantinham até o início da estação chuvosa. Esse uso estratégico do fogo, muitas vezes próximo a áreas úmidas, riachos e zonas rochosas, servia como quebra-fogos naturais, ajudando a controlar a propagação do fogo e a evitar incêndios de grandes proporções no final da estação seca. Assim, as queimadas indígenas criavam um mosaico de áreas com diferentes graus de queima, o que ajudava a reduzir o risco de grandes incêndios descontrolados (Moura, et al., 2019).

As políticas de supressão anteriormente utilizadas levaram ao acúmulo de material combustível, como matéria orgânica seca, que, em vez de prevenir incêndios, acabou por aumentar a intensidade dos

incêndios florestais quando estes ocorriam, particularmente no final da estação seca. Este cenário começou a mudar em 2012, com a alteração da legislação federal, que passou a permitir o uso controlado do fogo com fins de conservação em áreas protegidas, tanto públicas quanto privadas, nos ecossistemas propensos ao fogo (Brasil, 2012). A legislação isentou as comunidades tradicionais da necessidade de obter permissões formais para o uso do fogo, reconhecendo pela primeira vez a importância de suas práticas de manejo. Essa mudança legislativa marcou o início de uma transição para o manejo integrado do fogo no Cerrado, que passou a ser implementado pelo governo a partir de 2013 (Schmidt, et al., 2018) (Moura, et al., 2019).

O Manejo Integrado do Fogo (MIF) foi introduzido como uma resposta às falhas das políticas de supressão. Ele se baseia na premissa de que o fogo pode ser uma ferramenta eficaz para a conservação, desde que usado de maneira controlada e planejada. Um dos exemplos mais notáveis da implementação dessa política é o Projeto Cerrado-Jalapão, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e financiado em parte pela cooperação alemã, que tem como objetivo reintroduzir o fogo como ferramenta de manejo em áreas protegidas do Cerrado (Eloy, et al., 2019). O projeto foi implantado em três grandes áreas protegidas no norte do Cerrado e teve como metas principais:

- Reduzir a frequência de incêndios de grande escala no final da estação seca, promovendo queimadas controladas no início desta estação;
- Proteger vegetações sensíveis ao fogo, como florestas ripárias;
- Melhorar a capacidade dos funcionários das áreas protegidas na tomada de decisões e no manejo do fogo;
- Diminuir os conflitos entre as áreas protegidas e as comunidades locais (Schmidt, et al., 2018).

As brigadas comunitárias de incêndio, formadas por habitantes locais, desempenham um papel central na implementação do MIF. Essas brigadas são treinadas em técnicas de manejo do fogo, incluindo o uso de tecnologias de mapeamento de biomassa e novas técnicas de ignição controlada. As reuniões comunitárias também são uma parte fundamental do processo, proporcionando um espaço para o diálogo entre os gestores de áreas protegidas e as comunidades locais (Schmidt, et al., 2018).

Os autores Schmidt, et al. (2018), Durigan e Ratter (2016), Santos, et al. (2021), Eloy, et al. (2019) e Mistry, et al. (2016) sugerem uma série de políticas e estratégias que podem melhorar ainda mais o manejo do fogo no Brasil, com foco na integração de conhecimento científico e tradicional, bem como no fortalecimento da participação comunitária, entre as ações sugeridas, estão:

- 1) Queimadas Prescritas: As queimadas prescritas no início da estação seca são uma das principais políticas sugeridas para reduzir a propagação de grandes incêndios no final da estação. Este tipo de queima controlada cria paisagens em mosaico, que fragmentam a biomassa e reduzem a quantidade de combustível disponível para incêndios maiores. Além disso, essas queimadas são fundamentais para a manutenção da biodiversidade em ecossistemas adaptados ao fogo, como o Cerrado (Durigan e Ratter, 2016). Indo de encontro com esse pensamento o estudo de Santos, et al. (2021) demonstrou que o uso do fogo prescrito (OP, ou prescribed burning) foi eficaz em reduzir incêndios de grandes proporções e de alta intensidade nas áreas de Cerrado analisadas, particularmente nas Terras Indígenas Xerente e Araguaia. O estudo mostra que a implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) nessas áreas, a partir de 2015, levou a uma diminuição significativa das áreas queimadas por incêndios descontrolados na estação seca tardia, ao mesmo tempo que aumentou o número de queimadas controladas na estação seca inicial e intermediária, quando o impacto sobre a biodiversidade é menor e as condições climáticas são mais favoráveis ao controle do fogo. Uma das principais conclusões

do trabalho de (Santos, et al., 2021) é a criação de mosaicos de queima, estratégia fundamental para reduzir os incêndios severos e preservar a biodiversidade no Cerrado. Esses mosaicos, formados por áreas com diferentes históricos de queima, ajudam a fragmentar a vegetação, limitando a propagação de incêndios maiores. Em termos de política, o documento sugere a continuidade do MIF com a ampliação do uso de queimadas prescritas para controlar a carga de combustível acumulada, o que contribui para reduzir os incêndios na estação seca tardia, que tendem a ser mais intensos e prejudiciais. O uso contínuo de fogo prescrito mostrou-se uma medida importante para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e preservar os ecossistemas sensíveis ao fogo.

2) **Participação Comunitária:** Uma das sugestões mais fortes do artigo é a necessidade de uma maior inclusão das comunidades locais e indígenas no planejamento e execução do manejo do fogo. O artigo destaca que o MIF já começou a resgatar e valorizar o conhecimento tradicional de uso do fogo, especialmente por meio da criação de brigadas de incêndio comunitárias. Essas brigadas não apenas ajudam na execução de queimadas prescritas, mas também oferecem uma oportunidade para as comunidades locais participarem ativamente do processo de tomada de decisão (Eloy, et al., 2019).

3) **Ferramentas de Planejamento Participativo:** O uso de ferramentas como mapas participativos e calendários de queima são recomendados como meios de facilitar o diálogo entre os cientistas, gestores de áreas protegidas e comunidades locais. Essas ferramentas permitem que as comunidades contribuam para o planejamento do manejo do fogo, indicando áreas e períodos adequados para a realização de queimadas controladas (Schmidt, et al., 2018).

4) **Apoio às Práticas Tradicionais de Queimadas:** Outra sugestão importante é o apoio contínuo às práticas tradicionais de manejo do fogo. O artigo alerta que, embora as queimadas prescritas no início da estação seca sejam eficazes, elas não devem substituir completamente as práticas tradicionais de queima, que muitas vezes ocorrem ao longo de todo o ano para atender a objetivos produtivos, como a criação de pastagens para o gado. O manejo integrado deve considerar essas práticas e incorporar o conhecimento local em suas estratégias (Eloy, et al., 2019).

5) **Integração de Conhecimento Tradicional e Científico:** Os autores enfatizam a importância de integrar o conhecimento tradicional e o científico não apenas no nível de implementação, mas também na compreensão dos efeitos do fogo nos ecossistemas. A pesquisa colaborativa, envolvendo cientistas e comunidades locais, pode ajudar a criar sistemas híbridos de conhecimento, que unam o melhor de ambos os mundos. Isso é essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes e adaptativas para o manejo do fogo (Mistry, et al., 2016).

Apesar dos avanços significativos, o artigo aponta alguns desafios e limitações à plena implementação dessas políticas no Brasil. Em primeiro lugar, ainda existem resistências políticas e científicas à adoção de estratégias que integrem o conhecimento tradicional. Alguns setores, como o agronegócio, continuam a ver o fogo como uma prática destrutiva, e as instituições públicas ligadas à agricultura tendem a promover alternativas tecnológicas ao fogo, sem considerar as práticas tradicionais de manejo (Eloy, et al., 2019).

Outro desafio advém do risco de simplificar o conhecimento tradicional de uso do fogo. A criação de brigadas de incêndio e a institucionalização das queimadas prescritas, embora importantes, podem reduzir a complexidade das práticas tradicionais a uma série de ações padronizadas. Isso pode resultar na marginalização das comunidades locais, que deixam de ser protagonistas do manejo do fogo em seus territórios e passam a ser vistas como beneficiárias de um serviço oferecido por instituições externas (Schmidt, et al., 2018).

Além disso, o foco excessivo em queimadas no início da estação seca pode desconsiderar o valor das queimadas tardias, que em algumas regiões são essenciais para a criação de pastagens e outros usos produtivos do solo. O artigo sugere que as brigadas comunitárias e os gestores ambientais devem trabalhar juntos para encontrar um equilíbrio que atenda tanto às necessidades de conservação quanto às demandas produtivas das comunidades locais (Eloy, et al., 2019).

O Brasil tem feito progressos significativos na transição de uma política de supressão do fogo para uma política de manejo integrado, particularmente no Cerrado. No entanto, ainda existem desafios a serem superados, incluindo a resistência política e científica, bem como a necessidade de maior inclusão e valorização das práticas tradicionais. Os estudos sugerem que o caminho para um manejo eficaz do fogo no Brasil passa pela integração do conhecimento tradicional e científico, pela participação ativa das comunidades locais e pelo uso de ferramentas de planejamento participativo que promovam o diálogo e a cooperação entre todos os envolvidos.

Oliveira, et al. (2021) destacam que tanto em iniciativas públicas quanto privadas, há uma alocação desproporcional de recursos, com 94% dos investimentos voltados para a supressão de incêndios e apenas 6% para a prevenção. No entanto, as unidades de conservação que implementaram programas de prevenção além da supressão conseguiram reduzir em 6% as áreas queimadas em comparação com aquelas que investiram apenas na supressão. Isso evidencia a necessidade de um maior equilíbrio entre prevenção e combate ao fogo, com foco em medidas que reduzam o risco de incêndios de forma proativa. Oliveira, et al. (2021) exemplificam ainda que o Programa da Aliança da Terra é uma iniciativa privada que visa promover o manejo sustentável da terra e o combate a incêndios em propriedades rurais no Brasil. Lançado em 2006, o programa oferece suporte técnico para regularização ambiental, implementação de práticas sustentáveis e prevenção de incêndios. As propriedades rurais que aderem ao programa recebem assistência para melhorar suas práticas de manejo, o que resultou em uma redução média de 50% nas áreas queimadas, com 35% de redução na Amazônia e 58% no Cerrado (Oliveira, et al., 2021).

A integração das comunidades no processo de manejo do fogo e a adequação das legislações às peculiaridades da região são essenciais para garantir a proteção do meio ambiente e a segurança da população. Diante disso, é importante explorar legislações internacionais, especialmente as relacionadas à interface urbano-florestal, em países que enfrentam desafios semelhantes. O estudo das políticas adotadas nesses países pode fornecer subsídios valiosos para o desenvolvimento de novas práticas e a adaptação das políticas públicas no Tocantins. A seguir, será abordada a análise comparativa de legislações estrangeiras sobre a interface urbano-florestal e sua aplicabilidade no contexto dos incêndios florestais.

4.

ESTADO DA ARTE - LEGISLAÇÃO

4.1. COMENTÁRIOS INTRODUTÓRIOS

Um estudo comparativo das normas de segurança contra incêndios urbanos nos estados brasileiros foi realizado por Rodrigues, et al. (Rodrigues, Rodrigues, e Da Silva Filho, 2017), com o intuito de apontar as principais características de cada norma e identificar eixos de semelhança que pudessem fundamentar a criação de uma norma geral a ser seguida por todos os estados.

No campo das influências internacionais, González et al. (2006) destacaram a relevância da legislação florestal francesa para a legislação brasileira, evidenciando como comparações com países de contextos distintos podem ser enriquecedoras para a formulação de conceitos, métodos e ações voltadas à proteção ambiental. Nesse sentido, mesmo em áreas temáticas diversificadas, a análise comparativa de normas jurídicas entre países pode oferecer contribuições importantes. Exemplo disso é o estudo de Coxir et al. (2014), que analisou regulamentações sobre reprodução humana assistida no Brasil, Chile, Uruguai e Argentina, demonstrando a utilidade de análises comparadas também em campos distintos do ambiental (González, Boissonny, e González, 2006) (Coxir, Lopes, Silva, e Penna, 2014).

Retomando o tema da segurança contra incêndios urbanos, Toledo (2018) realizou um estudo comparativo das normas dos corpos de bombeiros brasileiros relativas à proteção de edificações históricas, evidenciando a importância da normativa NFPA 914, que serviu de referência para legislações estaduais como as de São Paulo e Minas Gerais. O autor ressaltou ainda que, devido à herança arquitetônica da colonização portuguesa, a experiência normativa de Portugal constitui um referencial particularmente valioso para o Brasil.

As análises comparativas também se estendem ao confronto entre leis revogadas e legislações subsequentes, como no estudo de Seibel et al. (2014), que examinou a Lei nº 14.376, voltada à regulamentação de estabelecimentos de grande circulação após a tragédia da Boate Kiss em Santa Maria (RS), em 2013, em relação à legislação vigente à época do acidente. Esse tipo de abordagem demonstra a relevância das mudanças normativas para suprir falhas identificadas em contextos de crise e também revela pontos em que persistem lacunas.

Outros estudos enfatizam discrepâncias entre normas técnicas vigentes. Costa et al. (2016), por exemplo, identificaram que a norma ABNT NBR 15200:2012, embora complementar à ABNT NBR 6118:2014 por estabelecer padrões de cálculo que ampliam a segurança estrutural, era pouco conhecida por parte dos profissionais entrevistados, o que limita sua efetividade prática (Da Costa, Ajala, Júnior, De Oliveira, e Miller, 2016).

No plano internacional, Tedim et al. (2022) analisaram causas e motivações de incêndios florestais no sul e sudeste da Europa, abrangendo França, Portugal, Itália e Espanha. As causas mais recorrentes

incluem negligência em atividades agrícolas, queimadas deliberadas para obtenção de lucro e falhas na gestão da vegetação. Em Portugal, as queimadas agrícolas figuram como causa central, majoritariamente classificadas como negligentes. Na Espanha, tais práticas variam entre negligência e intencionalidade, a depender da interpretação dos relatórios oficiais. Na França, as regiões sudeste e a Córsega se destacam como as mais afetadas, enquanto na Itália predominam queimadas deliberadas, sobretudo no sul do país. Apesar das diferenças na forma de registro entre os países, observa-se uma tendência de superestimação de incêndios atribuídos a causas maliciosas, especialmente na Itália e Espanha. Já na França, negligência ligada à má gestão de resíduos e ao uso inadequado do fogo para manejo da vegetação figura como fator determinante.

O estudo também ressalta que a ausência de procedimentos uniformes para classificação das causas dificulta a implementação de políticas preventivas consistentes. A harmonização proposta pela União Europeia ainda é limitada em sua aplicação prática, mas busca justamente superar essas divergências. Em contextos como Itália e Portugal, a negligência associada ao manejo da vegetação e ao uso inadequado do fogo em práticas agrícolas se mantém como o principal vetor de risco, exigindo políticas de conscientização e educação. Já na Espanha e França, a complexidade das motivações sociais por trás dos incêndios demanda estratégias mais integradas, com participação ativa das comunidades locais em práticas sustentáveis de manejo do fogo (Tedim et al., 2022).

No campo específico da legislação sobre incêndios florestais, Mourão e Martinho (2019), com base em pesquisa bibliométrica na Web of Science (1997–2017), identificaram que a maior parte das normas surge de forma reativa, em resposta a grandes catástrofes. Os autores também observaram que os debates políticos tendem a concentrar-se na extensão das áreas queimadas, em vez de considerar variáveis mais abrangentes de risco.

Em análise anterior, Mourão e Martinho (2016) já haviam identificado esse perfil reativo na legislação portuguesa. Contudo, Fernandes et al. (2017) questionaram a metodologia empregada, destacando que as variáveis utilizadas eram inconsistentes ao longo do tempo e não refletiam os danos reais dos incêndios, além de criticarem a seleção subjetiva e incompleta das normas analisadas. Para os autores, interpretar todo crescimento normativo como puramente “reativo” empobrece o diagnóstico, pois ignora que muitas medidas surgem também como ajustes estruturais e mudanças de paradigma. Ainda assim, a contribuição de Mourão e Martinho permanece relevante, ao evidenciar um padrão recorrente de respostas legislativas pós-catástrofe.

Esse padrão também se reflete no Brasil e no Tocantins. A criação do PrevFogo pelo Decreto nº 2.661/1998 (Brasil, 1998b), motivada pela intensificação das queimadas na Amazônia Legal, é um exemplo claro de resposta legislativa reativa. Da mesma forma, o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) incorporou dispositivos específicos de prevenção e combate em meio a pressões decorrentes de incêndios recorrentes nos anos 1990 e 2000. Mais recentemente, episódios como os incêndios no Pantanal em 2020 e no Tocantins em 2017 e 2024 reafirmam essa lógica: apenas diante de cenários críticos foram adotadas medidas emergenciais, operações específicas e ajustes normativos (Pelissari et al., 2023; INPE, 2024; Morais et al., 2018; Tocantins, 2024).

Em Portugal, padrão semelhante se verificou após os incêndios de 2003 e, sobretudo, de 2017, quando tragédias como a de Pedrógão Grande impulsionaram a reformulação da Lei de Bases da Proteção Civil e a aprovação de novos diplomas sobre ordenamento florestal e gestão do fogo (Fernandes et al., 2017). Casos como esses, tanto no Brasil quanto em Portugal, demonstram como a produção normativa se intensifica em resposta a tragédias de grande escala, revelando um traço comum de reatividade.

No campo conceitual, Gonzalez e Ghermandi (2024) sistematizaram três métodos principais para delimitação da interface urbano-florestal (IUF): (i) criação de distâncias de amortecimento entre áreas

urbanas e vegetadas (caso de EUA, Itália, Chile e África do Sul); (ii) utilização de redes de faixas de proteção (Espanha e Portugal); e (iii) definição de zonas de risco com base em características territoriais (Austrália e França). Apesar da diversidade de abordagens, todas compartilham dois elementos centrais: a proteção de pessoas e bens, e a proximidade da vegetação, que aumenta o risco de incêndios.

A falta de consenso conceitual e metodológico fragiliza a comparabilidade entre países e dificulta a construção de políticas públicas consistentes. Nesse contexto, a adoção de critérios geográficos (faixas de distância), ecológicos (tipos de vegetação e carga de combustível) e institucionais (capacidade de fiscalização e ordenamento territorial) surge como alternativa promissora. A integração desses elementos poderia sustentar metodologias mais robustas e adaptáveis às realidades regionais, incluindo cenários de alta vulnerabilidade como o Cerrado tocantinense (Bento-Gonçalves; Vieira, 2020; Gonzalez; Ghermandi, 2024).

Em síntese, a definição da IUF deve ser compreendida não apenas como questão conceitual, mas como eixo estruturante para políticas de prevenção e ordenamento. A clareza metodológica nesse campo constitui requisito fundamental para orientar planos de contingência, fortalecer a legislação e reduzir vulnerabilidades socioambientais. Assim, observa-se que os estudos comparativos internacionais, aliados às análises críticas sobre legislação e metodologias de definição da IUF, oferecem subsídios importantes para pensar os desafios específicos do Tocantins. A transposição dessas lições evidencia que a robustez normativa, por si só, não garante eficácia prática, sendo necessário articular critérios conceituais claros e políticas públicas adaptadas às realidades locais.

Quanto aos incêndios florestais mais significativos nos países europeus que serão listados aqui (Portugal, França, Itália e Espanha) temos alguns fatores agravantes relacionados às situações legislativas e de políticas públicas. Um exemplo foi incêndio de Pedrógão Grande, Portugal, em 2017, uma série de fatores agravantes contribuiu para a devastação. O clima extremo, baixa umidade e fortes ventos criaram condições altamente favoráveis à propagação rápida do fogo. Além disso, a vegetação local — composta principalmente por plantações de eucaliptos e pinheiros — apresentava níveis reduzidos de humidade do combustível, resultantes das condições meteorológicas excepcionalmente quentes e secas de junho de 2017, o que aumentou a inflamabilidade para a época. Outro fator significativo foi a falha na comunicação e o alerta à população. O sistema de proteção civil de Portugal não conseguiu alertar os cidadãos sobre a gravidade dos incêndios em tempo hábil, o que dificultou as evacuações. Muitos moradores, especialmente idosos e aqueles em áreas rurais isoladas, não tinham a preparação ou os meios para evacuar com segurança. Essa falta de preparação foi agravada pela falta de medidas preventivas de gestão de combustíveis ao redor das propriedades e áreas florestais. O sistema de combate a incêndios também foi sobrecarregado, pois os recursos disponíveis estavam divididos entre vários focos simultâneos, o que reduziu a eficácia da resposta ao incêndio de Pedrógão Grande. Além disso, houve uma subestimação da gravidade potencial do incêndio, resultando numa mobilização inadequada de recursos para o combate às chamas. Finalmente, a gestão centralizada e a falha na coordenação entre agências locais e nacionais contribuíram para o agravamento da tragédia (Ganteaume, et al., 2021).

Na Itália, um dos principais fatores que agravam a intensidade e a ocorrência de incêndios florestais é o abandono de terras rurais e agroflorestais. A redução das atividades agrícolas e pastorícias em áreas florestais leva ao acúmulo de biomassa, que funciona como combustível para os incêndios. Esse processo de abandono tem sido exacerbado nas últimas décadas, resultando em um aumento na carga de combustível florestal, o que, combinado com condições climáticas mais quentes e secas, cria um ambiente altamente propenso a incêndios devastadores. Além disso, o crescimento de áreas de IUF, onde áreas urbanas se expandem em direção às florestas, aumenta os riscos. Nessas áreas, a presença de estruturas urbanas e vegetação contribui para a propagação dos incêndios, e a falta de manejo adequado

de combustíveis nessas regiões piora ainda mais a situação. Essa expansão desordenada coloca em risco tanto a infraestrutura urbana quanto as vidas humanas, já que as operações de supressão de incêndios nessas áreas são mais complexas e perigosas. Outro fator relevante são as mudanças climáticas, que têm intensificado os períodos de seca e as temperaturas extremas, criando condições ideais para incêndios florestais severos. Estudos apontam que a combinação de temperaturas elevadas, baixa umidade e ventos fortes aumenta a probabilidade de comportamento extremo dos incêndios, tornando-os mais difíceis de controlar e aumentando os danos ambientais e sociais. Esses fatores são agravados pela falta de governança ativa da terra. Territórios onde há uma governança mais ativa, com práticas de manejo florestal sustentável e incentivos ao desenvolvimento rural, apresentam menores impactos de incêndios, mesmo em condições climáticas adversas. Isso demonstra que políticas integradas de desenvolvimento agroflorestal e conservação da natureza podem ser eficazes na mitigação dos impactos dos incêndios. Em termos de resposta aos incêndios, a Itália tem adotado tanto medidas diretas quanto indiretas de prevenção. As medidas diretas incluem o manejo estratégico de combustíveis, como a criação de faixas de contenção e a queima prescrita, enquanto as medidas indiretas envolvem o incentivo à gestão sustentável das florestas e o apoio a atividades agro-pastoris, que ajudam a reduzir a carga de combustível e a regular a capacidade do ecossistema de resistir aos incêndios (Molina-Terrén, et al., 2019) (Spadoni, et al., 2023).

Na França, o incêndio em Rognac começou durante o verão de 2016, em um período de condições meteorológicas extremas. Embora o incêndio tenha sido inicialmente gerenciado com as estratégias típicas, rapidamente se tornou evidente que ele se comportava de maneira incomum, com rajadas de vento imprevisíveis e mudanças rápidas de direção. A vegetação densa e seca alimentou o fogo, que se espalhou para áreas de interface urbano-florestal, atingindo rapidamente regiões habitadas e resultando em danos significativos. Esse incêndio queimou uma vasta área florestal, incluindo zonas que eram consideradas anteriormente de baixo risco para grandes incêndios. Os fatores que agravaram o incêndio incluíram a combinação de altas temperaturas, vegetação extremamente seca e ventos fortes. O comportamento do fogo foi descrito como inesperado, devido às correntes de ar turbulentas que criaram um ambiente difícil para os bombeiros controlarem as chamas. Além disso, a rápida urbanização nas áreas periféricas aumentou a exposição ao risco de incêndios, uma vez que muitos imóveis estavam localizados próximos a áreas florestais densamente vegetadas. A ausência de medidas preventivas eficazes na interface urbano-florestal também contribuiu para a gravidade do incêndio, pois muitas propriedades não estavam protegidas de forma adequada (Ganteaume, et al., 2021).

Na Espanha, nos últimos anos os incêndios florestais têm sido fortemente influenciados pelo clima mediterrâneo e por fatores socioeconômicos. As frequentes secas sazonais, especialmente no verão, tornam grande parte da vegetação suscetível a queimadas. No entanto, entre 2009 e 2018, houve uma redução gradual no número de incêndios e na extensão da área queimada no país, refletindo, em parte, melhorias nas respostas emergenciais e na eficácia das estratégias de prevenção em áreas onde foram realizados investimentos no manejo de combustíveis e na redução de ignições. Apesar dessa redução, o risco de grandes incêndios florestais na Espanha tem aumentado. Em maio de 2015, um incêndio florestal na região de Aragão, no nordeste da Espanha, forçou a evacuação de mais de 1.350 pessoas e destruiu aproximadamente 8.000 ha de área florestal. Em dezembro do mesmo ano, mais de 120 incêndios foram registrados. A associação florestal espanhola destacou que, apesar das temperaturas anormalmente altas, estas não explicariam sozinhas a origem dos incêndios, sugerindo que "interesses ligados à pecuária" poderiam estar envolvidos. Áreas com grande valor ecológico também foram afetadas pelo fogo. Mudanças climáticas, o acúmulo de material combustível devido ao abandono rural e alterações no uso da terra, especialmente nas zonas da IUF, são fatores que contribuem para esse risco crescente. Assim, mesmo com a redução na frequência de incêndios, a probabilidade de ocorrências

mais intensas e graves continua a subir, tornando a gestão e a adaptação às novas condições essenciais para mitigar os impactos futuros (Molina-Terrén, et al., 2019) (FAO, 2019).

4.2. REGULAMENTAÇÃO PORTUGAL

Em Portugal, a primeira iniciativa para alinhar o território e a gestão de incêndios florestais foi o Decreto-Lei n.º 327/90, de 22 de outubro, de 1990, que proibiu, durante 10 anos, alterações do uso do solo em propriedades de cobertura florestal ardisas, que não haviam sido classificadas para a expansão urbana nos Planos Diretores Municipais (Portugal, 1990). De acordo com Oliveira, et al. (2023), esse tipo de regulamentação é característico das tentativas reativas de lidar com os incêndios florestais após grandes episódios de fogo, uma abordagem recorrente até o século XXI. O Despacho n.º 4223/2025 confirma essa leitura histórica ao reconhecer que, durante décadas, Portugal recorreu sobretudo a instrumentos normativos reativos, voltados à restrição de usos após incêndios extensos, e não à gestão estrutural e contínua do território. Em 2006, foi instituído pelo Decreto-Lei n.º 124/2006 o Sistema de Defesa da Floresta Contra Incêndios (SDFCI), que previa restrições em licenças de construção com base no mapa de risco de incêndio florestal (Portugal, 2006). Esse modelo buscava criar barreiras físicas e regulatórias, mas permanecia marcado por uma visão centrada na supressão do fogo, como destacam Oliveira et al. (2023), que observam que a legislação portuguesa historicamente priorizou a exclusão do fogo da paisagem, sem integração consistente de práticas tradicionais de queima controlada, historicamente presentes no meio rural.

Posteriormente, em 2019, foi instituído o Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território (PNPOT), considerado o principal instrumento para a organização territorial a nível nacional. O PNPOT estabeleceu diretrizes para articular os planos diretores municipais com instrumentos de gestão do fogo, afirmando que o ordenamento integrado é elemento estratégico para a prevenção (Portugal, 2019). O Decreto-Lei n.º 82/2021 instituiu o Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR), substituindo o SDFCI ao reorganizar a política de incêndios rurais em dois eixos: (i) Gestão de Fogos Rurais (GFR) e (ii) Proteção Contra Incêndios Rurais (PCIR). Essa mudança reflete entendimento mais maduro da relação entre gestão territorial, uso tradicional do fogo e prevenção estrutural (Portugal, 2021; Tedim et al., 2022). O Despacho n.º 4223/2025 reafirma essa transição ao explicitar que o SGIFR consolida uma lógica de prevenção permanente, articulada com instrumentos de gestão florestal e uso do solo.

O SGIF define gestão de combustíveis como criação e manutenção de descontinuidades por modificação ou remoção da biomassa. Oliveira et al. (2023) consideram essa definição alinhada a abordagens contemporâneas de risco, embora ressaltem que a exclusão prolongada do fogo provocou perda de práticas comunitárias de manejo, contribuindo para a continuidade excessiva de combustíveis e para maior vulnerabilidade.

As áreas de gestão de combustíveis estruturam-se em três níveis: primárias, correspondentes a faixas lineares de 126 m definidas nos Programas Regionais de Ação; secundárias, regulamentadas por critérios técnicos posteriormente reafirmados pelo Despacho n.º 4223/2025 e sintetizadas na Tabela 7; e terciárias, de interesse e competência local. Lopes e Vitali (2022) apontam que essas normas, embora abrangentes, consideram de forma limitada as especificidades topográficas e ecológicas, o que reduz a eficácia preventiva. O Despacho n.º 4223/2025 confirma essa limitação ao justificar a necessidade de “reafirmação e operacionalização” das regras existentes para garantir aplicação uniforme em território nacional.

Tabela 7 – Regras de gestão de combustível por atividade para as áreas secundárias.

Tipo de atividade	Regra geral de gestão de combustível
Rede rodoviária	10 m fora dos limites da faixa de rodagem
Rede ferroviária em operação	10 m dos trilhos externos
Linhas de transporte e distribuição de energia elétrica de muito alta e alta tensão	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores externos + uma faixa de 10 m de largura de cada lado
Linhas de distribuição de energia elétrica de média tensão	Faixa correspondente à projeção vertical dos cabos condutores externos + uma faixa de 7 m de largura de cada lado
Linhas de distribuição de energia elétrica de baixa tensão, com cabos condutores sem isolamento elétrico	Desencape pelo menos 3 m de largura em cada lado da projeção vertical do cabo condutor
Rede de transporte de gás e derivados	7 m do eixo do duto para cada lado
Infraestruturas de apoio ao SIRESP (sistema de comunicação de emergência e segurança)	Faixa envolvente com largura de 7 m.
Parques de campismo e caravanismo, hotéis, actividades perigosas susceptíveis de provocar acidentes, estabelecimentos funerários industriais e postos de abastecimento empresariais, áreas logísticas, plataformas, instalações de produção e armazenamento de electricidade ou gás e aterros sanitários	Faixa envolvente com largura padrão de 100 m
Entorno de áreas urbanas, quando confinantes com áreas florestais	Faixa envolvente com largura padrão de 100 m a partir da interface das áreas edificadas
Edifícios que sejam utilizados para habitação ou actividades económicas, se a faixa de 50 m abranger terrenos florestais	Largura padrão de 50 m, medida a partir da alvenaria externa do edifício
Edifícios que sejam utilizados para habitação ou actividades económicas, se a faixa abranger terrenos agrícolas	Largura padrão de 10m, medida a partir da alvenaria externa do edifício

Fonte: Adaptado Lopes e Vitali, 2022

No que concerne ao risco, estudos recentes indicam que o fator determinante não é o “contato direto” entre combustíveis e áreas edificadas, mas a estrutura espacial do território. O risco é mais elevado em zonas de intermix, onde edificações estão embebidas na matriz florestal contínua (Nunes et al., 2023). No centro de Portugal, a continuidade horizontal de combustíveis — especialmente matagais e pinhais na envolvente das zonas edificadas — constitui condição crítica para a propagação; em contraste, áreas agrícolas e florestas de folhosas funcionam como descontinuidades que podem atuar como amortecedores naturais (Nunes et al., 2023; Oliveira et al., 2023).

A expansão urbana em áreas de interface urbano-rural e o despovoamento rural acentuam a continuidade de combustíveis e a carga vegetal acumulada. O Decreto-Lei n.º 82/2021 introduz a gestão agregada do território, com ênfase na mobilização dos setores agrícola e pecuário para ações de prevenção estrutural, como mosaicos agrossilvopastoris, eliminação de sobrantes, manutenção de pastagens e gestão de faixas de combustível. Oliveira et al. (2023) consideram essa estratégia evolutiva, mas ainda dependente de maior envolvimento comunitário e de revalorização de práticas tradicionais de manejo.

Comparativamente, o Decreto-Lei n.º 124/2006 organizava o sistema em redes de vigilância, estruturas de combate e planos municipais de defesa da floresta, sob coordenação do ICNF e da ANPC, com forte papel da GNR. O Decreto-Lei n.º 82/2021 reformula essa arquitetura ao instituir a AGIF como órgão de coordenação estratégica e ao integrar entidades dos setores agrícola, florestal e municipal, movimento cuja consolidação o Despacho n.º 4223/2025 reforça ao exigir aplicação mais uniforme das normas de gestão de combustíveis em território nacional.

As faixas de gestão de combustível de 100 m em torno de aglomerados populacionais e 50 m ao redor de edificações isoladas permanecem, mas sua aplicação passa a considerar critérios diferenciados de risco, permitindo adaptações conforme perigosidade local (Portugal, 2006; 2021). A maior inovação de 2021 é a integração do Planeamento de Gestão da Paisagem, promovendo a redução de continuidade de combustíveis e o aumento da heterogeneidade da paisagem por meio de mosaicos e usos múltiplos.

Em termos de responsabilidade institucional, antes distribuída entre ICNF, GNR e ANPC, o novo regime prioriza coordenação integrada e corresponsabilidade de proprietários e gestores de territórios rurais (Portugal, 2021). Tedim (2022) observa que o SGIFR se articula diretamente com o Regime Jurídico de Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), exigindo reenquadramento dos PDMs para clarificar a dicotomia entre solo urbano e rústico.

As diferenças entre os Decretos-Lei n.º 124/2006 e 82/2021 evidenciam evolução estrutural da política de incêndios em Portugal. O SGIFR busca articulação entre prevenção, uso do solo e práticas agrícolas e florestais, enquanto mantém mecanismos essenciais como as faixas de combustível, agora com gestão mais flexível e baseada em risco. Oliveira et al. (2023) destacam que esse percurso reflete reconhecimento de que o uso do fogo sempre integrou a gestão do território e que sua reintegração controlada, tecnicamente embasada, constitui elemento fundamental para resiliência. O Despacho n.º 4223/2025 representa etapa adicional nesse processo, ao reafirmar e operacionalizar normas existentes, clarificando procedimentos e reforçando obrigações para garantir aplicação efetiva das estratégias de gestão de combustíveis nas FGC, incluindo a secundária – IUF.

4.3. REGULAMENTAÇÃO FRANÇA

O quadro de legislações de incêndios florestais na França é organizado em níveis nacionais, locais e regionais. Este último destinado a “territórios particularmente expostos a riscos de incêndio” (bosques e florestas nas regiões de Córsega, Aquitânia, Provença-Alpes-Côte d’Azur, Poitou-Charentes, entre outros) e regido principalmente pelos seguintes documentos: Código Ambiental (Code de l’environnement), (Código Florestal (Code Forestier), Règlement National d’Urbanisme (RNU) e o Plano Nacional de Prevenção Contra Incêndios Florestais (Le Plan de Protection des Forêts Contre Les Incendies– PPFCEI). Ademais, de maneira geral as regras se aplicam aos terrenos localizados a até 200 m de florestas e a regulamentação é feita majoritariamente pela “hard law”, quase não se utilizando de “guidelines” (Vitali, 2021).

O Plano de Prevenção de Riscos de Incêndio (PPRIF), utiliza um mapa regulatório municipal que leva em consideração três aspectos principais: o risco de incêndio, que está relacionado à vegetação e à

topografia; os bens protegidos, como áreas edificadas, infraestruturas de comunicação e patrimônio cultural; e a capacidade de defesa contra incêndios, que depende da disponibilidade de equipamentos adequados. As zonas são classificadas por um código de cores (vermelho ou azul, com diferentes níveis de intensidade). As áreas vermelhas indicam risco extremamente alto, focando na proteção de construções e atividades humanas, e proíbem novas edificações. Nas zonas de cor azul mais intensa (B1), que apresentam risco de incêndio moderado a alto, o desenvolvimento urbano é permitido, desde que haja defensibilidade adequada e seja garantida a existência de medidas de proteção baseadas na densidade populacional. Em zonas intermediárias (B2), com risco moderado, o desenvolvimento urbano é condicionado à adoção de medidas preventivas tanto individuais quanto coletivas. Por fim, nas zonas de risco mais baixo (B3), o objetivo principal é reduzir a vulnerabilidade das construções e melhorar a capacidade de defesa contra incêndios (Gonzalez e Ghermandi, 2024).

A criação de missões como a Mission Vulcain que continua sendo um marco na legislação francesa, representa um marco na integração de diferentes atores envolvidos no processo de combate e prevenção. Essa missão promoveu a criação de uma doutrina unificada entre bombeiros, gestores florestais e outros órgãos responsáveis, com foco na coordenação eficiente das ações preventivas, como a limpeza e manejo de vegetação em zonas de risco. A Vulcain também promoveu a criação de programas de treinamento para os bombeiros, com o objetivo de adaptar suas técnicas operacionais às novas exigências impostas pelo aumento dos incêndios florestais. Além disso, foi estabelecido um sistema de comunicação interna e externa para garantir que todas as partes, desde as autoridades locais até o público em geral, estejam alinhadas com os esforços de prevenção e resposta no combate (Battesti, 1997).

A ocorrência de incêndios florestais na IUF resulta da interação entre três principais aspectos: clima, características da IUF e as estratégias de combate ao fogo. O sudeste da França apresenta os incêndios florestais como um grande fator de risco para o território, por isso, dispõe de Planos de Prevenção de Riscos (medida obrigatória para todos os municípios desde 1995, com a implementação da lei nacional do Plano Barnier de Prevenção de Riscos), que vão desde mapas de risco de incêndios até leis que visam aumentar a densidade populacional (lei de Solidariedade e Renovação Urbana (SRU), de 2000; e a lei ALUR de 2014). No contexto dos incêndios florestais, o plano Barnier de Prevenção de Riscos promoveu o uso de ferramentas legislativas e orçamentárias para reforçar a prevenção e a proteção contra incêndios, especialmente em áreas de interface urbano-florestal. Na França além de incentivos financeiros para a construção de faixas de gestão de combustíveis, o plano também estabeleceu um sistema de vigilância aprimorado e uma maior integração entre os municípios e as autoridades florestais para melhorar a resposta aos incêndios em seu estágio inicial. Isso contribuiu para a criação de um arcabouço legal que responsabiliza os proprietários de terras pela manutenção de suas propriedades, especialmente em zonas críticas, ajudando a mitigar os riscos de grandes incêndios (Curt e Frejaville, 2018).

Outro plano que serve como ferramentas legislativas é o Plan Intercommunal de Débroussaillage et d'Aménagement Forestier (PIDAF), que estabelece normas para o manejo de vegetação e limpeza de áreas florestais adjacentes a áreas urbanas, minimizando o risco de propagação de incêndios. Esse plano é complementado por regulamentos específicos que impõem a criação de faixas de gestão de combustíveis em zonas estratégicas, contribuindo para reduzir o material inflamável disponível e aumentar a segurança das populações locais. A efetividade dessa legislação está diretamente relacionada às metodologias adotadas para a prevenção e combate aos incêndios. Entre as práticas mais comuns destacam-se as patrulhas regulares em períodos de risco elevado e a implementação de brûlages dirigés — queimadas controladas — como forma de manejar a biomassa e prevenir o acúmulo excessivo de material inflamável. Essas medidas, respaldadas por textos legais, são essenciais para o controle antecipado dos incêndios e para evitar que pequenos focos se transformem em grandes incêndios

florestais. A legislação francesa também prevê a responsabilização direta dos municípios e proprietários de terras pela limpeza de suas áreas, reforçando a importância da atuação local na prevenção de sinistros (Alexandrian, 2008).

A baixa densidade populacional foi apontada como um dos principais fatores de risco para incêndios florestais na região, já que as habitações dispersas diminuem a probabilidade de o fogo ser apagado em seu início; essa situação também foi apontada na Califórnia (Fox, 2018).

A principal medida de prevenção de incêndios no sudoeste francês é a redução obrigatória do combustível ao redor das habitações- com o corte da vegetação baixa, a poda de árvores para que haja uma distância mínima de 3m entre elas e as instalações, remoção da vegetação morta-, a fim de mitigar o alcance do fogo nos edifícios e, com isso, manter os cidadãos mais seguros. Seguindo a regulamentação francesa, os prédios situados em IUF devem manter um raio de 50 m com gestão de combustíveis, o que inclui limpeza, remoção de vegetação morta, redução da densidade e descontinuidade da biomassa. Entretanto, é perceptível que estes regulamentos são pouco respeitados e difíceis de controlar, devendo ser reforçados (Ganteaume, et al. 2022). A aplicação de um ataque inicial eficaz em áreas vulneráveis, especialmente durante o verão, tem permitido que 95% dos incêndios sejam contidos antes de atingir 8 ha, um progresso notável em comparação aos anos anteriores a 1994, quando os incêndios frequentemente ultrapassavam 15 ha.

Além da supressão, a gestão de combustíveis foi parcialmente implementada em locais críticos, como áreas próximas a estradas e zonas de interface urbano-rural. No entanto, essa gestão permanece limitada em sua abrangência, com a maior parte dos recursos sendo alocada para supressão em vez de prevenção. O modelo francês investiu pesadamente em infraestrutura, como aeronaves de combate a incêndios e equipes de supressão, com dois terços do orçamento dedicado a essas atividades (Curt e Frejaville, 2018). Essa abordagem tem sido eficaz no curto prazo, mas seu caráter predominantemente reativo levanta questões sobre sua sustentabilidade, especialmente à luz das mudanças climáticas e do aumento da cobertura de biomassa combustível nas áreas rurais abandonadas, que tornam as paisagens mais propensas a incêndios. A sustentabilidade dessa política foi questionada após eventos como os incêndios de 2003 e 2016, que desafiaram a capacidade de supressão dos bombeiros em condições meteorológicas extremas. O aumento contínuo de fatores como a pressão humana sobre as áreas de ignição, a expansão das interfaces urbano-florestais e a intensificação das condições climáticas propícias a incêndios sugerem a necessidade de uma abordagem mais equilibrada entre prevenção e supressão. Estudos indicam que o gerenciamento ativo de combustíveis e a adaptação às mudanças climáticas serão fundamentais para enfrentar os desafios futuros de forma sustentável, evitando a dependência exclusiva de uma política de supressão que pode se tornar insustentável a longo prazo (Curt e Frejaville, 2018).

Outra crítica quanto a esse tipo de abordagem é discutida por Evin; Curt; Eckert, (2018) em estudo, com base na aplicação da Extreme Value Theory (EVT), analisa o impacto da política de incêndios introduzida em 1994 na redução da ocorrência de incêndios florestais extremos na França mediterrânea. Embora a política tenha sido eficaz em reduzir a área média queimada, sua eficácia em relação aos maiores incêndios permanece uma questão aberta. Os resultados indicam que, embora os incêndios menores tenham sido significativamente reduzidos, os maiores incêndios, aqueles com um período de retorno superior a 50 anos, ainda representam uma ameaça. O modelo mostrou que, na região mais vulnerável da França (que inclui a Córsega e a Provença), o nível de retorno de 50 anos para grandes incêndios diminuiu, mas permanece alto, com eventos que podem atingir até 12.510 ha. Demonstrando que a política de supressão rápida de incêndios, implementada em 1994, foi eficiente para reduzir incêndios menores, mas falha em conter incêndios de grande magnitude, como aqueles observados em 2003, 2016 e 2017. Esses grandes incêndios muitas vezes superam a capacidade de supressão, especialmente em condições meteorológicas extremas, o que sugere que novas abordagens precisam ser

desenvolvidas para lidar com esses eventos, incluindo o gerenciamento de combustíveis, a redução de ignições e a participação pública em medidas preventivas. Assim os autores sugerem mudanças nas estratégias de longo prazo são necessárias para enfrentar o aumento da frequência e intensidade dos incêndios causados pelas mudanças climáticas e pela acumulação de biomassa. A combinação de supressão e prevenção, com foco na criação de paisagens resilientes ao fogo e uma maior gestão de combustíveis, será essencial para reduzir o risco de grandes incêndios no futuro (Evin; Curt; Eckert, 2018).

Quadro normativo passou por importantes atualizações recentes com a promulgação da lei nº 2023-580, de julho de 2023 e o decreto nº 2024-405. Essas legislações reforçam a obrigatoriedade da criação de faixas de gestão de combustíveis em um raio de 50 metros ao redor de edificações em áreas de risco. Além disso, introduzem uma estratégia nacional de monitoramento climático (*météo des forêts*), que informa sobre o risco de incêndios. É detalhado ainda a implementação de uma nova cartografia nacional de riscos de incêndio, que estará disponível até o final de 2026, e as condições para delimitar as chamadas zonas de perigo, servindo de base para medidas de proteção mais amplas e restritivas nessas áreas. Essas mudanças não alteram diretamente o sistema de zoneamento por cores do PPRIF, mas acrescentam novas camadas de regulação e fiscalização para garantir a segurança tanto de pessoas quanto de bens nas áreas de risco, especialmente nas IUF. Isso pode influenciar a aplicação das políticas de urbanização e construção em áreas classificadas como de risco elevado ou muito elevado. Tais medidas visam melhorar a prevenção e aumentar a eficácia na resposta rápida a incêndios florestais. (Ministère de L'écologie, 2023) (Légifrance, 2024).

4.4. REGULAMENTAÇÃO ITÁLIA

Na Itália a expansão das áreas de interface urbano-rural é impulsionada por processos de mudança no uso do solo e pelo crescimento da urbanização, expondo essas áreas a um risco elevado de incêndios florestais. Este cenário é agravado pelos impactos das mudanças climáticas, que têm aumentado a frequência e a intensidade dos incêndios (Ascoli, et al., 2022). No país classificam as áreas de interface urbano-florestal em três tipos principais: interface, mista e ocluída. Essa tipologia, adotada pelo Department of Civil Protection (2007) e amplamente utilizada em estudos recentes (Ascoli et al., 2022; Gonzalez e Ghermandi, 2024), baseia-se na configuração espacial entre edificações e vegetação, considerando fatores como a proximidade entre áreas urbanas e florestais, o padrão de distribuição das construções o grau de inserção da vegetação no tecido urbano. Embora não estabeleça limiares numéricos rígidos de densidade populacional ou de cobertura vegetal, essa classificação incorpora parâmetros de distribuição do edificado que influenciam o comportamento do fogo. As faixas de interface são geralmente delimitadas entre 25 e 50 m ao redor das áreas urbanas, podendo alcançar 200 m em terrenos íngremes, abrangendo cerca de 75% do território italiano.(Department Of Civil Protection, 2007; Gonzalez e Ghermandi, 2024).

A principal lei italiana que rege as zonas de interface urbano-florestal é a Lei Quadro em Matéria de Incêndio Florestal, de novembro de 2000 (ou Lei 353/2000). Esta lei é considerada curta e traz, principalmente, conceitos e define o que cada nível deve observar/ser responsável por. Ela define que a defesa contra incêndios ocorre pela coordenação entre os níveis regionais e municipais, mas ambos apresentam funções tanto na previsão, quanto na prevenção, quanto no combate ao fogo (Itália, 2000). Às regiões cabe, por exemplo, elaborar um plano regional através do informado pelos planos municipais e fiscalizar/coordenar as ações (os planos regionais têm validade de três anos, mas podem ser revisados anualmente). Aos municípios, cabe definir em seus planos municipais aspectos como as causas determinantes dos incêndios, as áreas de risco, os períodos de risco, o índice de perigo, a localização de

abastecimento de água e caminhos de propagação do fogo etc. Sobre o índice de perigo de incêndio florestal de cada região, este é definido por uma fórmula ($R = P \times V \times D$; sendo R o risco, P a perigosidade de incêndio, V a vulnerabilidade e D o dano potencial) e não pela aridez das áreas (Vitali, 2021).

Com essa divisão entre os níveis, e devido à lei nacional não ser extensa, não existia um conjunto claro de regras definidas para o país; a queimada controlada, por exemplo, não é mencionada na lei 353/2000 e, com isso, cabe a cada uma das 20 regiões italianas adotar ou não o uso do fogo prescrito; além disso, não há detalhamento sobre a gestão de combustíveis. Entretanto, algumas práticas já eram comuns na maioria das regiões: zonas de proteção aradas ou ceifadas entre campos cultivados e florestas, a remoção química de ervas daninhas ao redor de ferrovias e as mecânicas ou manuais ao longo das estradas (Xanthopoulos, 2006).

Em 2021, uma mudança importante na gestão de incêndios florestais ocorreu com a introdução do Decreto Legislativo Nacional 120/2021, posteriormente transformado na Lei Nacional 155/2021. Esta medida foi adotada como resposta emergencial devido à extensão significativa das áreas afetadas por incêndios naquele ano (Itália, 2021a; Itália, 2021b). O objetivo central era reforçar e modernizar a coordenação entre as agências envolvidas, bem como melhorar as atividades de previsão e resposta, especialmente no que se refere ao uso de aeronaves e ao treinamento. Foram destinados 40 milhões de euros para aumentar a capacidade operacional dos Serviços Nacionais de Bombeiros e da agência Carabinieri Forestali. Além disso, a Estratégia Nacional para as Florestas (2022), publicada com base na Lei Quadro das Florestas Nacionais (nº 34/2018), foi aprovada em fevereiro de 2022. Este documento estratégico, que tem validade de 20 anos e é revisado a cada cinco anos, reconhece as florestas como um patrimônio nacional. A gestão de incêndios florestais, incluindo a coordenação interagências, a integração de políticas públicas, atualizações regulatórias e estratégias de recuperação pós-incêndio, é abordada em diversos pontos dessa estratégia (Kirschner, et al., 2024) (Ascoli, et al., 2022).

A Strategia Forestale Nazionale (SFN) promove uma abordagem integrada que coordena a prevenção de incêndios com políticas florestais, agrícolas e de conservação e prioriza a prevenção e a mitigação do risco de incêndios, a gestão integrada dos recursos naturais e a coordenação entre diversas instituições, como o Corpo Nacional de Bombeiros e o Arma dei Carabinieri (Ascoli, et al., 2022). Os autores Ascoli et al. 2022, aponta que a governança dos incêndios florestais na Itália enfrenta desafios relacionados à fragmentação institucional e à sobreposição de competências entre os diferentes níveis de governo. A SFN, por meio de ações específicas, busca melhorar o sistema de gestão e resposta aos incêndios, incentivando uma coordenação interinstitucional eficaz, o uso de tecnologias modernas e a implementação de estratégias de recuperação ambiental nas áreas afetadas pelos incêndios. Para isso, busca harmonizar as políticas florestais com outras áreas, tais como a agro-pastoril e a conservação ambiental, criando paisagens resilientes ao fogo e reduzindo os riscos nas zonas de interface urbano-florestal. Introduz ainda a coordenação interinstitucional como pilar essencial para o sucesso de suas ações. A criação de uma cabina de regia, servindo como estrutura central de coordenação, entre diferentes órgãos governamentais e setores florestais facilita a comunicação e a eficiência nas respostas a incêndios florestais, desde a fase de prevenção até a recuperação pós-incêndio. Esta coordenação é essencial, dada a fragmentação existente entre as diversas instituições envolvidas na gestão de incêndios na Itália. A estratégia também promove o uso do fogo prescrito e incentiva a implementação de medidas preventivas, como o manejo florestal e a criação de barreiras naturais menos inflamáveis, garantindo um planejamento integrado que vai ao encontro dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo aumento dos incêndios extremos no país.

4.5. REGULAMENTAÇÃO ESPANHA

Como outros países mediterrâneos, a Espanha também enfrenta regularmente incêndios florestais. Em 2016, por exemplo, aproximadamente 2.000 pessoas tiveram de abandonar preventivamente as suas residências na província de Valência, no leste do país, devido a um episódio de fogo de grande intensidade. A estrutura de governança dos incêndios florestais na Espanha segue o princípio de subsidiariedade, no qual a competência primária para a prevenção, o planeamento e a gestão dos fogos recai sobre as Comunidades Autônomas, responsáveis por adaptar e implementar a legislação nacional (Espanha, 2003; 2006). Os municípios desempenham funções executivas complementares, sobretudo na aplicação de faixas de proteção e na gestão do espaço urbano, mas não possuem competência normativa principal neste domínio.

Esse arranjo institucional gera, contudo, assimetrias significativas na implementação das políticas de prevenção e gestão do risco. Estudos recentes mostram que a capacidade operativa municipal varia amplamente, e que muitos municípios carecem de meios técnicos e financeiros para executar as diretrizes definidas pelas Comunidades Autônomas, resultando em falhas de coordenação horizontal e vertical (Prados & Allen, 2025).

Cada uma das 17 regiões autônomas é encarregada de adaptar as leis nacionais, criando regulamentos e diretrizes específicos para cada município. A Lei Florestal (Ley 43/2003, atualizada pela Ley 10/2006, Espanya, 2003) reconhece a competência dessas regiões, mas exige a regulamentação de segurança em atividades, edificações e infraestrutura em áreas de risco, com uma ênfase especial na prevenção e proteção contra incêndios em áreas de IUF. Além disso, a lei obriga a identificação de zonas de alto risco para incêndios, as quais podem ou não incluir áreas IUF. Todas as políticas elaboradas pelas regiões devem estar em conformidade com a Diretriz Básica de Proteção Civil para Emergências de Incêndios Florestais, estabelecida pelo Real Decreto 893/2013, que define medidas preventivas para a gestão de combustíveis em áreas IUF (Pastor, et al., 2020).

A metodologia para definir essas áreas se baseia em redes de faixas de segurança, nas quais uma faixa secundária de proteção, com uma largura de 50 metros, é estabelecida ao redor de áreas urbanas e infraestruturas localizadas até 400 metros de florestas. O objetivo dessas medidas é reduzir o risco de incêndios, controlando o combustível disponível perto de áreas habitadas. No entanto, como ocorre em muitos países mediterrâneos, ainda falta um consenso metodológico unificado para mapear e gerenciar eficientemente as áreas de interface. Essa ausência de padronização pode dificultar a implementação eficaz de estratégias de prevenção e controle de incêndios (Gonzalez e Ghermandi, 2024).

A implementação dessas políticas, entretanto, tem sido desigual entre as regiões, com variações consideráveis no progresso e na eficácia. Regiões como Catalunha, Extremadura e Andaluzia têm mostrado avanços mais significativos na criação e execução de planos de prevenção. Por outro lado, regiões no norte da Espanha, onde ocorrem cerca de 52% dos incêndios, continuam a enfrentar grandes deficiências na gestão de riscos. Esse cenário destaca a necessidade urgente de melhorar tanto o cumprimento das regulamentações quanto a base científica que sustenta as políticas de prevenção. Medidas fundamentais, como a criação de faixas de redução de combustível em torno de áreas urbanas, o planejamento de viárias redes adequadas para o combate a incêndios e a melhoria dos sistemas de abastecimento de água, continuam subdesenvolvidas em muitas regiões. Além disso, as práticas relacionadas à gestão da vegetação residencial e ao uso de materiais de construção resistentes ao fogo carecem de regulamentação adequada e de pesquisa aprofundada, especialmente devido ao papel crucial que esses fatores desempenham na propagação de incêndios dentro das comunidades IUF. A falta de uma cultura de risco em muitas dessas comunidades, somada à escassez de recursos técnicos e financeiros, tem dificultado a implementação eficaz de políticas públicas de proteção contra incêndios.

Embora algumas regiões tenham avançado, os desafios impostos pelas mudanças climáticas, que aumentam a frequência e a intensidade dos incêndios, exigem uma adaptação urgente das estratégias de prevenção e resposta. Assim, é crucial que os esforços futuros sejam direcionados não apenas à melhoria da legislação existente, mas também ao fortalecimento da coordenação entre diferentes níveis administrativos e à conscientização pública sobre a gravidade do problema (Pastor, et al., 2020).

Tem-se observado uma redução no número de incêndios florestais, na área total queimada, no tamanho médio dos focos de incêndio e, em muitas províncias, na dimensão dos maiores incêndios. Esses incêndios estão afetando mais áreas sem cobertura arbórea do que florestas densas. Além disso, enquanto as florestas de *Pinus* têm sido menos atingidas, as áreas de *Quercus* têm sofrido maior impacto. Isso ocorre apesar do aumento dos fatores de risco, como as condições climáticas mais severas e as paisagens mais suscetíveis devido à maior cobertura vegetal. A diminuição da atividade dos incêndios pode ser atribuída, em grande parte, ao aprimoramento dos recursos de combate a incêndios, especialmente com o uso intensificado de aeronaves (Urbiet, et al., 2019).

Além da Lei Florestal e da Diretriz Básica de Proteção Civil para Emergências de Incêndios Florestais, a Lei 17/2015, que estabelece o Sistema Nacional de Proteção Civil, desempenha um papel crucial na integração das diferentes esferas de governo (nacional, regional e local) para a coordenação das respostas a desastres, incluindo incêndios florestais. Essa legislação define os princípios gerais de prevenção e proteção, estabelecendo que a colaboração entre as administrações públicas é fundamental para uma resposta eficiente. Nas áreas de interface urbano-florestal, onde o risco de incêndios é elevado, essa coordenação é essencial para garantir uma resposta rápida e eficaz, tanto em termos de combate quanto de prevenção (Espana, 2015).

Outro aspecto importante é o Código Técnico de Edificações (Real Decreto 314/2006), que regula as condições de segurança em construções, incluindo medidas específicas para áreas de risco de incêndios florestais. Este código impõe a criação de barreiras físicas, como faixas de vegetação reduzida entre construções e áreas florestais, além do uso de materiais de construção resistentes ao fogo. Essas normas visam reduzir a vulnerabilidade das construções localizadas em zonas de interface urbano-florestal, complementando as ações de prevenção dos incêndios florestais implementadas pelas regiões autônomas (Espana, 2006a). O cumprimento dessas diretrizes é essencial para mitigar os danos causados pelos incêndios, sobretudo em áreas densamente habitadas próximas a florestas.

Adicionalmente, a Lei Florestal atualizada (Ley 43/2003, modificada pela Ley 10/2006) continua a exigir que as regiões autônomas desenvolvam Planos de Defesa contra Incêndios Florestais. Esses planos incluem a criação de faixas de segurança ao redor de áreas urbanas e a implementação de medidas preventivas, como barreiras corta fogo e a gestão da vegetação para evitar a propagação dos incêndios. Além disso, a lei estabelece a obrigação de determinar áreas de alto risco de incêndios e a necessidade de implementação de políticas preventivas nessas zonas (Espana, 2006b).

Essas legislações, em conjunto, reforçam a necessidade de uma abordagem integrada para a prevenção e gestão de incêndios florestais, especialmente nas áreas de interface urbano-florestal, onde o impacto sobre vidas humanas e infraestrutura é potencialmente mais devastador. O desafio, no entanto, permanece na aplicação uniforme dessas políticas em todas as regiões, dado que as diferenças de recursos e conscientização sobre os riscos variam consideravelmente entre os municípios.

4.6. O QUE A LITERATURA SUGERE?

Os autores, Gonzalez e Ghermandi (2024) em sua pesquisa apontam que até o momento, as agências de gestão de incêndios não realizaram uma revisão significativa dos métodos utilizados para definir as áreas de IUF e apontam duas principais deficiências: a falta de padronização nas metodologias, mesmo dentro de um único país, e a necessidade de incorporar de forma mais integrada e interativa os avanços científicos sobre IUF nos planos de gestão de incêndios. A falta de padronização nas metodologias de definição e mapeamento da IUF constitui um problema particularmente relevante no contexto europeu, onde países vizinhos frequentemente enfrentam incêndios transfronteiriços e precisam articular medidas conjuntas de prevenção e resposta. Quando cada país adota critérios próprios — diferentes distâncias de buffer, distintas formas de classificar a interface ou diferentes níveis de responsabilidade administrativa — torna-se difícil harmonizar protocolos operacionais, comparar níveis de risco ou coordenar ações binacionais. Essa assimetria metodológica compromete a coerência das estratégias de prevenção no espaço europeu e limita a capacidade de resposta integrada entre territórios que partilham ecossistemas e regimes de fogo semelhantes.

Além do contexto europeu, essa heterogeneidade também dificulta a comparação internacional e o intercâmbio de boas práticas entre regiões com desafios similares. A ausência de parâmetros mínimos comuns reduz a capacidade de avaliar riscos de forma comparável, dificulta o avanço de modelos globais de previsão e limita a consolidação de diretrizes internacionais. Em síntese, a diversidade metodológica não apenas afeta a coordenação entre países vizinhos, mas também restringe a aprendizagem transnacional e a construção de estratégias globais de gestão do risco na IUF.*

Na primeira deficiência Gonzalez e Ghermandi (2024) aponta que cada nação adota quadros legais específicos, sendo as propostas de prevenção e gestão de incêndios determinadas por diferentes órgãos estatais. Dada essa diversidade, os autores ressaltam que a criação e implementação de uma metodologia padrão representa um desafio considerável. Na segunda, sugerem que seja formulada uma política estatal que promova a criação de programas e espaços voltados para o intercâmbio de ideias e incentivo à colaboração técnico-científica. Esses espaços permitiriam que gestores de incêndios pudessem expressar suas necessidades, enquanto pesquisadores alinhariam suas investigações para responder a essas demandas na IUF. Um exemplo frequentemente citado de avanço conceitual nesse sentido é o caso português, onde foram desenvolvidas propostas de harmonização metodológica para definição e mapeamento da IUF, demonstrando a viabilidade da cooperação entre academia e profissionais. Os autores acreditam ainda que a implementação dessa abordagem pode fortalecer parcerias, otimizar o uso de recursos e consolidar esforços no combate aos incêndios (Tabela 8).

Tabela 8 – Resumo das características das interfaces por país. Adaptado de Gonzalez e Ghermandi (2024)

País	Tipos de áreas de interface	Métodos para definir IUF	Justificativa da distância do buffer	Ações	Organização territorial
França	Zonas propensas a risco (equivalente a áreas de interface)	Mapeamento de quatro zonas propensas a risco dependendo da vegetação, topografia e urbanização	Gestão de combustível	Desenvolvimento, uso ou operação de edifícios, estruturas e áreas cultivadas	Região, Departamento, Município
Itália	Três tipos de interface urbano-rural: clássica, mista e oclusiva	Mapeamento de faixas de 25-50 m de largura ao redor de assentamentos ou 200 m de largura em terrenos íngremes	Dependendo das características físicas do território e dos assentamentos	Gestão de combustível	Região, Província, Município
Portugal	Redes secundárias que são faixas de terra (equivalente a áreas de interface)	Mapeamento de redes secundárias de 100 m de largura ao redor de zonas urbanas	Gestão de combustível	Construção de faixas corta-fogo	Distrito, Município, Freguesia
Espanha	Redes secundárias que são faixas de terra (equivalente a áreas de interface)	Faixas de terra de 50 m de largura ao redor de zonas urbanas e 400 m de florestas	Gestão de combustível	Gestão de combustível	Comunidade autónoma, Província, Município

A gestão de incêndios florestais tornou-se uma preocupação central em diversas regiões do mundo, particularmente em áreas vulneráveis como o sul da Europa e a América do Norte, onde as mudanças climáticas e a expansão da interface urbano-florestal têm amplificado os riscos. Diversos autores têm contribuído para a análise e proposta de soluções para a mitigação e prevenção de incêndios, com enfoques que variam de acordo com as especificidades locais. O trabalho de Pandey, et al. (2023) fornece uma visão global sobre as políticas de risco de incêndios em diferentes países, detalhando pontos fortes e fracos e sugerindo melhorias. Em Portugal, um dos pontos fortes identificados é o conjunto de instrumentos legais que tornam obrigatória a gestão de combustíveis em faixas de proteção e áreas edificadas, incluindo apoios destinados à execução dessas ações pelos proprietários, embora a aplicação prática seja limitada e a integração com políticas climáticas permaneça insuficiente. Na Itália, a governança descentralizada oferece flexibilidade, mas a falta de coordenação entre ministérios e a fragmentação das responsabilidades são fatores limitantes. A França, com uma abordagem mais centralizada, tem avançado na legislação, mas carece de financiamento adequado para prevenção. Nos Estados Unidos e Canadá, as infraestruturas de combate a incêndios são robustas, mas enfrentam o desafio de adaptação a novos riscos trazidos pelas mudanças climáticas.

Ganteaume et al. (2021) destacam que as transformações no uso do solo, o abandono rural e o acúmulo de combustível aumentam a exposição e a perigosidade, ampliando o risco associado às áreas de IUF. Na Itália, Kirschner, et al. (2024) identificam como a fragmentação da governança impede a implementação eficaz de medidas preventivas, sugerindo que uma mudança de paradigma para uma

abordagem mais preventiva e adaptativa é necessária. Essas perspectivas são complementadas pela estratégia da FAO (2019), que propõe a Gestão Integrada do Fogo (GFI) como abordagem estruturante para a redução de risco em nível de paisagem, englobando ações como redução de combustível, uso estratégico de fogo e sistemas de alerta precoce. Embora não seja uma diretriz formulada especificamente para a IUF, vários princípios da GFI são aplicáveis a zonas de interface quando adaptados ao contexto urbano-florestal.

O estudo de Pandey, et al. (2023) destaca que Portugal implementou mandatos para a limpeza de vegetação ao redor das construções e oferece suporte aos proprietários florestais para a execução de medidas preventivas, como desbaste e poda. No entanto, a execução das leis é insuficiente e a legislação falha ao abordar de forma eficaz as mudanças climáticas e as práticas de uso da terra. A FAO (2019) complementa esse cenário, defendendo que a gestão do fogo no país deve incluir a redução de combustíveis e o uso estratégico de queimadas prescritas. Além disso, Ganteaume, et al. (2021) enfatizam que a combinação de políticas de supressão e o abandono rural agravam a vulnerabilidade, sugerindo a implementação de políticas que combatam esse abandono e promovam a criação de paisagens resilientes ao fogo. As recomendações para Portugal incluem a aplicação mais rigorosa das políticas existentes e a adaptação das legislações às mudanças climáticas, conforme proposto por Pandey, et al. (2023) e FAO (2019).

Na Itália, a fragmentação das responsabilidades entre diferentes níveis de governo é apontada como um grande obstáculo à implementação de políticas preventivas de incêndio, conforme relatado por Pandey, et al. (2023). A criação de uma política florestal integrada é crucial para garantir uma abordagem coesa e eficaz na mitigação de incêndios. Spadoni, et al. (2023) reforçam essa necessidade, destacando que a governança ativa em áreas agro-florestais, quando bem executada, pode reduzir significativamente o impacto dos incêndios florestais. Kirschner, et al. (2024) aprofundam essa análise ao identificar que a falta de integração entre políticas de uso da terra, florestas e planejamento urbano é um dos principais entraves para a mudança de paradigma na gestão de incêndios. Os autores recomendam uma governança mais coesa, com maior coordenação interinstitucional e o fortalecimento das políticas preventivas. A necessidade de fortalecer a cooperação interinstitucional e a regulamentação do uso do fogo são temas recorrentes nas recomendações de ambos os autores.

A França tem avançado na legislação relacionada à gestão de incêndios, principalmente por envolver as comunidades locais na redução de combustíveis e na criação de zonas de quebra-fogos, como relatado por Pandey, et al. (2023) e Kocher e Butsic (2017). No entanto, o financiamento insuficiente e o impacto das mudanças climáticas limitam a eficácia das medidas de prevenção. A FAO (2019) propõe que mais fundos sejam destinados à prevenção, em vez de concentrar a maioria dos recursos na supressão. O foco deve ser no aumento da resiliência das áreas de interface urbano-florestal por meio de práticas de paisagismo e construção adaptadas à mitigação do risco de incêndio. Ganteaume, et al. (2021) reforçam essa visão ao destacar que o acúmulo de combustível florestal, combinado com a urbanização descontrolada da IUF, aumenta drasticamente os riscos de incêndios no sul da França. Os autores sugerem uma revisão das políticas de uso da terra e um enfoque maior em soluções preventivas para essas áreas vulneráveis.

Em síntese, a experiência europeia revela avanços importantes, mas também fragilidades estruturais. Em Portugal, a principal força está na normatização da limpeza da vegetação e nas redes de faixas de proteção, mas a execução das leis é insuficiente e carece de adaptação às mudanças climáticas (Pandey et al., 2023; FAO, 2019). Na Itália, a fragmentação da governança é o maior entrave, exigindo maior integração interinstitucional e fortalecimento das políticas preventivas (Kirschner et al., 2024; Spadoni et al., 2023). Na França, há avanços legislativos e envolvimento comunitário, mas a urbanização desordenada da IUF e o financiamento insuficiente limitam a eficácia das ações (Ganteaume et al., 2021;

Pandey et al., 2023). Na Espanha, observa-se redução relativa no número de incêndios na última década, mas eventos críticos ainda ocorrem, associados a interesses produtivos e ao abandono rural (FAO, 2019).

Para além da análise individual, há fatores recorrentes: gestão de combustíveis, integração comunitária e maior coordenação interinstitucional. Esses elementos formam um núcleo comum de desafios e soluções que, apesar de diferenças legais e administrativas, permitem comparações úteis entre realidades distintas, como sintetiza o Tabela 9.

Tabela 9 – Síntese das recomendações identificadas na literatura para Europa sobre gestão de incêndios florestais em áreas de interface urbano-florestal

Tema	Recomendações recorrentes	Autores
Gestão de combustíveis	Criação de faixas corta-fogo, desbaste, queima prescrita	FAO (2019); Pandey et al. (2023)
Governança	Coordenação interinstitucional e integração entre níveis de governo	Kirschner et al. (2024); Spadoni et al. (2023)
Comunidades locais	Participação comunitária e envolvimento em prevenção	Pandey et al. (2023)
Financiamento	Ampliação de recursos para prevenção	Ganteaume et al. (2021)
Zoneamento/planejamento	Adaptação ao clima e contenção da urbanização desordenada	FAO (2019)

Fonte: Adaptado de FAO (2019); Pandey et al. (2023); Ganteaume et al. (2021); Kirschner et al. (2024); Spadoni et al. (2023).

Nos Estados Unidos, a infraestrutura de combate a incêndios é robusta, mas os desafios relacionados ao subfinanciamento e à adaptação às mudanças climáticas ainda persistem, conforme descrito por Pandey, et al. (2023) e FAO (2019). A integração das políticas de uso da terra e a promoção de queimadas prescritas e culturais, como sugerido por Marks-Block e Tripp (2021) no contexto da Califórnia do Norte, são estratégias recomendadas. As práticas de manejo do fogo utilizadas pelas tribos indígenas, combinadas com a cogestão de terras entre agências governamentais e comunidades locais, têm demonstrado grande potencial para reduzir os riscos de incêndio. O sucesso dessas iniciativas depende, porém, da criação de parcerias interinstitucionais e do fortalecimento da soberania indígena sobre os territórios.

No Canadá, as agências de combate a incêndios demonstram uma boa capacidade tecnológica, mas ainda enfrentam desafios na integração de inovações, como o sistema WildFireSat, conforme identificado por McFayden, et al. (2023). A recomendação central é melhorar a infraestrutura de TI e aumentar a capacitação em sensoriamento remoto, permitindo que as agências utilizem plenamente os produtos de dados do WildFireSat para uma resposta mais eficiente aos incêndios. Tymstra, et al. (2020) também reforçam a necessidade de maior colaboração entre agências e de investimentos em prevenção e mitigação, destacando que o foco excessivo na supressão limita o potencial de estratégias de longo prazo.

De forma semelhante, na América do Norte destacam-se pontos fortes e fragilidades complementares, como resume o Tabela 10. Nos Estados Unidos, a infraestrutura de combate a incêndios é robusta, mas os desafios relacionados ao subfinanciamento e à adaptação às mudanças climáticas ainda persistem, ao mesmo tempo em que se valorizam as práticas indígenas de manejo do fogo (Marks-Block; Tripp, 2021;

Pandey et al., 2023). No Canadá, a capacidade tecnológica é um diferencial, com projetos como o WildFireSat, mas a integração de inovações ainda enfrenta barreiras institucionais (McFayden et al., 2023; Tymstra et al., 2020).

Tabela 10 – Síntese das recomendações identificadas na literatura para América do Norte sobre gestão de incêndios florestais em áreas de interface urbano-florestal

Tema	Recomendações recorrentes	Autores
Infraestrutura	Forte capacidade operacional, mas com subfinanciamento	Pandey et al. (2023); FAO (2019)
Conhecimento tradicional	Valorização de práticas indígenas e queimadas culturais	Marks-Block; Tripp (2021)
Tecnologia	Integração de satélites e sensoriamento remoto (WildFireSat)	McFayden et al. (2023); Tymstra et al. (2020)
Governança	Necessidade de coordenação interinstitucional	Pandey et al. (2023)

Fonte: Adaptado de Pandey et al. (2023); FAO (2019); Marks-Block; Tripp (2021); McFayden et al. (2023); Tymstra et al. (2020).

A integração de queimadas prescritas em políticas de uso da terra do tipo "Fire-Smart" é amplamente defendida por diversos autores. Pais, et al. (2023) sugerem que a alocação estratégica de queimadas em áreas de alta carga de combustível, como na Reserva Transfronteiriça da Biosfera Gerês-Xurés, é uma medida eficaz para reduzir o risco de incêndios catastróficos. Marks-Block e Tripp (2021) corroboram essa visão no contexto da Califórnia do Norte, onde as queimadas culturais desempenham um papel fundamental na restauração ecológica e cultural. Ambos os estudos destacam a necessidade de integrar essas práticas em políticas de uso da terra que promovam paisagens mais resilientes ao fogo.

As recomendações dos autores convergem na necessidade de uma abordagem preventiva e integrada para a gestão de incêndios florestais. Tanto Pandey, et al. (2023) quanto a FAO (2019) concordam que a supressão de incêndios não é suficiente e que estratégias de redução de combustíveis e adaptação da paisagem são essenciais. Ganteaume, et al. (2021) complementa essa análise, destacando a necessidade de combater o acúmulo de combustível florestal no sul da Europa, particularmente em áreas de IUF, e promover uma gestão mais proativa e integrada. Kirschner, et al. (2024) também reforçam a importância de uma mudança de paradigma, recomendando uma abordagem mais coesa na Itália, onde a fragmentação governamental tem impedido a implementação de políticas eficazes. No entanto, há divergências sobre a centralização versus descentralização da governança. Kocher e Butsic (2017) defendem a centralização das decisões de planejamento na França, enquanto Marks-Block e Tripp (2021) defendem a descentralização e a participação comunitária na Califórnia, ressaltando que as tribos indígenas devem ter maior controle sobre a gestão de seus territórios e práticas de queimadas.

O estudo de Farkhondehmaal e Ghaffarzadegan (2022) propõe um modelo dinâmico que explica os incêndios florestais como o resultado de um sistema interconectado entre fatores humanos e naturais, e sugere diversas políticas para mitigar esse risco. Uma das recomendações principais é a limitação do desenvolvimento de propriedades em áreas vulneráveis, por meio de regulamentos mais rígidos de zoneamento para impedir a construção em áreas de risco. A expansão de áreas de IUF é um fator chave para o aumento de incêndios, e, ao restringir o crescimento descontrolado, os danos econômicos e humanos poderiam ser minimizados. Além disso, o uso de queimadas prescritas é incentivado como

forma de controlar a quantidade de vegetação inflamável, reduzindo significativamente o combustível disponível para futuros incêndios. As queimadas devem ser realizadas em períodos controlados e em áreas de risco, garantindo a eliminação de material vegetal inflamável sem colocar as populações em perigo (Farkhondehmaal e Ghaffarzadegan, 2022).

Outro aspecto essencial das políticas sugeridas é a melhoria na eficácia do combate aos incêndios, por meio de investimentos em treinamento, tecnologia e equipamentos adequados. Melhorias no monitoramento e na resposta rápida durante os incêndios foram consideradas as medidas mais eficazes no curto prazo. Além disso, o estudo recomenda a adoção de políticas combinadas, como a restrição do desenvolvimento de propriedades e a melhoria das capacidades de combate, que, segundo as simulações, podem reduzir em até 38% a área queimada. Também se destaca a necessidade de levar em conta a percepção de risco das comunidades, que diminui com o tempo, aumentando a exposição a incêndios. Políticas educacionais contínuas e campanhas de conscientização são fundamentais para manter as populações alertas aos perigos de incêndios, promovendo comportamentos mais cautelosos (Farkhondehmaal e Ghaffarzadegan, 2022).

O documento da Federation of American Scientists propõe uma série de recomendações detalhadas para melhorar a gestão de incêndios florestais, com destaque para o controle da fumaça e a coordenação interinstitucional. O uso de tecnologias avançadas de monitoramento da qualidade do ar é fortemente recomendado para avaliar e mitigar os impactos da fumaça nas comunidades próximas a queimadas prescritas. Além disso, é sugerida a criação de protocolos de queima baseados em condições climáticas ideais, como temperatura, vento e umidade, para garantir que as queimadas controladas ocorram de forma segura e com a mínima produção de fumaça. O planejamento dessas atividades deve envolver o uso de modelos preditivos de dispersão de fumaça, auxiliando no controle dos impactos ambientais e protegendo a saúde pública. A necessidade de uma coordenação entre agências estaduais e federais também é destacada, com o objetivo de garantir que as práticas de queimadas controladas sejam realizadas com segurança e em condições meteorológicas favoráveis. A implementação de sistemas de alerta precoce para o monitoramento e resposta rápida a possíveis efeitos da fumaça é essencial para minimizar os impactos adversos em áreas urbanas. Além disso, incentivos são sugeridos para promover práticas de construção resistentes ao fogo, especialmente em áreas de interface urbano-florestal, visando reduzir os danos e aumentar a resiliência das comunidades vulneráveis. O documento também propõe a criação de um Fundo Federal de Indenização para cobrir os danos acidentais causados por queimadas prescritas, incentivando o uso seguro e responsável dessa prática.

Outro ponto importante é o apoio a iniciativas lideradas por comunidades indígenas para a gestão sustentável de terras, bem como a modificação da Lei de Política Ambiental Nacional, facilitando as queimadas culturais em terras indígenas, valorizando os conhecimentos tradicionais na prevenção de incêndios. A redução de subsídios para o desenvolvimento em áreas de risco é uma recomendação adicional, buscando desincentivar a construção em locais vulneráveis a incêndios e, assim, minimizar os impactos de longo prazo (Federation of American Scientists, 2024).

Por fim, o fortalecimento de programas de treinamento para gerenciar queimadas controladas e outras práticas preventivas é uma recomendação central. A implementação de sistemas avançados de monitoramento e resposta rápida visa melhorar a capacidade de combate a incêndios, proporcionando uma resposta mais eficaz e segura. O uso de tecnologias avançadas, aliadas a políticas coordenadas e integradas, é fundamental para enfrentar os desafios crescentes dos incêndios florestais e garantir a proteção das comunidades e dos ecossistemas.

Esses aprendizados internacionais oferecem referências relevantes para o Brasil e, em especial, para o Tocantins. A integração comunitária, a valorização de práticas tradicionais de manejo do fogo, a

coordenação entre órgãos federais, estaduais e municipais e a adoção de metodologias mais claras para a delimitação da IUF são caminhos que podem fortalecer a política ambiental estadual. Tais elementos mostram-se particularmente necessários em contextos marcados por alta incidência de incêndios e pressões da fronteira agropecuária, como o Cerrado tocantinense, onde as estratégias de prevenção ainda carecem de maior sistematização e efetividade.

Com base nas análises e recomendações discutidas ao longo deste tópico, podemos concluir que a gestão de incêndios florestais em áreas de IUF exige uma abordagem integrada e colaborativa, focada na prevenção, adaptação às mudanças climáticas e fortalecimento da governança interinstitucional. A unificação de metodologias, como visto em Portugal, oferece exemplos promissores. A próxima seção trará uma análise aprofundada sobre as características do estado do Tocantins frente ao fogo bem como a legislação referente ao tema, destacando os desafios e oportunidades específicos da região na implementação de estratégias preventivas.

5.

METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DA INTERFACE URBANO- FLORESTAL NO TOCANTINS

5.1. DEFINIÇÃO DE INTERFACE URBANO – FLORESTAL (CONCEITOS)

Há uma crescente urbanização e consequente expansão territorial de áreas urbanas sobre áreas adjacentes à vegetação combustível, o que aumenta o contato espacial entre o tecido construído e os combustíveis vegetais. Essa zona de contato, conhecida na academia como interface, interface silvestre-urbano, interface urbano-florestal, entre outras nomenclaturas, é o recorte espacial de interesse nos estudos de interação entre o ambiente construído e o natural, principalmente no tema incêndios.

O conceito de interface urbano-florestal (IUF), adotado por alguns autores, deriva do inglês Wildland Urban Interface (WUI), que pressupõe a presença expressiva (não meramente ornamental) de vegetação combustível em proximidade a infraestruturas e ocupação humana (Fidalgo, 2011). Segundo Bento-Gonçalves e Vieira (2020) que realizaram uma revisão bibliográfica trazendo conceitos chave do termo interface urbano florestal e as metodologias utilizadas para definição deste tipo de área, a IUF é uma área de contacto direto entre ocupações humanas e combustíveis vegetais, sendo um ponto crítico para a ocorrência de incêndios florestais, fragmentação de habitats e conflitos ecológicos.

Radeloff, et al. (2005, p. 799) definem a IUF como a área onde as casas se encontram ou se misturam com vegetação não urbanizada (wildland fuels), sendo um foco para conflitos entre humanos e o meio ambiente e reitera que a IUF “é, portanto, uma área de foco para conflitos entre humanos e meio ambiente, como a destruição de casas por incêndios florestais, fragmentação de habitat, introdução de espécies exóticas e declínio da biodiversidade”. Note-se que “se encontram” (interface clássica) e “se misturam” (intermix) já estão contemplados na formulação do autor, permitindo distinguir, no próprio texto de referência, a configuração em faixa de contacto contínuo da configuração em que as edificações se imbricam na matriz vegetal.

Cohen (2000) acrescenta que a IUF é uma localização onde um incêndio florestal pode potencialmente atingir estruturas residenciais e infraestrutura, aumentando o risco de perda material e humana. Stewart, et al. (2007) apontam que a IUF se caracteriza pela coexistência de áreas urbanas e vegetação não urbanizada, criando configurações espaciais complexas que desafiam a gestão territorial.

Para Vince et al. (2005), a IUF corresponde a zonas onde assentamentos humanos — de pequenas localidades a grandes conurbações — entram em contato direto com combustíveis vegetais. USDA/USDI (2001) definem a IUF como comunidades nas quais a ocupação antrópica faz fronteira (interface) ou se mistura (intermix) com combustíveis vegetais. Mowery et al. (2019) explicitam a definição ao salientar que qualquer área com edificações e infraestrutura adjacentes à vegetação, em que

exista potencial de transmissão do fogo entre esses elementos, configura IUF. Assim, quando se afirma que a IUF envolve grandes e pequenas aglomerações que interagem com áreas vegetadas, incluem-se tanto as situações de “faixa de contacto” (interface) quanto as de imbricação local (intermix), nos termos de USDA/USDI (2001). Já na perspectiva de Platt (2010, p. 9), a IUF é “a área onde as estruturas e as infraestruturas construídas por humanos, que estão em contacto ou se misturam com os tipos de vegetação que ocorrem naturalmente, é um nexo de conflito entre pessoas e o meio ambiente”. Reforça a ideia de que a IUF “está associado com os problemas vexatórios da perda de estrutura causada por incêndios, fragmentação do habitat, propagação de espécies invasivas e conflitos entre os seres humanos e a vida selvagem.

Ribeiro (2016) define IUF como sendo a área, linha ou zona onde estruturas e ocupações humanas permanentes interagem com o espaço florestal. As áreas de IUF apresentam problemas típicos da gestão urbana, simultaneamente com os da gestão de terrenos florestais” (Fidalgo, 2011/2012, p. 91). Na sequência desta afirmação, torna-se importante a obtenção do conhecimento sobre as características das áreas próximas à habitação, e se estas têm influência direta na sua capacidade de ignição. Isto irá reduzir, em caso de incêndio, a probabilidade da ocorrência de perda de bens materiais, assim como garantir uma maior segurança para a população (Cohen, 2000).

Os incêndios na interface urbano-floresta representam desafios e riscos significativos. Neste sentido, a expansão das cidades sobre as florestas periurbanas levou a perdas crescentes devido a incêndios florestais, particularmente na interface florestal-urbana. A proximidade de estruturas urbanas a combustíveis inflamáveis em áreas arborizadas gera preocupações tanto sobre as ações dos proprietários quanto sobre a ameaça a vidas, residências e empresas (Depietri, 2020).

Prever e gerenciar esses incêndios florestais é complexo, especialmente quando os incêndios se espalham por diversos tipos de combustível e terrenos complexos. A necessidade de equilibrar a preservação de florestas periurbanas para serviços ecossistêmicos culturais com o manejo da vegetação para reduzir o risco de incêndio cria compensações e conflitos. Dessa forma, para resolver este problema, ganham centralidade estruturas baseadas em vulnerabilidade que considerem características e arranjo espacial específicos da comunidade para minimizar perdas potenciais para as comunidades. A compreensão dessa interface é essencial no desenvolvimento sustentável dos centros urbanos, já que sua gestão pode minimizar incêndios que por vezes afetam diretamente a vida e a propriedade dos cidadãos. Neste capítulo a metodologia adotada terá como base trabalhos realizados em outros países, como o Canadá, estudos continentais abrangendo a Europa, e é adaptada à realidade e às fontes disponíveis no Estado do Tocantins, Brasil.

No contexto brasileiro, o uso do termo Interface Urbano-Florestal (IUF) pode gerar interpretações divergentes, uma vez que a palavra “florestal” é tradicionalmente associada, tanto no campo jurídico quanto em classificações ambientais nacionais, a formações vegetais de grande porte. Entretanto, a adoção desse termo nesta tese se justifica por dois aspectos principais. Primeiramente, o próprio MapBiomas em seu nível 1 de classificação distingue categorias como “Floresta” e “Formação Natural não Florestal”, ambas suscetíveis a queima e tratadas aqui como combustíveis vegetais, que, portanto, integram a dinâmica da interface urbano-florestal. Assim, ainda que o termo “florestal” possa sugerir restrição a formações arbóreas densas, ele é utilizado em sentido mais amplo para designar diferentes tipos de vegetação combustível. Em segundo lugar, a manutenção do termo possibilita o alinhamento com a literatura internacional, na qual prevalece a expressão Wildland-Urban Interface (WUI). A tradução consolidada como “Interface Urbano-Florestal” aproxima os estudos nacionais das referências globais, garantindo comparabilidade conceitual e metodológica, além de favorecer a inserção da produção científica brasileira no debate internacional sobre incêndios. Dessa forma, a adoção do termo no presente trabalho busca compatibilizar as especificidades da realidade brasileira com a necessidade

de integração a um referencial científico mais amplo, reforçando a consistência analítica e a relevância das políticas públicas comparativas.

Escopo adotado nesta tese. À luz desse enquadramento conceitual, salvo menção em contrário, o termo Interface Urbano-Florestal (IUF) refere-se aqui à interface clássica, entendida como a faixa de contacto e proximidade imediata entre áreas artificiais contínuas (manchas urbanas, infraestruturas e demais superfícies antrópicas mapeadas como “Área Urbanizada”, “Mineração” e “Outras áreas não vegetadas” do MapBiomass) e combustíveis vegetais adjacentes. Operacionalmente, essa interface é derivada por proximidade, por meio da interseção entre buffers aplicados à máscara antrópica e às classes combustíveis, de modo que o interior contínuo da mancha urbana e o interior contínuo das áreas combustíveis não integram a IUF, preservando-se a lógica de faixa de contacto típica da interface clássica. O intermix — edificações dispersas imersas na matriz vegetal, usualmente definido por critérios de densidade de construções e percentuais de cobertura vegetal por célula (e.g., Radeloff et al., 2005) — e as situações oclusas (quando a continuidade entre urbano e vegetação é interrompida por barreiras físicas relevantes) não são mapeados explicitamente nesta etapa; podem apenas surgir incidentalmente, quando a base cartográfica registra pequenas manchas artificiais incrustadas na vegetação. Assim, a tese concentra-se prioritariamente na configuração clássica da IUF, correspondente à faixa de contacto urbano-combustível contígua, na qual estão incluídas casas e demais edificações que se situem no limite de proximidade operacionalmente definido com as áreas de vegetação combustível.

5.2. TRABALHOS ACADÊMICOS COM DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE INCÊNDIOS EM INTERFACE

As metodologias para definição da IUF são diversas e adaptadas às características regionais e objetivos específicos de cada estudo. Em geral, envolvem o uso de critérios geoespaciais, densidade habitacional e proximidade da vegetação para mapear e avaliar essas zonas de transição. Bento-Gonçalves e Vieira (2020) destacam a importância de padronizar as metodologias para facilitar a cooperação interdisciplinar e o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção e mitigação de riscos.

Radeloff, et al. (2005) propuseram um método baseado na densidade de construção e na cobertura vegetal, utilizando mapas de uso do solo para identificar áreas de risco elevado de incêndio.

Lampin-Maillet, et al. (2010) desenvolveram uma metodologia utilizando SIG (Sistemas de Informações Geográficas), combinando densidade de habitações e agregação de vegetação para criar uma tipologia com 12 tipos de interfaces.

Em Portugal, Pereira, et al. (2018) utilizaram uma abordagem detalhada de análise espacial para mapear a IUF, considerando interfaces diretas e indiretas, de acordo com a proximidade das áreas urbanas às vegetações inflamáveis.

No Canadá, Whitman, et al. (2013) aplicaram um modelo determinístico de suscetibilidade ao fogo adaptado às características locais para delinear as áreas de risco.

Chas-Amil et al. (2013) utilizaram a abordagem proposta por Lampin-Maillet, et al. (2010). identificar, mapear e classificar a interface urbano-florestal (IUF) na Galiza, Espanha. Dessa forma, as etapas seguidas para esta análise foram: delimitação espacial da IUF, classificação das áreas da IUF de acordo com o agrupamento de edifícios, identificação da vegetação florestal nas áreas da IUF e classificação por seu nível de fragmentação e classificação das áreas da IUF de acordo com a densidade de construção e fragmentação florestal.

Os autores utilizaram dados de diferentes coberturas cartográficas para obter informações sobre presença humana e vegetação florestal. Nesse sentido, usaram uma camada de edificações apresentada em 2006

pelo National Topographical DataBase 1:25.000 (BTN25) e a complementaram, caso certa informação não estivesse disponível, com a Cartographic Numeric Base 1:25.000 (BCN25), ambas criadas pelo Instituto Geográfico Espanhol (IGN). A informação cartográfica dos edifícios foi combinada com o Sistema de Informação de Ocupação e Uso do Solo de Espanha (SIOSE), que é rasterizado com uma resolução espacial de 25 m e tem uma escala cartográfica de 1:25.000. A camada SIOSE fornece informações detalhadas sobre as distribuições de vários tipos de cobertura da terra.

Chas-Amil et al. (2013) identificaram e classificam as áreas IUF em referência à intensidade da presença humana, analisando o arranjo espacial dos edifícios e a fragmentação da floresta dentro da IUF e encontraram diferenças estatisticamente significativas na densidade de ignição do fogo entre as áreas. Portanto, conclui-se que o estudo pode promover políticas de delimitação espacial e promover o desenvolvimento e promoção de planos para a proteção de vidas humanas, propriedades e atividades econômicas em áreas de alto risco.

Dessa forma, a complexidade da gestão das áreas de interface urbano-florestal é evidenciada pela diversidade de abordagens metodológicas para sua definição e pela necessidade de adaptação aos diferentes contextos territoriais. Estudos que utilizam a área de interface e sua relação com incêndios também possuem as mais variadas metodologias como se descreve em seguida.

Mahmoud, et al. (2020) avaliam o risco de incêndios florestais para quatro comunidades diferentes nos EUA durante o período de maio a setembro. Os autores analisam os fatores que contribuem para a vulnerabilidade da comunidade e a interação entre probabilidade de ignição, vulnerabilidade e risco calculado. Estes investigadores mostram que o risco para a comunidade está intimamente relacionado à velocidade e direção do vento, padrão de vegetação selvagem ao redor e layout da construção. O trabalho usa uma análise de dados e métodos de avaliação de risco para avaliar o risco de incêndios florestais para quatro comunidades diferentes nos EUA durante o período de maio a setembro. Por fim, conclui-se que as abordagens atuais para o gerenciamento de incêndios florestais, que se concentram na supressão de incêndios e no gerenciamento do acúmulo de combustível em terras selvagens, se mostraram inadequada.

Para definir de forma inédita para o Canadá em escala nacional, Johnston e Flannigan (2018), mapearam as zonas de interface entre incêndios florestais e zonas antropizadas. Consideraram interface como uma zona de transição onde áreas naturais encontram áreas desenvolvidas (aqui foi considerado urbano industrial e infraestrutura em geral) visto que para estes autores, uma pequena comunidade ou mesmo uma edificação isolada no meio da floresta não deveria ter associado o conceito de “urbano”. O objetivo deste mapeamento era identificar e caracterizar as áreas de forma a compreender melhor os riscos associados aos incêndios florestais para auxiliar na gestão e prevenção destes além de poder também ser utilizado para pesquisas futuras. Foram utilizados sistemas de informação geográfica (SIG) para integrar os dados espaciais sobre vegetação, uso do solo e infraestrutura, com buffers de largura variável de acordo com a área combustível em torno de estruturas de interesse. Como metodologia o mapeamento foi realizado com o uso de dados geoespaciais com técnicas de análise para mapear as zonas de interface que foram subdivididas em: urbana, industrial e de infraestrutura. O trabalho conseguiu demonstrar a extensão significativa das áreas de interface no Canadá e apontou a importância de estratégias de manejo específicas, além de políticas de mitigação de riscos e melhor preparação na resposta de incêndios florestais em cada tipo de interface.

Modugno, et al. (2016) debatem o risco crescente de incêndios florestais em áreas de IUF na Europa. Essas áreas são definidas como paisagens onde o uso do solo urbano e a massa de combustível florestal entram em contato. Nesse sentido, os autores propõem um método para mapear a extensão e os padrões espaciais das áreas de IUF da Europa em escala continental utilizando ferramentas SIG para o

mapeamento, e tendo como base de dados o CORINE Land Cover CLC0 2006 para a criação dos mapas de áreas artificiais e áreas combustíveis (combustível vegetal). A metodologia envolve o uso do mapa europeu de áreas IUF, gerado com a utilização do ArcGis 10.1, onde, com base nas áreas artificiais e de combustíveis, buffers foram delimitados de acordo com os parâmetros mais rígidos das seguintes legislações: Legislação Francesa sobre Florestas (9 de Julho de 2002), Lei-Quadro sobre Incêndios Florestais (2000/353) e planos regionais, Lei Nacional contra Incêndios Florestais (30 de Junho de 156/2004), Ley de Montes 43/2003 (Espanha) e planos regionais, com limites de 200 metros ao redor de áreas urbanas e 400 metros de áreas de vegetação. Para testar a hipótese de que a distância da área IUF mais próxima está relacionada à probabilidade de incêndio florestal, as relações estatísticas entre a distância da área IUF mais próxima e os grandes incidentes de incêndio florestal de sensoriamento remoto por satélite foram posteriormente modelados por análise de regressão logística, estas análises foram realizadas no SPSS 20. Pode-se inferir que os dados de sensoriamento remoto por satélite foram usados para modelar as relações entre as áreas IUF e os incêndios florestais. Os autores concluem que a probabilidade de grandes superfícies queimadas aumenta com a diminuição da distância IUF em regiões turísticas como Sardenha, Provence-Alpes-Cote d'Azur, ou em regiões com um forte componente periurbano como Catalunya, Comunidad de Madrid, Comunidad Valenciana e ainda enfatiza a importância de mapeamentos detalhados das zonas de interface na gestão de riscos de incêndios florestais.

5.3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESCOLHIDA

Para a produção dos mapas e estatísticas das áreas estudadas foram utilizados dados provenientes do projeto MapBiomias e banco de dados produzidos pelo Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO), do Centro de Apoio Operacional de Habitação, Urbanismo e Meio Ambiente (CAOMA) do Ministério Público do Estado do Tocantins (MP-TO).

O projeto Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, o MapBiomias Brasil (“Projeto MapBiomias”, 2024) teve sua ideia inicial lançada em 2015 onde especialistas em sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação se reuniram em um seminário com o objetivo de produzir mapas anuais de uso e cobertura da terra para o território brasileiro. Há um termo de cooperação técnica com a empresa Google e o MapBiomias, que foi desenvolvido baseado na plataforma Google Earth Engine, uma plataforma aberta, colaborativa e multiplicável. O trabalho se baseia em rede de ONGs, universidades e startups de tecnologia, de forma que instituições diversas são responsáveis por biomas e temas transversais. Dessa forma é produzido mapeamento anual da cobertura e uso da terra além de monitoramento mensal da superfície de água e cicatrizes de fogo com dados a partir de 1985(Souza, et al., 2020). Esta ferramenta mostra-se indispensável na análise de cobertura e uso da terra no cenário brasileiro para uma melhor compreensão e monitoramento de dinâmicas ambientais e mudanças em geral.

Os mapas anuais do MapBiomias têm como características gerais a abordagem integrativa de sensoriamento remoto, informações geoespaciais e processamento digital avançado, nela a classificação pixel a pixel (30x30m) de imagens do satélite Landsat (Resolução de 30 metros), pela plataforma Google Earth Engine é realizada por uma série de algoritmos de aprendizagem de máquina (machine learning) gerando mapas detalhados e atualizados em diferentes escalas espaciais e temporais(Souza, et al., 2020) (MapBiomias, 2024b).

Dos mosaicos de imagens Landsat é realizada a classificação desses pixels com utilização de filtros espaciais e temporais para posterior integração e novamente aplicação de filtros, de forma que é possível

gerar mapas e dados estatísticos de transição deste uso e ocupação do solo, bem como do desmatamento, da vegetação secundária assim como da acurácia.

Neste trabalho, no entanto, foram utilizados os dados fornecidos no Projeto MapBiomas coleção Beta, onde a série histórica dos mapas de uso da terra são de 2016 a 2022, pois nela são usadas imagens do satélite Sentinel – 1, ou seja, com 10 m de resolução espacial. Esta melhor resolução permite a análise mais detalhada e maior informação no mapeamento de áreas (“Projeto MapBiomas – Coleção BETA da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial”, 2024). Por ser um satélite de uso mais recente pelo projeto a série histórica é menor.

A área combustível e a área urbana adotadas foram determinadas com base na legenda do Projeto MapBiomas para a Coleção Beta (“Projeto MapBiomas – Coleção BETA da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial”, 2024), onde é sugerido ao usuário a utilização da legenda da coleção 8 do MapBiomas (“Projeto MapBiomas – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil”, 2024), essa legenda bem como o sistema de classificação adotado é baseado e compatível com a classificação da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e estatística) (Souza, et al., 2020).

Os mapas anuais de cobertura e uso da terra do Tocantins foram baixados em formato GeoTiff utilizando o script do Google Earth Engine – GEE e o asset disponível ‘projects/mapbiomas-workspace/public/collection_S2_beta/collection_LULC_S2_beta’. Após realizar o *download* de cada ano, foi extraído o GEOTIFF de todo o estado para cada município e transformado em Vetor.

A análise em escala estadual foi realizada nos 05 municípios de maior população: Palmas, Araguaína, Gurupi, Paraíso e Porto Nacional e em 10% dos municípios do estado, selecionando os com maior área queimada no período de 2020 a 2023: Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Paranã, Pium, Goiatins, Lizarda, Mateiros, Rio Sono, Arraias, Tocantínia, Ponte Alta do Tocantins, Almas, Conceição do Tocantins e Monte do Carmo (Ministério Público do Tocantins, 2024) (Tabela 11 e Figura 17), juntos esses 19 municípios representam aproximadamente 51,94% da população total do estado do Tocantins e 35,79% da área territorial total do estado.

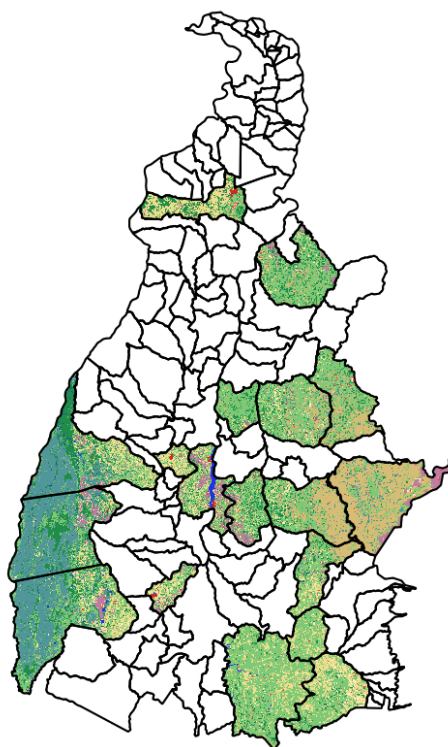


Figura 17 - Municípios selecionados do estado de Tocantins. Fonte: Elaboração própria (2025), com dados de MapBiomas (2024).

5.3.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA COMBUSTÍVEL ADOTADA E DA ÁREA URBANA ADOTADA

Dentre as classes presentes no MapBiomas as classes adotadas para classificar a área combustível foram: 1-Floresta, com as subdivisões a) Formação Florestal, b) Formação Savânica, c) Mangue, d) Floresta Alagável; 2- Formação Natural não Florestal, com as subdivisões a) Campo Alagado e Área Pantanosa, b) Formação Campestre, c) Apicum, d) Afloramento Rochoso; 3- Agropecuária com as subdivisões a) Pastagem, b) Agricultura (Lavoura Temporária e Lavoura Perene), c) Silvicultura, d) Mosaicos de Uso. E as classes adotadas para a área urbanizada são as subdivisões Área Urbanizada, Mineração e Outras áreas não Vegetadas da classe de área não vegetada.

Tabela 11 – Descrição das Classes dos Mapbiomas – Seleção 8

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Biomias	Descrição breve	
Floresta	Formação Florestal	Amazônia	Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Sempre-Verde, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Arborizada, Áreas que sofreram ação do fogo ou exploração madeireira, Floresta resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária. Floresta de bambu (Acre).		
		Cerrado	Tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) (Ribeiro & Walter, 2008), além de florestas estacionais semidecíduais.		
	Formação Savânica	Amazônia	Formação vegetal aberta com um estrato arbustivo e/ou arbóreo mais ou menos desenvolvido, estrato herbáceo sempre presente.		
		Cerrado	Formações savânicas com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre).		
	Mangue			Formações florestais, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de Manguezal.	
	Floresta Alagável (beta)		Amazônia	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente.	
Formação Natural não Florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa	Amazônia	Vegetação de várzea ou campestre que sofre influência fluvial e/ou lacustre.		
		Cerrado	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo sujeita ao alagamento sazonal (ex. Campo Úmido) ou sobre influência fluvial/lacustre (ex. Brejo). Em algumas regiões a matriz herbácea ocorre associada às espécies arbóreas de formação savânica (ex. Parque de Cerrado) ou de palmeiras (Vereda, Palmeiral).		
	Formação Campestre	Amazônia	Savana, Savana Parque (Marajó), Savana-Estépica (Roraima), Savana Gramíneo-Lenhosa, Campinarana, para regiões fora do Ecótono Amazônia/Cerrado. E para regiões dentro do Ecótono Amazônia/Cerrado predominância de estrato herbáceo.		
		Cerrado	Formações campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) e algumas áreas de formações savânicas como o Cerrado rupestre.		
	Apicum		Apicuns ou Salgados são formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme.		
	Afloramento Rochoso	Amazônia	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, m		
		Cerrado	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupestre e alta declividade.		
Agropecuária	Pastagem			Áreas de pastagem predominantemente plantadas, diretamente relacionadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo. Na Amazônia, podem ocorrer áreas desmatadas recentemente, sem ainda ter iniciado a atividade agropecuária.	
	Agricultura	Lavoura Temporária	Soja	Áreas cultivadas com a cultura da soja.	
			Cana	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar.	
			Arroz	Áreas cultivadas com cultura de arroz, exclusivamente sob sistema de irrigação, nos estados do Rio Grande do Sul, Tocantins, Santa Catarina e Litoral do Paraná. Este mapa é o mesmo apresentado no módulo irrigação na classe "Arroz Irrigado".	
			Algodão (beta)	Áreas cultivadas com a cultura do algodão.	
			Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.	
		Lavoura Perene	Café	Áreas cultivadas com a cultura do café.	
			Citrus	Áreas cultivadas com a cultura do citrus.	
			Dendê (beta)	Áreas cultivadas com monocultura de dendê.	
			Outras Lavouras Perenes	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio. Nessa versão, o mapa abrange majoritariamente áreas de caju, no litoral do nordeste e dendê na região nordeste do Pará, porém sem distinção entre eles.	
	Silvicultura			Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).	
	Mosaicos de Usos		Cerrado	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.	

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Biomass	Descrição breve
			Áreas Urbanizadas	Áreas de vegetação urbana, incluindo vegetação cultivada e vegetação natural florestal e não-florestal.
Área Não Vegetada	Praia, Duna e Areal			Cordões arenosos, de coloração branco brilhante, onde não há o predomínio de vegetação de nenhum tipo.
	Área Urbanizada			Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.
	Mineração			Áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação por ação antrópica. Somente são consideradas áreas próximas a referências espaciais de recursos minerais do CPRM (GeoSGB), da AhkBrasilien (AHK), do projeto DETER (INPE), do Instituto Socioambiental (ISA) e de FL Lobo et al. 2018.
	Outras Áreas não Vegetadas	Amazônia		Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.
		Cerrado		Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entresafra.
Corpos D'água	Rio, Lago e Oceano			Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
	Aquicultura			Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura.
Não Observado				Áreas bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico, ou com ausência de observação.

Foram excluídos dos polígonos de área artificial e área combustível as seguintes: “Área não vegetada” – Praia, Duna e Areal e Corpos D’água pela sua quase nula ou nula capacidade de queima. A categoria “Outras Áreas não vegetadas” apesar de ter características que poderiam ser consideradas próprias de área artificial, como alguns aspectos de expansão urbana, foi adicionado à área combustível pois nela é observado muitas áreas de cerrado ralo.

Assim, algumas áreas com características urbanas ficaram fora da área artificial, pois no caso do aumento manual destas áreas haveria sobreposição com o banco de dados da vegetação. Desta forma optou-se por, como nos outros trabalhos que serviram de base para esta metodologia, utilizar a base de dados existentes para a possibilidade de estudo de uma área mais abrangente, para que assim, essas pequenas áreas frente ao tamanho da área total examinada apresentarem-se como margem de erro (Tabela 12).

Tabela 12 – Classes Seleccionadas Mapbiomas Tocantins

Grupo	Classes	Área (ha)/ (%)		Área total (ha)/ (%)	
Área Artificial	Área Urbanizada	60.592,00	0,22	61.024,00	0,22
	Mineração	432,00	0,00		
Área Combustível	Formação Savânica	9.454.979,00	34,08	27.172.549,00	98,17
	Formação Florestal	3.818.750,00	13,77		
	Pastagem	8.191.184,00	29,53		
	Lavoura Temporária	1.321.752,00	4,76		
	Mosaico de Usos	664.281,00	2,39		
	Formação Campestre	1.617.661,00	5,83		
	Campo Alagado e Área Pantanosa	1.917.661,00	6,91		
	Silvicultura	77.377,00	0,28		
	Outras Áreas não Vegetadas	108.758,00	0,39		

Apesar da nomenclatura “Interface Urbano Florestal” como bem explanado por (Johnston e Flannigan, 2018) em seu trabalho que buscava determinar áreas de Interface no Canadá, a delimitação de IUF não se restringe ao binômio mancha urbana × formações florestais. À luz desse enquadramento, nesta metodologia incluímos, além da mancha urbana e das formações florestais, tipologias que servem de combustíveis do Cerrado (por exemplo: formações savânicas e campestres, pastagens, mosaico agropecuário e áreas agrícolas), de modo a construir uma definição operacional inicial de ‘interface’ para o Tocantins. A opção por incorporar áreas distintas das florestais, como as áreas rurais por exemplo, decorre da evidência de ocorrência considerável de incêndios nesses contextos (Patriota, et al., 2017). No processamento, a mancha urbana foi usada como máscara antrópica (considerada não combustível) para avaliar o contato com as classes rurais adjacentes.

Estas áreas foram agregadas em área combustível e área urbana para a criação dos buffers; posteriormente, nos estudos estatísticos, as subclasses foram novamente divididas, servindo de dados para comparação e definição. Foi realizada a extração dos polígonos das classes para compor a área urbana, observe Figura 18a). Em seguida foram extraídos os polígonos das classes para compor a área combustível Figura 18b).

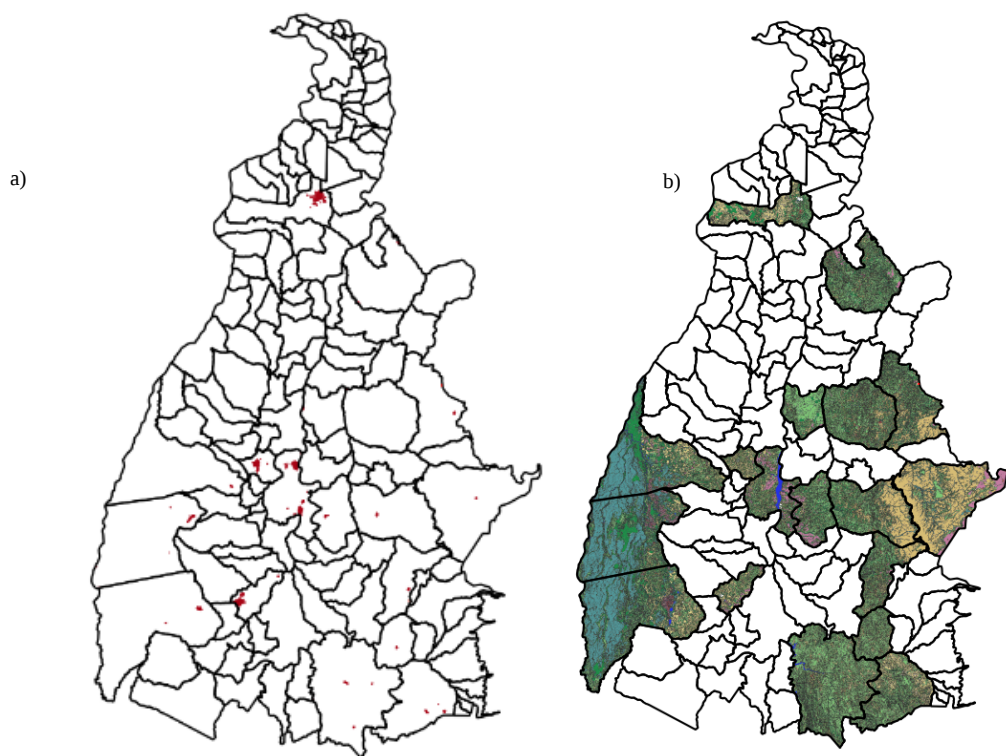


Figura 18 – a) Polígonos extraídos; b) Area Combustível. Fonte: Elaboração própria (2025), com dados de MapBiomass (2024).

5.3.2. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS

Foi avaliada a escolha da base de dados a ser utilizada para a análise das cicatrizes de queimadas no Tocantins e optou-se pela utilização do mapeamento das cicatrizes de queimadas conduzido pelo Ministério Público do Estado do Tocantins (MPTO) que utiliza imagens do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 metros e oferece uma maior capacidade de detecção de detalhes no mapeamento.

Apesar de o MPTO não dispor de um documento técnico detalhado que descreva o algoritmo e a metodologia empregados, o processo passa pela formação do mosaico das imagens do estado, realização da composição da imagem pelo algoritmo com o cálculo do índice espectral mínimo NBR (Normalized Burn Ratio) para a imagem antes e depois da queima usando as bandas espectrais RED, NIR, SWIR1 e SWIR2. Posteriormente é calculado a diferença dos índices NBR e é utilizado o classificador Random Forest (ee.Classifier.smileRandomForest) para classificar esse mosaico. O treinamento do classificador consiste na coleta de pontos de amostras de treinamento de áreas queimadas e não queimadas nos mosaicos Sentinel para várias regiões do Estado. Posteriormente, essas cicatrizes são exportadas e trabalhadas num Sistema de Informação Geográfica (QGIS, 2024) para que sejam validadas pela equipe, destaca-se que o processo utilizado pelo MPTO inclui a validação visual de todas as cicatrizes de queimadas identificadas no Estado, realizada pela equipe responsável (Ministério Público do Tocantins, 2024). Esse procedimento assegura um elevado grau de confiabilidade nos dados.

Dessa forma, para a análise das cicatrizes de queimadas, optou-se pela utilização dos dados fornecidos pelo MPTO, escolha fundamentada em critérios específicos, como a validação visual, a adequação ao contexto da análise e a cobertura temporal do período crítico de queimadas no Tocantins. Os dados do MPTO já contemplam esse intervalo específico, que concentra a maior parte das queimadas no Estado. As figuras 19 e 20 a seguir ilustram como as cicatrizes de queimadas, mapeadas pela metodologia adotada, apresentam maior correspondência com a realidade das áreas efetivamente queimadas no Tocantins.

Apesar das vantagens destacadas, é importante reconhecer limitações inerentes ao uso exclusivo da base de dados do MPTO. O painel de queimadas do MPTO não disponibiliza métricas formais de acurácia, como matriz de confusão, índices Kappa ou estimativas de precisão do usuário e do produtor. A validação empregada é predominantemente visual, realizada pela equipe técnica mediante conferência de cada polígono identificado, o que assegura confiabilidade prática e aumenta a precisão temática em relação a métodos automatizados, mas carece de uma quantificação estatística padronizada. Essa ausência de métricas não compromete o valor informativo da base, mas limita a possibilidade de comparações sistemáticas em nível nacional e internacional. Esse processo, embora qualitativo, reduz erros grosseiros em áreas críticas, como a interface urbano-florestal, onde a heterogeneidade espacial tende a comprometer classificações puramente automatizadas. Além disso, é importante reconhecer que a resolução espacial de 10m do Sentinel-2 utilizada pelo MPTO permite identificar cicatrizes menores e fragmentadas, típicas de áreas de transição e de uso antrópico intenso.

Como limitação, a ausência de documentação técnica detalhada do MPTO restringe a plena transparência e reprodutibilidade científica. Essa lacuna, entretanto, abre espaço para que esta tese recomende, como contribuição prática, o desenvolvimento de relatórios técnicos periódicos e a incorporação gradual de métricas estatísticas de acurácia. Sugere-se ainda que os dados do MPTO sejam futuramente utilizados em análises complementares com outras bases de dados, nacionais por exemplo, de modo a fortalecer comparações multiescalares (local x nacional) e aumentar a robustez metodológica. Contudo, a descrição do fluxo de trabalho realizada neste estudo — desde a formação dos mosaicos Sentinel-2, aplicação do índice espectral NBR, classificação com Random Forest até a validação visual — buscou suprir parcialmente essa ausência, funcionando como uma reconstrução metodológica e contribuindo para a clareza do processo.

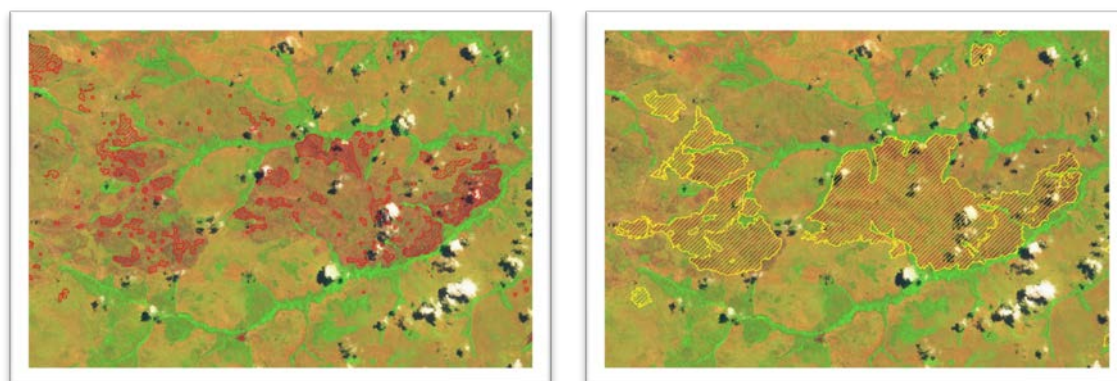


Figura 19 - Cicatriz de queimada coordenadas geográficas -6,189° -47,5691°, agosto 2023 do Mapbiomas e do MPTO, respectivamente. Fonte: MapBiomas (2024); Painel de Monitoramento de Queimadas – MPTO (2024).

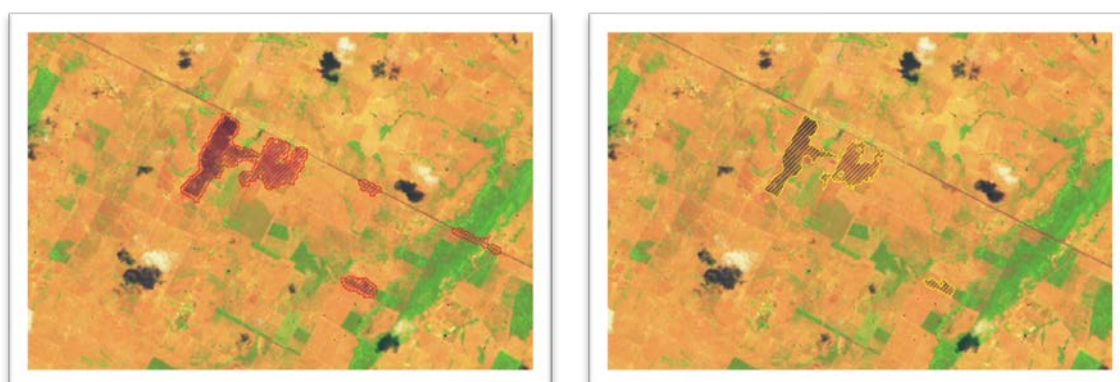


Figura 20 - Cicatriz de queimada coordenadas geográficas -5,42585° -48,00239°, agosto 2023 do Monitor do Fogo e do MPTO, respectivamente. Fonte: Monitor do fogo MapBiomas (2024); Painel de Monitoramento De Queimadas – MPTO (2024).

Assim, a utilização dos dados do MPTO atende aos objetivos deste estudo, ao focar no período de 20 de julho a 16 de outubro de cada ano, período crítico do Estado quanto às condições climáticas e que abrange, em geral, as ações do NATURATINS, por meio das portarias nº 84, de 07 de julho de 2020 (Tocantins, 2020); nº 118, de 19 de julho de 2021 (Tocantins, 2021); nº 112, de 26 de julho de 2022 (Tocantins, 2022); nº 101, de 14 de julho de 2023 (Tocantins, 2023); e nº 125, de 17 de julho de 2024 (Tocantins, 2024), que suspenderam a emissão e a vigência das autorizações ambientais de queima controlada no Estado do Tocantins. As queimadas analisadas neste período refletem uma realidade com restrições significativas à prática de queimas autorizadas, permitindo uma análise mais precisa do impacto de incêndios provocados sem autorização formal, proporcionando uma base de dados confiável, espacialmente precisa e validada visualmente para toda a extensão do Estado. Essa abordagem mostrou-se adequada para os propósitos da pesquisa, complementando a robustez técnica com uma análise direcionada à realidade local e temporal das queimadas no Tocantins.

5.3.3. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL (MORAN'S I E LISA) DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS

A análise de autocorrelação espacial foi realizada no software GeoDa (versão 1.22), amplamente utilizado para estatística espacial exploratória e que integra funcionalidades de visualização, exploração de autocorrelação espacial e regressão espacial (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006). Foram utilizados os dados de cicatrizes de queimadas no Estado do Tocantins no período de 2020 a 2023, disponibilizados pelo MPTO, agregados por município conforme o recorte definido nesta tese.

Para a construção da matriz de vizinhança espacial, adotou-se o critério de contiguidade do tipo Queen (primeira ordem), que considera como vizinhos todos os municípios que compartilham fronteira ou vértice comum. A matriz foi posteriormente padronizada em linhas (row-standardized), de modo que a soma dos pesos atribuídos a cada município fosse igual a 1 (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006).

Com base nessa estrutura, foi calculado o Índice de Moran Global (Moran's I), estatística que mede a autocorrelação espacial global de uma variável, assumindo valores no intervalo de -1 a +1. Valores positivos indicam agrupamento espacial de observações semelhantes (alto-alto ou baixo-baixo), enquanto valores negativos indicam dissimilaridade espacial (alto-baixo ou baixo-alto). A significância estatística foi avaliada por meio de permutação aleatória de 999 simulações, adotando-se os limiares convencionais de $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$ (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006).

Em seguida, foi aplicada a estatística LISA (Local Indicators of Spatial Association), a qual permite identificar clusters locais e outliers espaciais (ANSELIN, 1995). Foram classificados quatro padrões: Alto-Alto (municípios com altos valores cercados por vizinhos igualmente altos), Baixo-Baixo (baixos valores cercados por baixos), Alto-Baixo e Baixo-Alto (outliers espaciais). Os resultados foram representados em mapas temáticos no ambiente do GeoDa, distinguindo as áreas significativas das não significativas conforme os níveis de p-valor obtidos.

5.4. DEFINIÇÃO DAS INTERFACES URBANO-FLORESTAL

5.4.1. METODOLOGIA ADOTADO PARA DEFINIÇÃO DOS BUFFERS

Foi utilizado o QGIS (sigla para Sistema de Informação Geográfica Quântica) que é um software livre e de código aberto utilizado para criar, editar, visualizar, analisar e publicar informações geoespaciais, compatível com diversos sistemas operacionais. A versão usada foi a LTR (Long Term Release), por ser especialmente estável e receber suporte prolongado (QGIS, 2024). Com o uso desse software as categorias selecionadas no MapBiomas foram agrupadas em dois grandes grupos, área artificial e área combustível, elaborado um buffer para a área artificial e posteriormente um buffer para a área combustível, estes foram sobrepostos e originaram a área de interface (Figura 21).

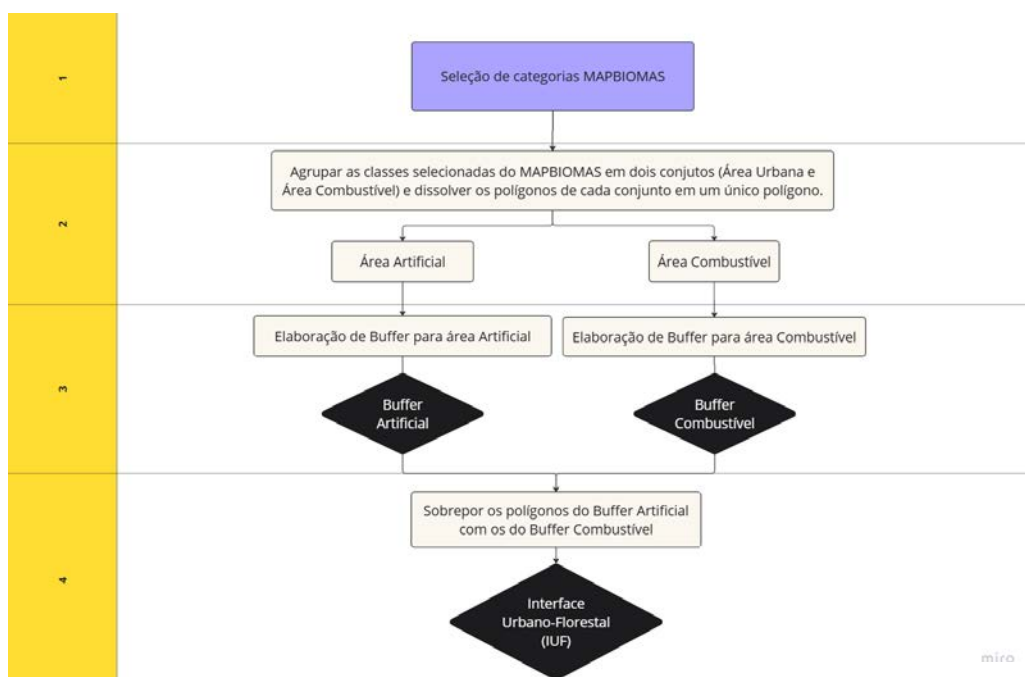


Figura 21 - Esquema de definição da IUF por proximidade: interseção entre o buffer da área artificial e o buffer da área combustível

Nesta tese, a IUF corresponde à interface clássica e é derivada por proximidade: (i) gera-se um buffer de 50, 100 ou 200 m ao redor das áreas artificiais e (ii) um buffer de 100, 200 ou 400 m ao redor das áreas combustíveis; (iii) a IUF corresponde exclusivamente à interseção desses dois anéis. Os interiores contínuos da mancha urbana e das áreas combustíveis não integram a IUF, de modo que o produto representa a faixa de contato urbano-vegetação. O intermix (edificações dispersas em matriz vegetal) e as situações oclusas, em que a continuidade entre urbano e vegetação é interrompida por barreiras físicas relevantes, como vias largas pavimentadas ou corpos d'água permanentes, não são explicitamente mapeados por esta abordagem — a sua representação exigiria critérios adicionais de densidade de edificações e percentuais de cobertura vegetal por célula; razão pela qual, neste trabalho, podem surgir apenas de forma incidental quando a base cartográfica registra pequenas manchas artificiais incrustadas na vegetação. As combinações testadas foram: 50×100 m, 50×200 m, 100×200 m, 200×200 m e 200×400 m (urbano × combustível), inspiradas nas normas europeias sistematizadas por Modugno et al. (2016) como descrito no item seguinte.

5.4.2. IMAGENS DOS BUFFERS E INTERFACES

Para uma análise inicial, buffers variados foram realizados no município de Palmas – TO. Foram utilizadas combinações de buffers com base nos limites das legislações da França, Itália, Portugal e Espanha, semelhante a Modugno, et al. (2016) e nas legislações atualizadas discutidas no capítulo 04 destes mesmos países. A escolha dessas combinações foi planejada para abranger diferentes graus de rigor e cobertura, de modo a fornecer uma análise abrangente e comparativa sobre a interação entre áreas urbanas e florestais na criação do limite da interface tal como se mostra na Tabela 13.

Nas figuras desta seção, IUF = interseção dos buffers (urbano × combustível); a representação não inclui o interior contínuo da mancha urbana nem o interior contínuo dos combustíveis

Tabela 13 – Definições IUF nos países Europeus; França, Itália, Portugal e Espanha.

Países	Distâncias IUF adotadas	Lei de referência
França	100 m de assentamento urbano; 200 m ao redor de áreas de vegetação.	Lei Florestal Francesa 9/Julho/2002
Itália	50-200 m de áreas urbanas; 200 m a 400 m ao redor de áreas de vegetação, dependendo da região local.	Lei Quadro sobre incêndios florestais 2000/353 e planos regionais.
Portugal	100 m de áreas urbanas; 200 m em torno de áreas de vegetação, zona prioritária de intervenção.	Lei florestal nacional contra os incêndios florestais 30 de Junho 156/2004.
Espanha	50 a 100 m ao redor de áreas urbanas; 100 m a 400 m ao redor de áreas de vegetação, dependendo da região local.	Lei de Montes 43/2003 e planos regionais.

Fonte: Modugno, et al., (2016)

A combinação de 200 metros da área urbana e 400 metros da área florestal representa os limites mais rigorosos disponíveis, inspirados nos parâmetros da França e da Itália. Esta abordagem maximiza a cobertura, capturando uma maior área de interseção e permitindo uma análise mais detalhada das zonas de interface que podem ser mais suscetíveis a incêndios. Utilizando os maiores buffers disponíveis,

assegura-se que as áreas críticas não sejam negligenciadas, proporcionando uma visão ampla e detalhada dos possíveis riscos.

A combinação de 100 metros da área urbana e 200 metros da área florestal é uma abordagem equilibrada, adotada por países como França e Portugal. A combinação de 50 metros da área urbana e 100 metros da área florestal reflete os limites mais restritos utilizados na Espanha. Essa combinação para focar em áreas mais próximas das interações diretas entre zonas urbanas e florestais.

A combinação de 200 metros da área urbana e 200 metros da área florestal representa um meio-termo rigoroso, inspirado nos parâmetros mais elevados adotados pela Itália. Esta configuração permite uma análise equilibrada, capturando áreas urbanas e florestais significativas sem ser excessivamente extensa.

Por fim, a combinação de 50 metros da área urbana e 200 metros da área florestal combina a abordagem restrita para áreas urbanas com uma maior cobertura para áreas florestais, como adotado pela Itália e Espanha. A escolha dessas cinco combinações permite uma análise abrangente e comparativa das interfaces urbano-florestais, contemplando diferentes graus de rigor e extensão.

Os buffers definidos nas legislações citadas foram aplicados em Palmas – TO em formato geopackage, e apenas uma combinação foi escolhida para replicação nos demais municípios. A escolha de Palmas como referência deve-se a fatores específicos: (i) o município apresenta a maior área urbana e artificial do estado, com intensa expansão sobre áreas de Cerrado, o que torna crítica a definição da IUF; (ii) a análise revelou elevada ocorrência de áreas queimadas na interface urbano-florestal de Palmas, evidenciando sua vulnerabilidade frente ao fogo; e (iii) a capital dispõe de bases cartográficas mais completas e atualizadas, condição que possibilitou maior precisão na sobreposição entre áreas artificiais, áreas combustíveis, IUF determinada e áreas queimadas. Esses fatores justificam a seleção de Palmas como parâmetro metodológico para aplicação dos buffers ao conjunto de municípios estudados, como demonstra a Tabela 14 e a Figura 22.

Tabela 14 – Áreas dos buffers e da IUF (interseção dos buffers urbano × combustível) em Palmas–TO

IUF	Área Artificial		Área Combustível		IUF		
	Buffer (m)	Área (ha)	Buffer (m)	Área (ha)	Área (ha)	Área Queimada (ha)	%
1	200	19.297,00	400	218.109,03	18.081,01	2.733,67	15,12
2	100	15.958,33	200	208.511,85	11.891,68	1.704,46	14,33
3	50	14.027,51	100	202.457,77	7.418,60	1.098,74	14,81
4	200	19.297,00	200	208.511,85	15.234,62	2.679,10	17,59
5	50	14.027,51	200	208.511,85	9.958,25	1.171,36	11,76

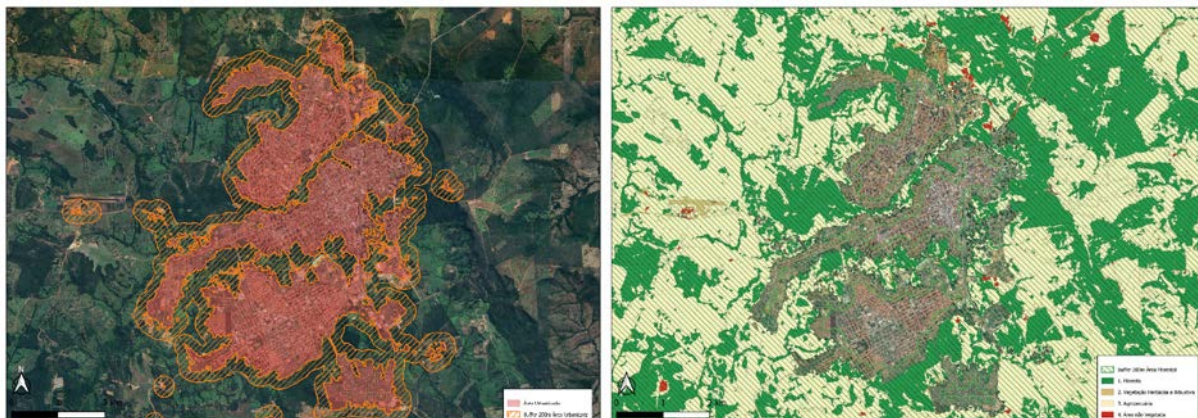


Figura 22 –Exemplo de buffers e IUF (Paraíso do Tocantins). IUF = interseção dos buffers; não inclui o interior da mancha urbana nem o interior contínuo dos combustíveis. Fonte: Elaboração própria (2025) com dados MapBiomas (2024).

A análise dos diferentes buffers apresentados na tabela revela que a configuração 200x200 metros para a interface urbano-florestal (IUF) se destacou em termos de proporção de área queimada, com um valor de 17,59%.

O buffer 200x400 metros, que combina uma área artificial de 200 metros com uma área combustível de 400 metros, apresentou uma porcentagem de área queimada de 15,12%. Embora este valor também seja elevado, ele se refere a uma área de IUF significativamente maior (18.081,01 ha), o que sugere que, embora a área total de IUF seja maior, a distribuição do fogo dentro dessa área foi mais dispersa. Isto pode indicar que, apesar de capturar uma porção maior do território, o buffer 200x400 não consegue focar com precisão nas áreas de maior interação e risco entre as áreas urbanas e florestais, diluindo a proporção de área queimada.

Por outro lado, o buffer 200x200, com uma área total de IUF de 15.234,62 ha, parece equilibrar de maneira mais eficaz a abrangência territorial e a concentração de risco. O percentual mais elevado de 17,59% sugere uma maior concentração de focos de incêndio em relação ao tamanho da IUF, o que pode ser interpretado como uma delimitação mais precisa das zonas de contato entre os elementos urbanos e os combustíveis vegetais. Isso é especialmente relevante em áreas onde a proximidade e a intensidade das interações são cruciais para a propagação do fogo.

Em comparação com buffers menores, como 50x100 metros ou 100x200 metros, que apresentaram menores porcentagens de área queimada (14,81% e 14,33%, respectivamente), o buffer 200x200 oferece uma área de IUF suficientemente ampla para capturar as principais dinâmicas de risco, ao mesmo tempo em que mantém elevada sensibilidade espacial para o contato urbano-combustível (17,59% da área da IUF com cicatrizes), evitando a diluição proporcional observada no 200x400 (15,12%), cuja maior extensão de IUF tende a dispersar os focos dentro da área analisada. Além disso, essa escolha proporciona uma melhor representação das áreas de interface com maior suscetibilidade ao fogo, facilitando a identificação e a gestão de pontos críticos. Do ponto de vista metodológico, a combinação 200x200 m também se alinha às faixas regulatórias europeias sistematizadas por Modugno et al. (2016), oferecendo um compromisso consistente entre cobertura territorial e especificidade do sinal de risco. Portanto, a escolha do buffer 200x200 se justifica não apenas pelo valor absoluto mais elevado de porcentagem de área queimada, mas pelo equilíbrio entre (i) alinhamento com referências normativas internacionais e (ii) capacidade de focalizar as interações que favorecem a propagação do fogo no contexto de Palmas. Ressalte-se que o uso da maior proporção de área queimada como critério é aqui um indicador operacional para esta tese e não uma regra universal de superioridade entre parâmetros de buffer.

5.5. ESTATÍSTICAS APLICADAS

Para a realização das estatísticas após a definição dos Buffers e produção do Shapefile em formato Geopackage da interface, foram produzidos: Shapefiles da cicatriz de cada município em polígonos separados para cada ano; Shapefile das cicatrizes na interface urbano florestal de cada município para cada ano; Shapefile das cicatrizes na Interface urbano florestal unificada (2020 a 2023) sem repetição de áreas (ou seja, sem sobreposição, mesmo que aquela área tenha queimado em mais de uma oportunidade foi contabilizada apenas uma vez); Shapefile das cicatrizes de cada município unificada (2020 a 2023). Em seguida as áreas queimadas tiveram a extração dos seus centroides gerando um novo Shapefile dos centroides de cada cicatriz do município unificada (2020 a 2023) e, por fim, Shapefile da Interface com a filtragem para a minimização de ruídos estatísticos.

5.5.1. ÁREAS QUEIMADAS DENTRO DOS LIMITES DOS MUNICÍPIOS E SUAS RESPECTIVAS IUF

A partir dos levantamentos realizados foram produzidos dados para área queimada do estado e área queimada por município, geral e em área de interface: Área total queimada em ha (ha), Quantidade de incêndios por unidade (uni), Média em área (ha), Mediana em área (ha), Maior área de incêndios (ha), Menor área de incêndios (ha), Quartil 1 e Quartil 3, IQR (Intervalo interquartil).

A área total queimada em ha (ha) representa a quantidade total de terra queimada devido a incêndios em um determinado ano, medida em ha, o que corresponde ao impacto total dos incêndios na área do município durante o período especificado. A Quantidade de incêndios por unidade (uni) é o número total de incêndios que ocorreram no município durante o ano e é uma medida da frequência dos incêndios. Esta medida não foi apresentada para as áreas de interface pois o recorte dessas áreas sobre as cicatrizes subdivide os polígonos de forma a apontar números fora da realidade.

A média em área (ha): é uma medida estatística que representa o valor médio da área queimada por incêndio. É calculada dividindo a área total queimada pelo número total de incêndios, logo é uma medida de tendência central que representa o valor típico de um conjunto de dados. Simples e intuitiva é interessante para resumir dados, no entanto é sensível a valores extremos (outliers), que podem distorcer a representação central do conjunto de dados (David; Christopher; Mine, 2015).

A Mediana em área (ha) é o valor central dos dados ordenados da menor para a maior área queimada por incêndio. Ou seja, metade dos incêndios têm uma área queimada menor ou igual à mediana, e a outra metade tem uma área queimada maior ou igual à mediana. Essa medida não é afetada por valores extremos, proporcionando uma tendência central mais robusta para distribuições assimétricas ou com outliers (David; Christopher; Mine, 2015).

A Maior área de incêndio (área queimada) (ha) é o maior valor de área queimada registrado entre todos os incêndios ocorridos no município durante o ano em questão. A Menor área de incêndio (ha): que é o menor valor de área queimada registrado entre todos os incêndios ocorridos no município durante o ano em questão.

O primeiro quartil (Q1) separa os 25% menores valores dos outros 75%; o segundo quartil (Q2), que é a mediana, separando os 50% menores dos 50% maiores valores; e o terceiro quartil (Q3), que separa os 75% menores valores dos 25% maiores. Os quartis são úteis para entender a dispersão e a distribuição dos dados (David; Christopher; Mine, 2015).

O IQR (Intervalo interquartil) trata-se de uma medida de dispersão estatística que indica a amplitude dos dados dentro do intervalo que contém a metade central dos dados quando ordenados, ou seja, é a diferença entre o terceiro e o primeiro quartil ($Q3 - Q1$), e é frequentemente utilizada para identificar outliers e entender a variabilidade dos dados (David; Christopher; Mine, 2015).

A análise estatística que inclui quartil 1, quartil 3 e IQR, é útil para entender a distribuição dos dados e identificar a presença de valores extremos. O IQR é calculado subtraindo o quartil 1 do quartil 3.

Posteriormente é feita, semelhante a Modugno et al. (2016), uma classificação dos incêndios por tamanho, essa categorização torna-se necessária para posterior análise estatística e é crucial para entender as dinâmicas de incêndios na região e para direcionar esforços de prevenção e combate de maneira mais eficaz.

Aqui, foi considerado como pequenos incêndios aqueles a que corresponde uma área ardida até 5 ha (ha), médios incêndios os com área maior a 5 ha (ha) até 40 ha (ha) e grandes incêndios aqueles com mais de 40 ha (ha) de área queimada. Cabe ressaltar que quanto aos pequenos incêndios, é possível que o aprimoramento da metodologia de determinação de cicatrizes de queimadas, que com o ajuste constante do algoritmo busca suprimir os chamados “ruídos”, tenha eliminado consideravelmente áreas pequenas que de fato não eram cicatrizes de queimadas, gerando assim a drástica queda entre o primeiro ano e o segundo na análise dos municípios estudados.

5.5.2. MAPEAMENTO DOS PADRÕES DE TAMANHO DE INCÊNDIOS PELA DISTÂNCIA À INTERFACE URBANA-FLORESTAL (IUF)

A IUF é a área crítica para a análise de incêndios, pois é a região onde a interação entre atividades humanas e vegetação pode aumentar o risco de incêndios florestais, exigindo atenção especial nas estratégias de prevenção e combate ao fogo. Com esses dados, pode-se entender melhor como a proximidade entre áreas urbanas e florestais influencia a ocorrência de incêndios e o impacto potencial desses eventos na realidade de cada município. Esta análise pode sugerir a necessidade de medidas diferenciadas de gestão e monitoramento para mitigar riscos, proteger as comunidades e conservar os ecossistemas florestais.

Uma análise estatística, com base no trabalho de Modugno, et al. (2016) foi realizada para identificar relações entre o conjunto de dados do município estudado quanto às superfícies queimadas e à distância até à área de interface urbano-florestal (IUF) mais próxima. Uma operação de filtragem foi aplicada para reduzir o ruído estatístico nos dados, causado por áreas de interface consideradas pequenas e isoladas, de forma que a distância em relação ao incêndio será calculada para a área de interface principal do município.

Foi utilizado um modelo de regressão logística (LoR) para modelar a relação entre as áreas queimadas e a variável explicativa independente, que é a distância até o IUF mais próximo. Esse modelo determina a probabilidade de presença ou ausência da variável dependente, de acordo com o tipo de área queimada, com base nos valores da variável independente, “essa metodologia estatística tem sido aplicada na análise de risco de incêndios florestais, onde a variável dependente é representada por diferentes variáveis, como: densidade de áreas queimadas (Martinez, et al., 2009), presença de áreas queimadas (Vilar, et al., 2010), ou pontos de ignição (Badia, et al., 2011)” Modugno, et al. (2016).

Modugno et al. (2016) explicam que esse modelo “pode expressar a probabilidade em um intervalo de 0 a 1, utilizando a área sob a curva Receiver-Operating Characteristic (ROC)” (Kedem e Fokianos, 2005; Kleinbaum e Klein, 2010). A curva ROC consiste em um método estatístico amplamente empregado para avaliar o desempenho de modelos de classificação, permitindo mensurar a capacidade de discriminação entre eventos ocorridos e não ocorridos. Conforme estabelecido por Modugno et al. (2016), o limiar de discriminação é usualmente definido em 0,5, acima do qual se considera existir forte correlação entre a variável analisada e o evento observado.

Neste estudo, foram realizadas três análises distintas, correspondentes aos diferentes tipos de áreas queimadas: Grandes Superfícies, Médias Superfícies e Pequenas Superfícies. Para cada análise, foi adotada a lógica binária de classificação: quando a ocorrência se enquadrava no critério de determinada categoria, era atribuído o valor 1, ao passo que todas as demais categorias recebiam o valor 0. Assim, no caso da análise das Grandes Superfícies queimadas, por exemplo, todas as áreas que atendiam a esse critério foram codificadas como 1, enquanto as médias e pequenas superfícies foram codificadas como 0. O mesmo procedimento foi repetido para as análises de Médias e Pequenas Superfícies, garantindo comparabilidade entre as diferentes categorias de áreas queimadas (Figura 23).

De modo semelhante ao adotado por Modugno et al. (2016), as queimadas foram transformadas em pontos por meio da extração dos centroides dos polígonos. Essa generalização metodológica permite simplificar a análise espacial, convertendo polígonos complexos em representações pontuais e viabilizando a contagem do número de ocorrências em função do tipo de área queimada. Dessa forma, cada centroide corresponde a uma ocorrência de área queimada, classificada conforme sua dimensão em Grandes, Médias ou Pequenas Superfícies, permitindo a aplicação direta da métrica baseada na curva ROC para avaliar o desempenho do modelo em discriminar os diferentes cenários de queimada.

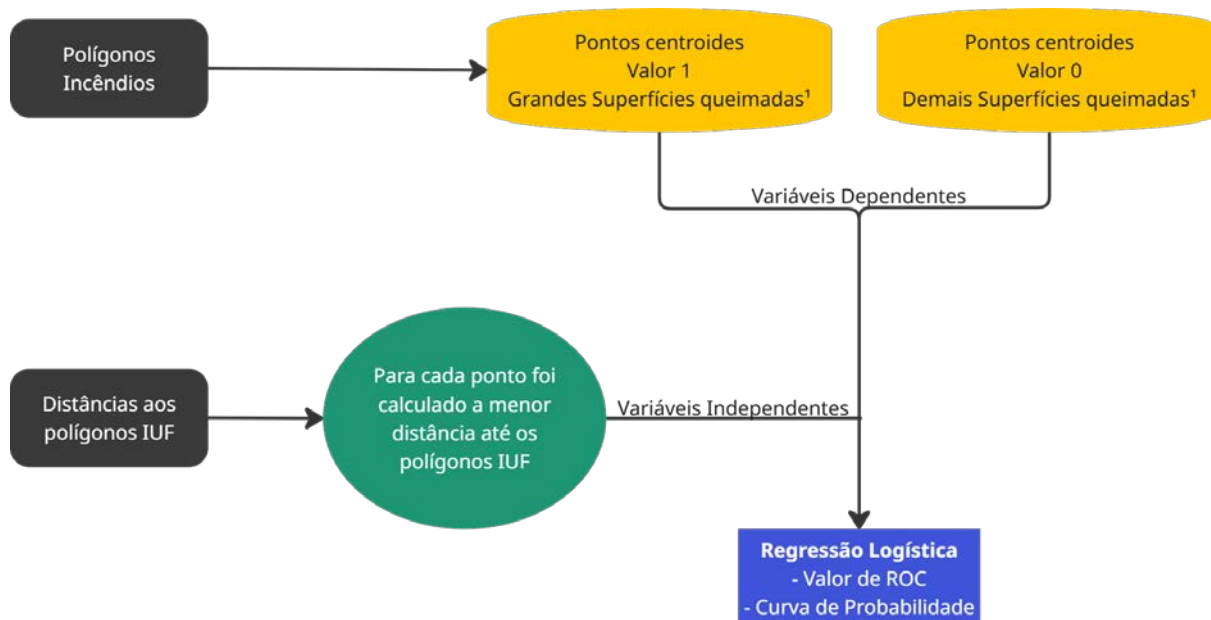


Figura 23 – Esquema utilizado para realizar a Regressão Logística³ do mapeamento das grandes superfícies queimadas

³ Para a realização da estatística esta etapa foi repetida três vezes, em um primeiro momento separando as Grandes Superfícies queimadas, em seguida valorando as Médias Superfícies queimadas com valor 1 e as demais com valor 0, e o mesmo processo para as Pequenas superfícies queimadas.

5.5.3. ANÁLISE DAS CICATRIZES DE QUEIMADA DENTRO DA IUF SEGUNDO O USO DO SOLO

Com o objetivo de compreender a interação entre o fogo e a ocupação do território, procedeu-se à análise das cicatrizes de queimada ocorridas exclusivamente no interior das interfaces urbano-florestais (IUF) previamente delimitadas. O procedimento metodológico foi estruturado em duas etapas principais: preparação dos dados e análise geoespacial.

Na primeira etapa, as cicatrizes de queimada registradas entre 2020 e 2023 foram reunidas e integradas em um único arquivo geoespacial por meio de processamento no software QGIS. Paralelamente, os dados de uso e cobertura do solo disponibilizados pelo MapBiomas foram acessados e tratados com o auxílio do Toolkit da plataforma Google Earth Engine (GEE).

Foram consideradas cinco categorias principais de nível 1 do MapBiomas, adotadas como referência para esta análise: Floresta; Vegetação Herbácea e Arbustiva; Agropecuária; Área Não Vegetada; Corpo d'Água.

Na sequência, aplicou-se a operação de sobreposição (intersect) entre as cicatrizes de queimada e os limites das IUF, cruzando os resultados com as classes de uso e cobertura do solo. Esse procedimento permitiu quantificar e espacializar as áreas queimadas dentro das interfaces delimitadas, gerando um conjunto de dados em formato geopackage que detalha a ocorrência de queimadas entre 2020 e 2023 por categoria de uso do solo.

Cada categoria foi posteriormente detalhada pelas suas subclasses específicas:

- Floresta: Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável e Restinga Arbórea.
- Vegetação Herbácea e Arbustiva: Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso e Restinga Herbácea.
- Agropecuária: Pastagem; Agricultura (Lavoura Temporária – soja, cana, arroz, algodão e outras culturas temporárias; Lavoura Perene – café, citrus, dendê e outras culturas perenes; Silvicultura; e Mosaico de Usos.
- Área Não Vegetada: Área Não Vegetada, Praia, Duna e Areal, Área Urbanizada, Mineração, Usina Fotovoltaica e Outras Áreas Não Vegetadas.
- Corpo d'Água: Rio, Lago e Oceano, Aquicultura e Não Observado.

Esse cruzamento metodológico possibilitou mensurar a incidência de queimadas nas diferentes tipologias de uso do solo dentro da IUF, fornecendo uma leitura integrada sobre a dinâmica do fogo em áreas de transição urbano-florestal. Dessa forma, a análise constitui um insumo fundamental para a interpretação dos resultados apresentados no Capítulo 6.

As imagens da Interface Urbano-Florestal (IUF) de cada município encontram-se reunidas no Anexo I. Para a cidade de Palmas, além da visualização integral do território, é apresentada uma representação cartográfica detalhada, incluindo a sobreposição da IUF com as cicatrizes de queimadas unificadas e as classes de uso do solo.

6.

RESULTADOS DA ANÁLISE DO PADRÃO DE INCÊNDIOS NOS PRINCIPAIS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO TOCANTINS

Todos os dados referentes ao Estado do Tocantins e aos municípios neste capítulo comentados foram retirados da última atualização disponível do relatório publicado pela Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DIGIT) da Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN) do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2021), complementadas e atualizadas com os dados do censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022. Cabe ressaltar que o ano de 2021, apresentou muitas nuvens na região norte no período analisado o que prejudicou o mapeamento da cicatriz de vários municípios.

6.1. ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL (MORAN'S I E LISA)

Aqui emprega-se o Índice de Moran global e o LISA para testar se a distribuição municipal da variável “área queimada” apresenta dependência espacial entre os 19 municípios analisados. A hipótese nula é de aleatoriedade espacial; valores positivos de Moran indicam agrupamento (municípios com valores semelhantes próximos), e valores próximos de zero, ausência de padrão espacial detectável. A vizinhança espacial considerou contiguidade municipal (queen, ordem 1) e a inferência por permutações.

O Índice de Moran Global (Figura 24b) apresentou valor de $I = 0,909$, indicando forte autocorrelação espacial positiva entre os municípios analisados. Ou seja, em relação à hipótese nula de aleatoriedade, houve padrão claro de agrupamento em 2020.

A análise LISA (Figura 24c) identificou dois padrões locais: um cluster Alto-Alto na região da Ilha do Bananal e um cluster Baixo-Baixo em Monte do Carmo. A significância local (Figura 24d) confirma esses padrões (Ilha do Bananal: $p = 0,01$; Monte do Carmo: $p = 0,05$). O mapa de distribuição das cicatrizes (Figura 24a) evidencia a heterogeneidade espacial, com extensas áreas queimadas na Ilha do Bananal e menor intensidade em municípios como Monte do Carmo. Portanto, a análise documenta concentração espacial (clusters), não homogeneidade.

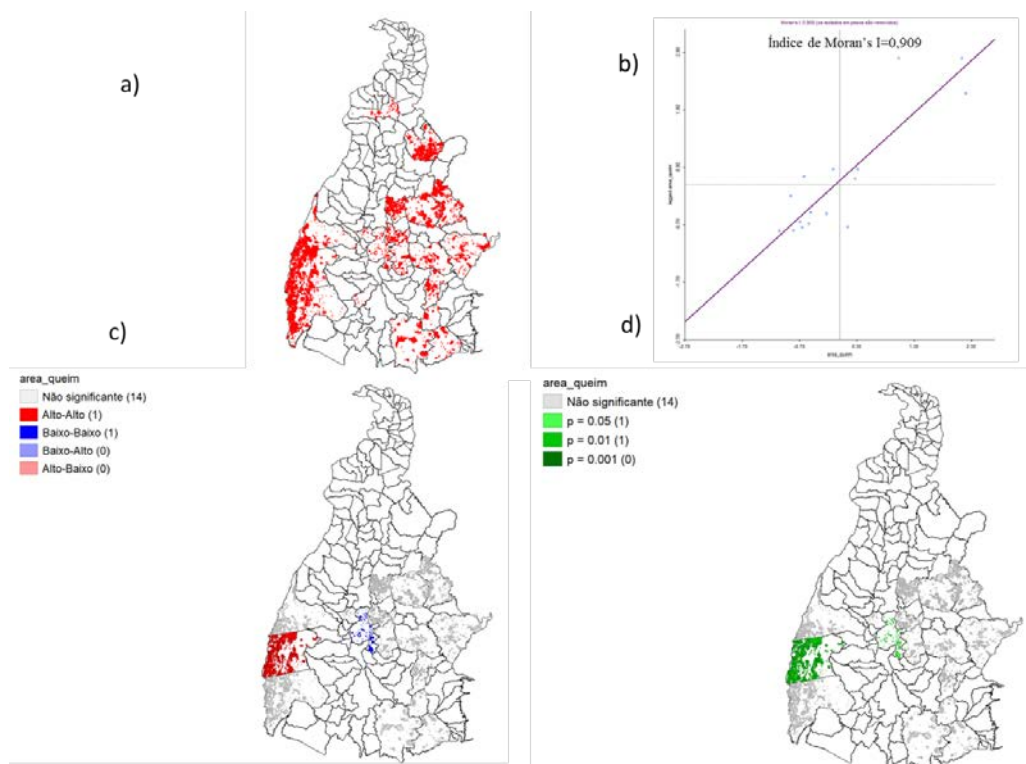


Figura 24 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2020. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em vermelho) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,909$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Alto e Baixo-Baixo; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.

O mapa de distribuição das cicatrizes (Figura 24a) evidencia visualmente essa heterogeneidade espacial: enquanto regiões como a Ilha do Bananal concentram extensas áreas queimadas, outros municípios, como Monte do Carmo, apresentam menor intensidade do fenômeno. Essa heterogeneidade reforça que, no contexto da interface urbano-florestal (IUF), os riscos de incêndio não são homogêneos, mas concentrados em áreas críticas.

A Em 2021, a distribuição concentrou-se no sudoeste e em áreas centrais (Figura 25a). O Índice de Moran Global foi $I = 0,812$ (Figura 25b), indicando forte autocorrelação espacial positiva. O LISA (Figura 25c) voltou a indicar um cluster Alto-Alto na Ilha do Bananal e um Baixo-Baixo em Monte do Carmo. A significância local (Figura 25d) mostra $p = 0,05$ para ambos, confirmando os agrupamentos. Entre 2020 e 2021, as áreas críticas e de baixa incidência permaneceram estáveis (Ilha do Bananal vs. Monte do Carmo).

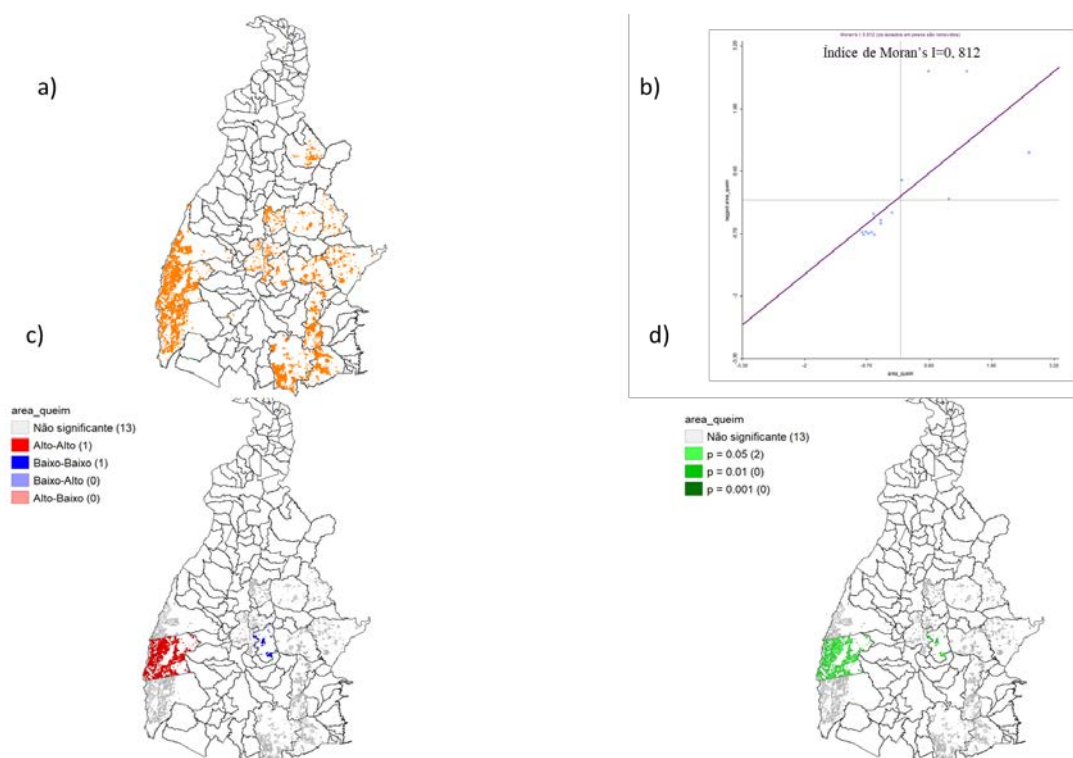


Figura 25 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2021. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em Laranja) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,812$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Alto e Baixo-Baixo; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.

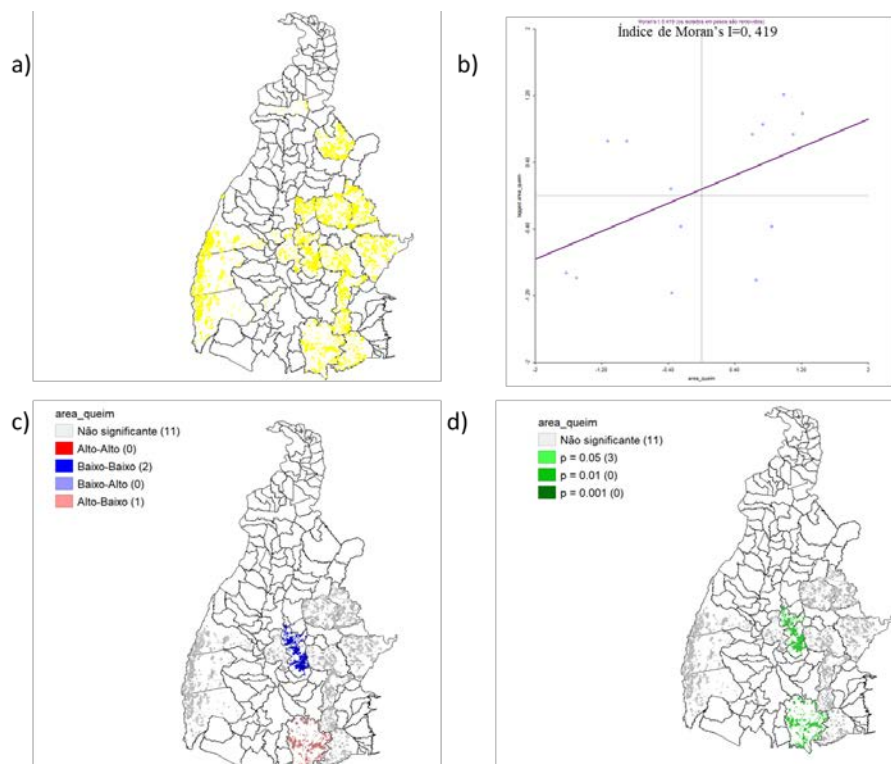


Figura 26 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2022. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em Amarelo) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,419$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Baixo e Baixo-Baixo; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.

Em 2022, observou-se distribuição mais dispersa, com maior ocorrência no centro e sudeste (Figura 26a). O Índice de Moran Global foi $I = 0,419$ (Figura 26b), indicando autocorrelação espacial positiva moderada. O LISA (Figura 26c) identificou Palmas e Monte do Carmo como Baixo-Baixo e Paranã como Alto-Baixo; a significância local (Figura 26d) confirmou esses padrões com $p = 0,05$.

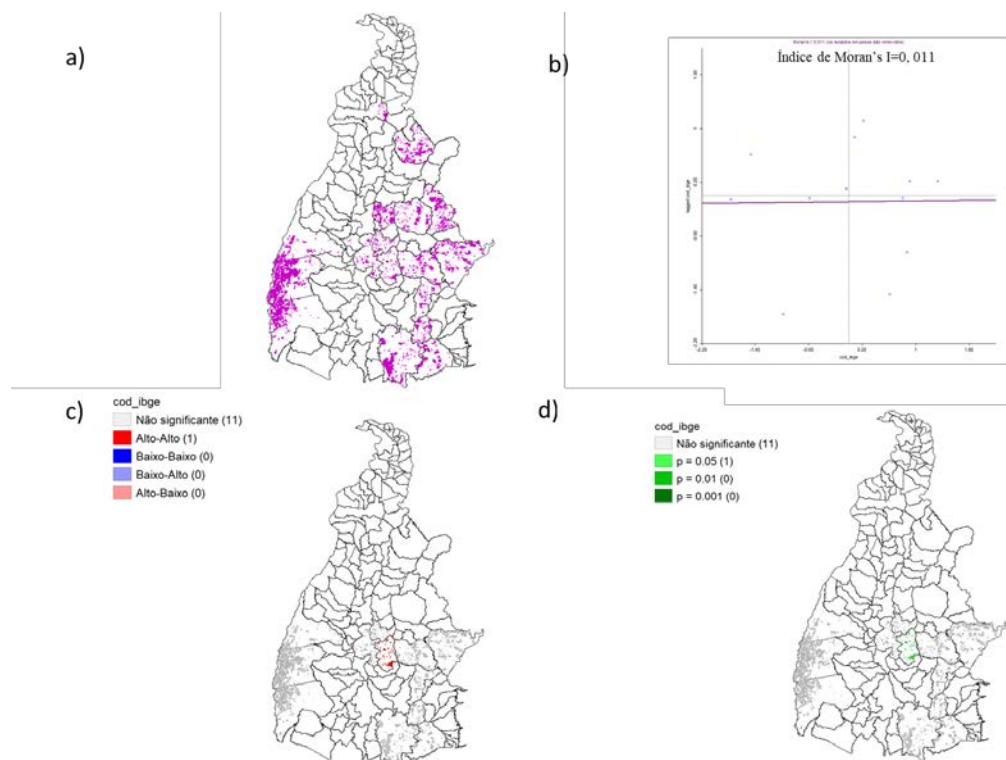


Figura 27 - Análise espacial das queimadas em 19 municípios do Estado do Tocantins no ano de 2023. a) Distribuição das cicatrizes de queimadas (em Roxo) sobre os limites municipais; b) Diagrama de dispersão do Índice de Moran Global ($I = 0,011$); c) Mapa LISA, evidenciando os agrupamentos locais (clusters) do tipo Alto-Alto; d) Mapa de significância estatística (p-valor) das áreas analisadas.

Em 2023, a distribuição apresentou ocorrências em diferentes regiões, com maior concentração no sudoeste e centro (Figura 27a). O Moran Global foi $I = 0,011$ (Figura 27b), sugerindo ausência de autocorrelação espacial global detectável. Ainda assim, o LISA (Figura 27c) detectou um hotspot local (Alto-Alto) em Monte do Carmo, confirmado com $p = 0,05$ (Figura 27d). Portanto, em 2023 não há dependência espacial no agregado, mas existe agrupamento local relevante.

Entre 2020 e 2023, a dependência espacial global da área queimada diminuiu (Moran $0,909 \rightarrow 0,011$), mas persistiram concentrações locais detectadas pelo LISA — Ilha do Bananal (2020–2021), Paranã e Monte do Carmo (2022) e Monte do Carmo (2023). A análise não visa demonstrar homogeneidade; ela identifica quando e onde a distribuição municipal se organiza em clusters, informação útil para priorização territorial de prevenção e fiscalização.

6.2. PALMAS

O município de Palmas, capital do Estado do Tocantins, foi fundado em 20 de maio de 1989 e oficialmente instalado em 1º de janeiro de 1990. Fundado por José Wilson Siqueira Campos, Palmas destaca-se como um dos principais centros urbanos do bioma Cerrado, com área territorial de 2.218 km². Com população estimada em 313.349 habitantes em 2021, a cidade apresenta densidade demográfica de

102,5 habitantes por km², conforme o censo de 2010. A população urbana é predominante, com 97,1% dos habitantes vivendo em áreas urbanizadas, e a maioria se identifica como parda.

Os indicadores sociais de Palmas refletem um desenvolvimento significativo, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,788 em 2010, classificado como alto. Este índice é composto por subíndices de longevidade (0,827), educação (0,749) e renda (0,789). No entanto, ainda há desafios sociais a serem superados, como a existência de 7% das famílias em condição de pobreza extrema, 23% em pobreza absoluta, e 49% vivendo com até um salário-mínimo, evidenciando a necessidade de políticas públicas direcionadas a redução das desigualdades sociais na capital do estado.

No aspecto econômico, Palmas se destaca com um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 9.425.131,95 em 2018, correspondendo a um PIB per capita de R\$ 32.293,89. O setor de serviços é o mais significativo (metade das empresas em 2021 estavam nesse setor), respondendo por R\$ 6.942.297 do valor adicionado bruto, seguido pela indústria com R\$ 1.148.712 e a agropecuária com R\$ 51.055. A produção agrícola, embora menos expressiva, inclui culturas importantes como soja, milho e mandioca. Em termos de emprego formal, Palmas registrou 75.145 postos de trabalho em 2020.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Palmas também apresentam indicadores positivos. A taxa de alfabetização em 2010 era de 96,4%, um dado que reforça o avanço educacional do município. Na saúde, Palmas conta com uma rede de estabelecimentos que inclui hospitais e unidades básicas de saúde, com 6.345 nascimentos e 1.305 óbitos registrados em 2019. No que tange ao saneamento básico, a maior parte da população tem acesso a abastecimento de água e esgotamento sanitário adequados. O consumo de energia elétrica em 2020 atingiu 573.085 MWh, com 124.256 consumidores registrados. Apesar do progresso em várias áreas, o município enfrenta desafios ambientais, como os focos de queimadas, que indicam a necessidade de ações voltadas para a preservação ambiental.

6.2.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PALMAS

A análise dos incêndios no município de Palmas entre os anos de 2020 e 2023 revela variações significativas, tanto na frequência dos eventos, quanto na extensão das áreas queimadas. Em 2020, Palmas registrou 325 incêndios, resultando em uma área total queimada de 32.857,10 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 101,10 ha, enquanto a mediana ficou em 5,87 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno a médio porte. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 4.297,78 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,01 hectare. O intervalo interquartil (IQR) de 21,68 ha sugere uma concentração de incêndios menores, com algumas ocorrências de maior magnitude.

No ano de 2021, o número de incêndios diminuiu para 94, com uma área total queimada de 10.056,90 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 106,99 ha, refletindo a presença de incêndios mais extensos em comparação ao ano anterior. A mediana subiu para 19,02 ha, sugerindo uma maior diversidade nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio do ano cobriu 2.143,22 ha, enquanto o menor afetou 4,53 ha. O IQR de 37,68 ha evidencia uma variação significativa nas áreas queimadas, com uma distribuição mais ampla dos tamanhos dos incêndios.

Em 2022, o município registrou 230 incêndios, totalizando uma área queimada de 25.152,60 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 109,36 ha, e a mediana ficou em 8,90 ha, sugerindo uma predominância de incêndios de porte médio. O maior incêndio registrado no ano atingiu 7.355,56 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,03 hectare. O IQR de 29,31 ha indica uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios, com uma distribuição relativamente ampla entre os diferentes eventos.

Em 2023, foram registrados 191 incêndios, com uma área total queimada de 4.498,31 ha. A média de área por incêndio foi de 23,55 ha, enquanto a mediana ficou em 4,62 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores, com poucas ocorrências de maior magnitude. O maior incêndio

registrado no ano abrangeu 578,04 ha, enquanto o menor afetou 1,02 hectare. O IQR de 11,13 ha reflete uma distribuição concentrada em incêndios de pequeno a médio porte.

Ao longo dos quatro anos analisados, Palmas apresentou flutuações tanto na quantidade quanto na magnitude dos incêndios (Tabela 15). O ano de 2020 foi marcado por uma maior quantidade de incêndios menores, enquanto 2022 se destacou pela ocorrência de grandes incêndios. Já 2021 e 2023 apresentaram uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho. Esses dados são essenciais para o planejamento de estratégias de prevenção e combate, considerando as diferentes características dos incêndios em cada período e buscando minimizar os danos causados por esses eventos no município. A Figura 28 mostra a área acumulada de queima no espaço territorial do município de Palmas-TO.

Tabela 15 – Incêndios no município de Palmas por ano

Ano	Incêndios Palmas								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	32.857,10	325	101,10	5,87	4297,78	0,01	2,83	24,51	21,68
2021	10.056,90	94	106,99	19,02	2143,22	4,53	8,84	46,52	37,68
2022	25.152,60	230	109,36	8,90	7355,56	0,03	3,85	33,16	29,31
2023	4.498,31	191	23,55	4,62	578,04	1,02	1,94	13,07	11,13

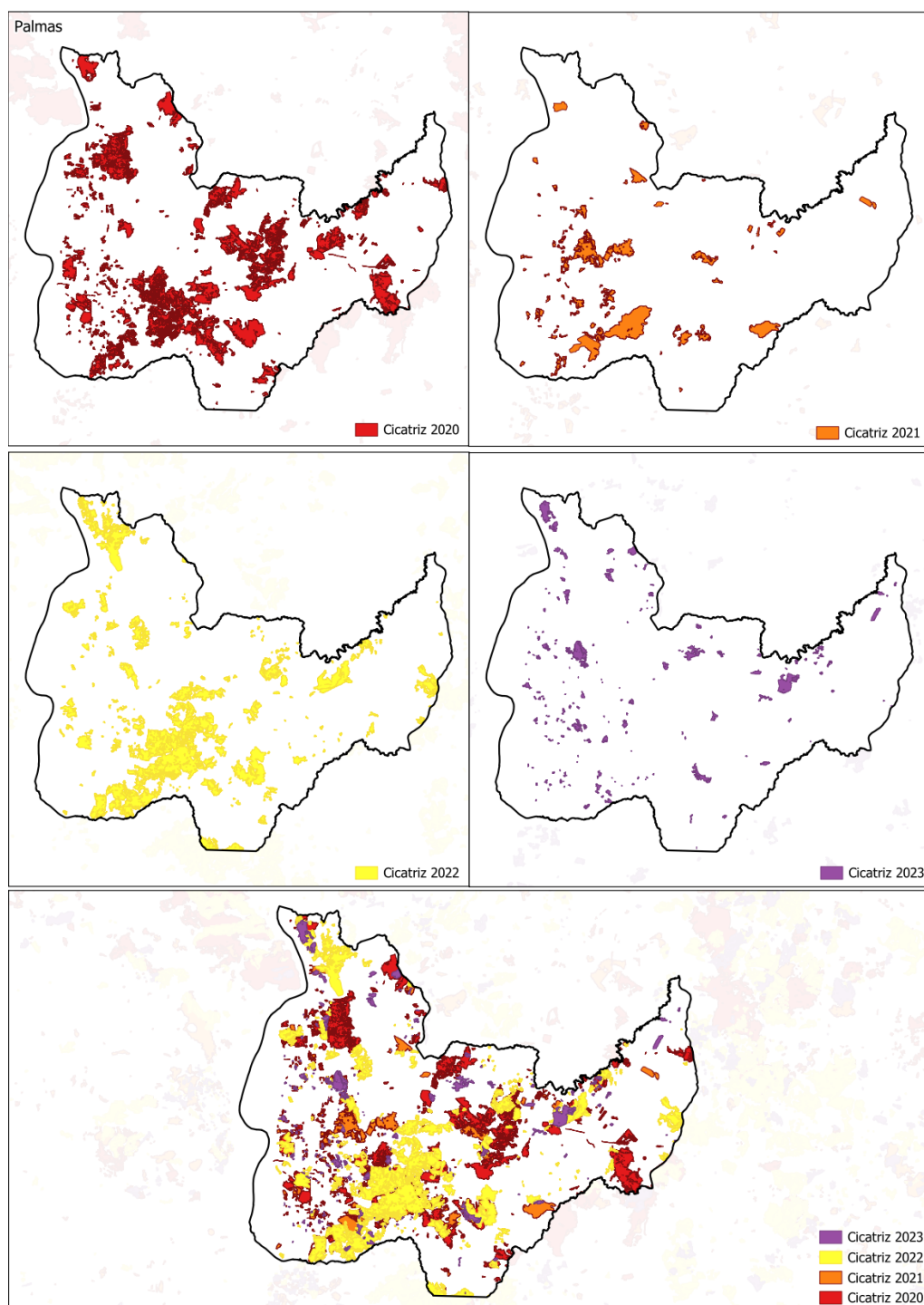


Figura 28 – Cicatrizes de incêndios para o município de Palmas por ano, entre os anos de 2020 e 2023.

6.2.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PALMAS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Palmas entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela tendências distintas na ocorrência e impacto desses eventos (Tabela 16).

Em 2020, a maior parte da área queimada foi resultante de grandes incêndios, que representaram 93,07% da área total queimada (30.580,60 ha) e 16,62% do número total de incêndios, com 54 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 5,72% da área queimada (1.878,04 ha) e 37,54% do total

de incêndios, com 122 registros. Já os pequenos incêndios, embora numerosos, representaram apenas 1,21% da área queimada (398,49 ha) e 45,85% das ocorrências, totalizando 149 incêndios.

No ano de 2021, houve uma mudança significativa, com uma redução acentuada na área total queimada. Os grandes incêndios continuaram a predominar em termos de área, representando 89,75% (9.025,93 ha) da área total, embora constituíssem apenas 28,72% do total de incêndios, com 27 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio representaram 10,21% da área queimada (1.026,45 ha) e 70,21% das ocorrências, com 66 incêndios. Pequenos incêndios foram raros, possivelmente devido ao ajuste da metodologia de determinação das cicatrizes de queimadas como comentado no capítulo 05, com apenas uma ocorrência, representando 0,05% da área queimada (4,53 ha).

Em 2022, grandes incêndios continuaram a ser a principal causa da área queimada, com 93,22% do total (23.447,40 ha) e 23,04% do número de incêndios, com 53 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 5,91% da área queimada (1.486,35 ha) e 43,91% das ocorrências, com 101 incêndios. Pequenos incêndios aumentaram em número, representando 33,04% das ocorrências, com 76 incêndios, mas apenas 0,87% da área queimada (218,83 ha).

Em 2023, houve uma relativa uniformidade na distribuição das áreas queimadas entre as categorias de incêndios, embora os grandes incêndios ainda representassem a maior parte da área queimada, com 72,56% do total (3.263,93 ha) e 12,57% do número de incêndios, com 24 ocorrências. Incêndios médios representaram 22,55% da área queimada (1.014,27 ha) e 36,13% das ocorrências, com 69 registros. Pequenos incêndios foram os mais numerosos, representando 51,31% do total de incêndios, com 98 ocorrências, mas apenas 4,89% da área queimada (220,11 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, nota-se uma variação significativa tanto na distribuição dos incêndios por tamanho quanto na proporção da área queimada. Em 2020, os grandes incêndios dominaram amplamente em termos de área queimada, representando mais de 93% da área total, uma tendência que se manteve em 2022, com uma proporção semelhante. No entanto, em 2021, houve uma leve diminuição na proporção de área queimada por grandes incêndios, embora eles ainda tenham sido a principal causa da devastação. Já em 2023, a participação relativa dos grandes incêndios na área total queimada diminuiu ainda mais, caindo para cerca de 72%, enquanto os incêndios médios e pequenos ganharam mais relevância em termos de frequência, especialmente os pequenos incêndios, que representaram mais de 51% do total de ocorrências. Essa variação ao longo dos anos sugere uma mudança na dinâmica dos incêndios, com uma possível redução na magnitude dos grandes incêndios, seguida por um aumento na frequência de eventos de menor porte.

Tabela 16 – Descrição Incêndios em Palmas por tamanho e ano

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	398,49	1,21	149	45,85	1878,04	5,72	122	37,54	30.580,60	93,07	54	16,62
2021	4,53	0,05	1	1,06	1.026,45	10,21	66	70,21	9.025,93	89,75	27	28,72
2022	218,83	0,87	76	33,04	1.486,35	5,91	101	43,91	23.447,40	93,22	53	23,04
2023	220,11	4,89	98	51,31	1.014,27	22,55	69	36,13	3.263,93	72,56	24	12,57

6.2.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PALMAS

A tabela apresentada descreve as informações sobre a interface urbano-florestal (IUF) em Palmas, especificamente considerando a área artificial (urbana), a área combustível (florestal), e a própria área de interseção (IUF), com base em um buffer de 200 metros para ambas as áreas.

Em Palmas, a área artificial totaliza 19.297,44 ha, enquanto a área combustível abrange 208.511,85 ha. A área de interseção, ou IUF, que representa a zona onde as áreas urbana e florestal se encontram, ocupa 15.214,14 ha (Tabela 17).

Tabela 17– Informações das áreas do Buffer e IUF - Palmas

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	19.297,44	208.511,85	15.214,14

A análise dos incêndios ocorridos dentro da Interface Urbano-Florestal (IUF) em Palmas entre os anos de 2020 e 2023 revela variações tanto na extensão das áreas queimadas quanto na frequência dos eventos. Em 2020, foram registrados 181 incêndios, totalizando uma área queimada de 1.525,31 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 8,43 ha, enquanto a mediana ficou em 3,53 ha, indicando que muitos incêndios foram de menor porte. O maior incêndio do ano abrangeu 80,84 ha, enquanto o menor afetou 0,48 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 6,16 ha sugere uma concentração de incêndios menores, com algumas exceções de maior magnitude.

Em 2021, o número de incêndios diminuiu para 58, com uma área total queimada de 755,15 ha. A média de área queimada por incêndio aumentou para 13,02 ha, refletindo a ocorrência de incêndios ligeiramente maiores. A mediana subiu para 7,67 ha, e o maior incêndio do ano cobriu 86,91 ha. O menor incêndio afetou 0,49 ha, e o IQR de 10,35 ha evidencia uma maior dispersão dos tamanhos dos incêndios em comparação ao ano anterior.

No ano de 2022, foram registrados 63 incêndios, totalizando uma área queimada de 755,56 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 11,99 ha, e a mediana ficou em 5,80 ha, sugerindo uma leve redução no porte médio dos incêndios em relação a 2021. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 96,68 ha, enquanto o menor afetou 0,53 ha. O IQR de 13,07 ha indica uma maior variação nos tamanhos dos incêndios, com uma distribuição mais ampla entre os diferentes eventos.

Em 2023, o número de incêndios aumentou para 74, com uma área total queimada de 414,61 ha. A média de área por incêndio foi de 5,60 ha, e a mediana ficou em 3,45 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 50,30 ha, enquanto o menor afetou 0,48 ha. O IQR de 3,50 ha reflete uma concentração maior de incêndios pequenos, com menos variação no porte dos eventos.

Esses dados mostram uma variação nos padrões de incêndios dentro da IUF em Palmas ao longo dos anos analisados, com uma tendência geral de redução nas áreas queimadas e na magnitude dos incêndios em 2023, em comparação aos anos anteriores (Tabela 18).

Tabela 18 – Incêndios em Palmas dentro da IUF (200x200)

Ano	Incêndios IUF (200x200) Palmas								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	1.525,31	181	8,43	3,53	80,84	0,48	2,19	8,35	6,16
2021	755,15	58	13,02	7,67	86,91	0,49	3,40	13,74	10,35
2022	755,56	63	11,99	5,80	96,68	0,53	1,95	15,02	13,07
2023	414,61	74	5,60	3,45	50,30	0,48	1,84	5,34	3,50

A análise dos incêndios no município de Palmas e especificamente dentro de sua Interface Urbano-Florestal (IUF) entre os anos de 2020 e 2023 evidencia tanto a proporção da área da IUF queimada quanto a relação da área total queimada no município frente à sua extensão territorial.

Em 2020, a IUF registrou 1.525,31 ha queimados, o que correspondeu a 10,03% de sua área total. No mesmo ano, o município teve 32.857,10 ha queimados, equivalentes a 14,75% de sua área territorial, configurando o pico do período analisado.

Em 2021, a área queimada dentro da IUF caiu para 755,15 ha, representando 4,96% de sua extensão, enquanto no município foram 10.056,90 ha queimados, equivalentes a 4,52% do território municipal.

No ano de 2022, embora a área da IUF atingida tenha se mantido estável em 755,56 ha (4,97% de sua área), o município como um todo voltou a registrar valores elevados, com 25.152,60 ha queimados, correspondendo a 11,29% de sua área.

Em 2023, houve a menor proporção de áreas queimadas do período analisado. Na IUF foram 414,61 ha, equivalentes a 2,73% de sua área, enquanto no município foram registrados 4.498,31 ha queimados, representando 2,02% do território.

É importante ressaltar que a última linha da Tabela 19 apresenta apenas o somatório das áreas queimadas no período (3.450,62 ha na IUF e 72.564,91 ha no município). Esses valores não devem ser interpretados como porcentagens acumuladas, uma vez que há sobreposição de cicatrizes de incêndio entre os anos.

Para complementar a análise, foi elaborada a Tabela 20, que apresenta dois indicadores comparativos inéditos: (i) a porcentagem da área queimada dentro da IUF em relação à área queimada total no município (4,76%); e (ii) a porcentagem da área total da IUF em relação à área total do município (6,86%). Esses indicadores permitem avaliar simultaneamente a importância territorial da IUF e sua representatividade no conjunto dos incêndios ocorridos em Palmas. Embora a IUF corresponda a 6,86% do território municipal, apenas 4,76% da área queimada entre 2020 e 2023 ocorreu em seu interior. Isso sugere que, proporcionalmente, a IUF tem sido menos atingida pelo fogo em comparação a outras áreas do município; ainda assim, constitui uma zona estratégica devido à proximidade entre áreas urbanas e combustíveis florestais.

Tabela 19 – Incêndios no município de Palmas e sua IUF por ano

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Palmas	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	1.525,31	10,03	32.857,10	14,75
2021	755,15	4,96	10.056,90	4,52
2022	755,56	4,97	25.152,60	11,29
2023	414,61	2,73	4.498,31	2,02
2020 á 2023	3.450,62 ha		72.564,91 ha	

Tabela 20 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Palmas

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
4,76	6,86

A Tabela 21 apresenta a distribuição das áreas queimadas dentro da IUF de Palmas, entre 2020 e 2023, de acordo com as classes de uso e cobertura do solo (níveis 1 e 2 do MapBiomias). Observa-se predominância de queimadas na Formação Savânica (1.113,56 ha) e em áreas de Pastagem (1.078,53 ha), seguidas pelas Áreas Urbanizadas (578,54 ha) e pelas Outras Áreas Não Vegetadas (478,09 ha). Tipologias como Formação Florestal, Lavoura Temporária, Mosaico de Usos, Campo Alagado e Área Pantanosa e Mineração apresentaram valores menores, enquanto algumas não registraram ocorrências

no período. Esses resultados indicam que o fogo alcança tanto ambientes naturais quanto áreas antrópicas, reforçando a diversidade de contextos afetados dentro da IUF.

Tabela 21 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo - Palmas

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	138,04
	Formação Savânica	1.113,56
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	17,10
	Formação Campestre	0,00
Agropecuária	Pastagem	1.078,53
	Lavoura Temporária	26,35
	Mosaico de Usos	14,10
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	578,54
	Outras Áreas não Vegetadas	478,09
	Mineração	6,32

6.2.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF- PALMAS

A análise dos dados de regressão logística para a Interface Urbano-Florestal (IUF) de Palmas revela uma tendência clara na probabilidade de ocorrência de incêndios (Tabela 22), confirmada pelos valores de ROC acima de 0,5 para todos os tamanhos de incêndios. Incêndios de grande porte têm um ROC de 0,56 e uma probabilidade de 13,86%, indicando uma menor frequência desses eventos, possivelmente associada tanto a fatores de manejo quanto a condições ambientais. Para incêndios médios, o ROC é de 0,53 com uma probabilidade de 38,42%, sugerindo que esses são mais comuns, provavelmente por estarem associados a fatores como a proximidade de atividades humanas. Já os incêndios pequenos, com um ROC de 0,55 e uma probabilidade de 47,78%, são os mais frequentes, possivelmente devido à presença de material combustível e condições climáticas. Esses resultados apontam para a necessidade de estratégias de manejo adaptadas para diferentes tamanhos de incêndios, focando no controle e resposta rápida, especialmente para os incêndios de menor porte.

Tabela 22 – Dados da Regressão Logística para IUF Palmas por tamanho

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,56	13,86
Médio	0,53	38,42
Pequeno	0,55	47,78

O gráfico da Figura 29 mostra a evolução da probabilidade de incêndios em função da distância da IUF. A linha amarela indica que os incêndios pequenos têm maior probabilidade inicial nas áreas próximas à interface, mas essa probabilidade diminui progressivamente à medida que a distância aumenta, sugerindo maior concentração de eventos de pequeno porte nas zonas mais antropizadas.

Já os incêndios médios, representados pela linha vermelha, apresentam tendência clara de crescimento contínuo conforme aumenta a distância da IUF, superando a probabilidade dos incêndios pequenos a

partir de aproximadamente 20 km. Esse comportamento sugere que áreas intermediárias e mais afastadas, com vegetação menos manejada, oferecem condições favoráveis à propagação de incêndios de porte médio.

Por sua vez, os incêndios grandes (linha azul) têm probabilidade inicial baixa, mas crescem gradualmente com a distância, ainda que se mantenham sempre abaixo das demais categorias. Esse padrão reforça a associação desses eventos a áreas mais distantes da interface, onde há maior acúmulo de material combustível e menor presença de barreiras antrópicas.

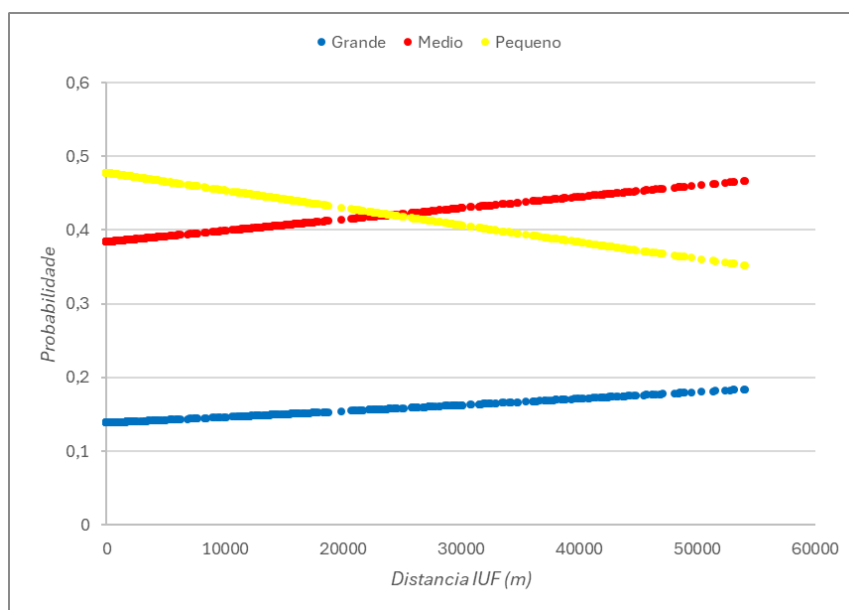


Figura 29 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Palmas

As intersecções entre as curvas evidenciam pontos críticos na transição da predominância dos tamanhos dos incêndios: próximos à IUF, os pequenos predominam; em distâncias intermediárias, os médios se tornam mais frequentes; e, em áreas mais distantes, a probabilidade de incêndios grandes aumenta. Essa dinâmica reforça a complexidade das interações entre fatores humanos e ambientais na ocorrência dos incêndios em Palmas.

6.3. ARAGUAÍNA

Araguaína, município situado no norte do Estado do Tocantins, foi fundado em 1876 e oficialmente instalado em 1º de janeiro de 1959. Com uma área territorial de 4.000 km², o município abrange os biomas Cerrado e Amazônia, refletindo uma diversidade ecológica significativa. Em 2021, a população estimada era de 186.245 habitantes, resultando em uma densidade de 37,6 habitantes por km², o que demonstra um crescimento populacional contínuo. A urbanização no município é expressiva, com 95% dos moradores vivendo em áreas urbanas, refletindo um desenvolvimento urbano consolidado.

Os dados sociais de Araguaína mostram avanços importantes na qualidade de vida. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) era de 0,752 em 2010, categorizando o município como de alto desenvolvimento humano, com progressos em longevidade, educação e renda. Entretanto, persistem desafios sociais significativos: em 2010, 10% das famílias estavam em situação de extrema pobreza, 33% viviam em condições de pobreza absoluta e 66% tinham rendimentos de até um salário-mínimo.

Na esfera econômica, Araguaína registrou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 4.387.503,32 mil em 2018, correspondendo a um PIB per capita de R\$ 24.715,96. A economia local é diversificada, com atividades expressivas nos setores de serviços, indústria e agropecuária. Em 2021, o município possuía 14.921 empresas, das quais 44% estavam concentradas no setor de serviços. A agricultura também é relevante, com destaque para o cultivo das culturas de soja, milho e mandioca, além de existir um saldo positivo de 2.524 empregos formais no mesmo ano, indicando um mercado de trabalho em crescimento.

Os serviços públicos e a infraestrutura de Araguaína também apresentam indicadores positivos. A taxa de alfabetização era de 92,1% em 2010, demonstrando um avanço significativo na educação. Em termos de saúde, o município registrou 4.201 nascimentos e 1.060 óbitos em 2019, e dispõe de uma infraestrutura hospitalar capaz de atender a demanda local. O abastecimento de água e o esgotamento sanitário são adequados para a maioria da população, e o consumo de energia elétrica em 2020 atingiu 266.263 MWh, com 70.013 consumidores registrados.

6.3.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA

A análise dos dados referentes aos incêndios ocorridos no município de Araguaína entre os anos de 2020 e 2023 revela variações significativas na frequência e na extensão das áreas afetadas ao longo desse período (Tabela 23). Em 2020, foram registrados 172 incêndios, totalizando uma área queimada de 19.222,50 ha. A média da área afetada por incêndios nesse ano foi de 111,76 ha, com a mediana indicando que metade dos incêndios queimou menos de 10,58 ha. O maior incêndio registrado nesse período abrangeu 5.432,58 ha, enquanto o menor cobriu apenas 0,03 ha. A distribuição dos tamanhos dos incêndios em 2020 apresentou um intervalo interquartil (IQR) de 30,10 ha, sugerindo uma concentração de incêndios menores, mas com alguns eventos de grande magnitude.

O ano de 2021 destacou-se pela ausência de registros de incêndios no município, resultando em valores nulos para todos os indicadores, o que contrasta com os outros anos analisados. Este dado poderia refletir a eficácia das políticas de prevenção ou condições ambientais favoráveis que impediram a ocorrência de incêndios, no entanto, o mais provável é que a ausência de registros decorra de limitações na detecção por imagens de satélite (ex.: cobertura de nuvens), e não da inexistência de incêndios.

Em 2022, houve o registro de 41 incêndios, que resultaram em uma área total de 5.452,19 ha queimados. A média de área afetada por incêndio aumentou para 132,98 ha, enquanto a mediana foi de 19,55 ha, indicando que a maioria dos incêndios teve uma área queimada relativamente menor, mas a presença de incêndios de maior porte elevou a média geral. O maior incêndio em 2022 cobriu 1.370,18 ha, e o menor incêndio afetou 0,05 ha. O intervalo interquartil desse ano foi de 91,94 ha, refletindo uma maior dispersão na distribuição dos tamanhos dos incêndios.

No ano de 2023, foram registrados 72 incêndios, com uma área total de 10.004,96 ha queimados. A média de área queimada por incêndio foi a mais alta do período analisado, chegando a 138,96 ha. No entanto, a mediana caiu para 5,18 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi relativamente pequena, embora alguns eventos de grande magnitude, como um incêndio que abrangeu 6.261,08 ha, tenham influenciado a média. O menor incêndio registrado neste município em 2023 cobriu 1,06 ha. O intervalo interquartil desse ano foi de 18,67 ha, apontando para uma distribuição concentrada em incêndios de menor porte.

Tabela 23 – Incêndios no município de Araguaína por ano no período 2020 a 2023

Ano	Incêndios Araguaína								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	19.222,50	172	111,76	10,58	5432,58	0,03	3,93	34,03	30,10
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	5.452,19	41	132,98	19,55	1370,18	0,05	10,46	102,40	91,94
2023	10.004,96	72	138,96	5,18	6261,08	1,06	2,15	20,82	18,67

Ao longo dos quatro anos analisados, observa-se uma variação significativa tanto na quantidade de incêndios quanto nas áreas afetadas, com ênfase na diferença entre os anos de 2020 e 2023, quando houve mais incêndios de menor porte, e os anos de 2022 e 2023, que, embora com menos incêndios, registraram uma média de área queimada mais elevada (Figura 30).

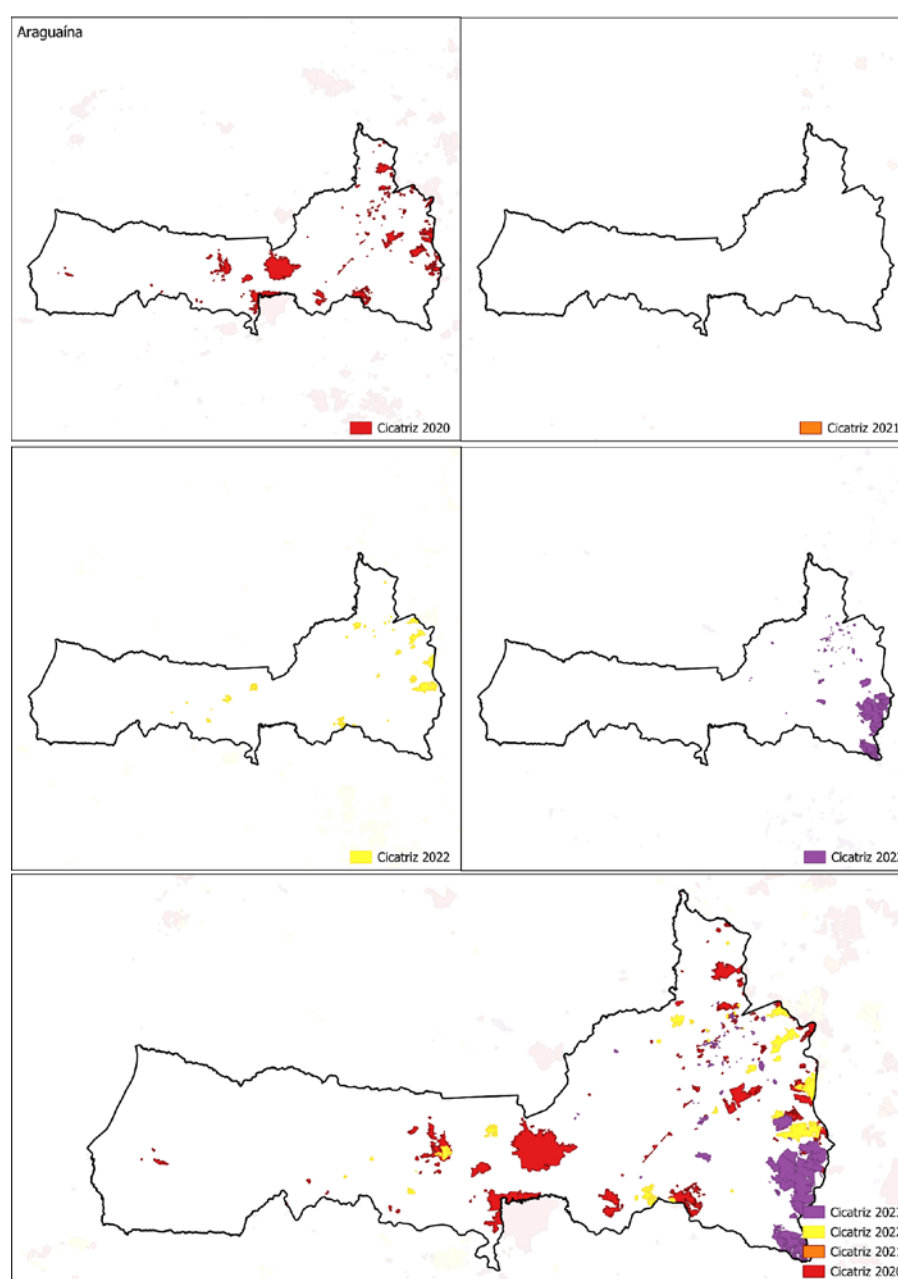


Figura 30 – Cicatrizes de incêndios para o município de Araguaína por ano

6.3.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - ARAGUAÍNA

A análise dos dados referentes aos incêndios em Araguaína entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela tendências distintas na ocorrência e impacto desses eventos. Em 2020, os grandes incêndios dominaram a paisagem, representando 92,26% da área total queimada (17.734,10 ha) e 20,93% do número total de incêndios, com 36 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 7,25% da área queimada (1.392,86 ha) e foram responsáveis por 50% dos eventos, com 86 registros. Já os pequenos incêndios, apesar de representarem 29,07% do total de ocorrências com 50 incêndios, impactaram apenas 0,50% da área queimada (95,54 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios continuaram a ser a principal causa da área queimada, representando 93,72% do total (5.109,93 ha) e 36,59% do número de incêndios, com 15 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 5,94% da área queimada (324,04 ha) e representaram 46,34% das ocorrências, com 19 registros. Pequenos incêndios, embora menos frequentes, representaram 17,07% das ocorrências com 7 incêndios, mas impactaram apenas 0,33% da área queimada (18,22 ha).

Em 2023, os grandes incêndios voltaram a predominar, representando 95,43% da área total queimada (9.548,06 ha) e 15,28% do total de incêndios, com 11 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,72% da área queimada (372,56 ha) e foram responsáveis por 34,72% das ocorrências, com 25 registros. Os pequenos incêndios foram os mais numerosos, representando 50% do total de incêndios, com 36 ocorrências, mas afetaram apenas 0,84% da área queimada (84,34 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, nota-se que os grandes incêndios, consistentemente, dominaram a área total queimada em Araguaína, com uma participação especialmente alta em 2023. O ano de 2021, sem registros de incêndios, é uma exceção notável. Os incêndios de tamanho médio mantiveram uma presença constante em termos de frequência, especialmente em 2022, enquanto os pequenos incêndios, embora numerosos em 2020 e 2023, tiveram um impacto muito menor na área total queimada (Tabela 24). Esses dados sugerem uma tendência de concentração da devastação em poucos grandes eventos, com os incêndios menores e médios contribuindo mais para a frequência do que para a extensão dos danos.

Tabela 24 – Descrição Incêndios em Araguaína por tamanho e ano no período 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	95,54	0,50	50	29,07	1.392,86	7,25	86	50,00	17.734,10	92,26	36	20,93
2021	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00
2022	18,22	0,33	7	17,07	324,04	5,94	19	46,34	5.109,93	93,72	15	36,59
2023	84,34	0,84	36	50,00	372,56	3,72	25	34,72	9.548,06	95,43	11	15,28

6.3.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - ARAGUAÍNA

A Tabela 25, que descreve as áreas do Buffer e da Interface Urbano-Florestal (IUF) no município de Araguaína, oferece um panorama detalhado das diferentes zonas de risco em relação aos incêndios. A área artificial, que corresponde às áreas urbanizadas do município, abrange 10.678,71 ha. Já a área combustível, representando as zonas com vegetação suscetível a queimadas, é significativamente maior, totalizando 461.895,40 ha. Dentro dessa dinâmica, a área da IUF, que é a região de maior risco devido à proximidade entre as zonas urbanas e as áreas de vegetação, cobre 7.612,17 ha.

Tabela 25 - Informações das áreas do Buffer e IUF - Araguaína

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	10.678,71	461.895,40	7.612,17

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Araguaína entre os anos de 2020 e 2023 destaca a variação na intensidade e na extensão dos incêndios ao longo dos anos, refletindo diferentes dinâmicas e desafios na gestão do risco de incêndios nessa área crítica (Tabela 26).

Em 2020, Araguaína registrou 51 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 309,85 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 6,08 ha, enquanto a mediana foi de 3,00 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de pequeno a médio porte. O maior incêndio registrado nesse ano abrangeu 34,85 ha, enquanto o menor não causou dano significativo, com uma área queimada de 0,00 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 8,84 ha indica uma variação considerável no tamanho dos incêndios, com uma concentração maior nos extremos menores e maiores.

Em 2022, os incêndios voltaram a ocorrer, com 14 eventos registrados, totalizando uma área queimada de 79,19 ha. A média de área por incêndio foi de 5,66 ha, e a mediana ficou em 4,39 ha, indicando uma leve redução no porte dos incêndios em comparação a 2020. O maior incêndio nesse ano abrangeu 18,73 ha, enquanto o menor foi de 0,01 ha. O IQR de 7,26 ha sugere uma menor dispersão nos tamanhos dos incêndios, com uma maior concentração em torno da mediana.

Em 2023, o número de incêndios aumentou para 44, com uma área total queimada de 183,90 ha. A média de área por incêndio foi de 4,18 ha, e a mediana ficou em 2,46 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 29,21 ha, enquanto o menor, novamente, não causou danos significativos (0,00 ha). O IQR de 2,08 ha reflete uma menor variabilidade no tamanho dos incêndios, com uma concentração maior em torno dos valores menores.

Esses dados mostram que, embora os incêndios dentro da IUF em Araguaína tenham variado em frequência e extensão ao longo dos quatro anos, houve uma tendência geral de predominância de incêndios de menor porte, especialmente em 2023.

Tabela 26 – Incêndios em Araguaína dentro da IUF (200x200)

Ano	Incêndios IUF (200x200) Araguaína								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	309,85	51	6,08	3,00	34,85	0,00	0,61	9,45	8,84
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	79,19	14	5,66	4,39	18,73	0,01	1,12	8,38	7,26
2023	183,90	44	4,18	2,46	29,21	0,00	1,30	3,38	2,08

A análise dos incêndios no município de Araguaína e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 destaca a relação entre a área total queimada no município e a área afetada dentro da interface (Tabela 27).

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 309,85 ha, representando 4,07% da área de interface, enquanto a área total queimada no município foi de 19.222,50 ha, equivalente a 4,80% da área territorial municipal.

No ano de 2022, a IUF registrou 79,19 ha queimados (1,04% da área de interface), frente a 5.452,19 ha no município (1,36% da área municipal). Já em 2023, foram contabilizados 183,90 ha na IUF (2,42%) e 10.004,96 ha no município (2,50%). O ano de 2021 não apresentou registros de incêndios.

No período total de 2020 a 2023, foram registrados 572,93 ha de queimadas na IUF e 34.679,65 ha no município. A última linha da tabela apresenta apenas os valores absolutos acumulados, sem cálculo de porcentagens, já que podem existir áreas sobrepostas entre anos distintos.

Para complementar essa leitura, a Tabela 28 apresenta dois indicadores comparativos: (i) a porcentagem da área queimada na IUF em relação à área queimada total do município (1,65%); e (ii) a porcentagem da área da IUF em relação à área territorial do município (1,90%). Esses dados permitem observar que, embora a IUF corresponda a apenas 1,90% do território de Araguaína, concentrou 1,65% do total de áreas queimadas no período analisado. Essa proximidade entre os valores sugere que a ocorrência de incêndios na IUF está em proporção compatível à sua representatividade territorial, reforçando a relevância dessa zona de transição para o planejamento de ações de prevenção.

Tabela 27 – Incêndios no município de Araguaína e sua IUF por ano no período 2020 a 2023

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Araguaína	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	309,85	4,07	19.222,50	4,80
2021	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	79,19	1,04	5.452,19	1,36
2023	183,90	2,42	10.004,96	2,50
2020 á 2023	572,93 ha		34.679,65 ha	

Tabela 28 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Araguaína

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
1,65	1,90

Na IUF de Araguaína, as queimadas concentraram-se principalmente em áreas de Pastagem (254,00 ha), Áreas Urbanizadas (151,79 ha) e Formação Savânica (110,92 ha). Outras tipologias apresentaram valores menores, como Formação Florestal (30,01 ha), Outras Áreas Não Vegetadas (13,95 ha) e Mosaico de Usos (10,03 ha), além de registros pontuais em Floresta Alagável e Campo Alagado. Algumas categorias não apresentaram ocorrências no período (Tabela 29). Esses resultados indicam que o fogo afetou de forma relevante tanto áreas produtivas quanto zonas urbanizadas, além de formações típicas do Cerrado.

Tabela 29 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo - Araguaína

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	30,01
	Formação Savânica	110,92
	Floresta Alagável	1,11
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,93
	Formação Campestre	0,20
Agropecuária	Pastagem	254,00
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	10,03
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	151,79
	Outras Áreas não Vegetadas	13,95
	Mineração	0,00

6.3.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-ARAGUAÍNA

A análise da regressão logística para a IUF de Araguaína revela uma maior tendência de ocorrência de incêndios de grande e médio porte, conforme indicado pelos valores de ROC acima de 0,5. Incêndios grandes possuem um ROC de 0,57 e uma probabilidade de 30,15%, indicando que, embora menos frequentes que os médios, têm relevância inicial maior nas proximidades da IUF. Incêndios médios, por sua vez, mostram um ROC de 0,55 e uma probabilidade de 40,17%, sugerindo que tendem a ser os mais comuns na IUF de Araguaína. Esse cenário pode estar relacionado com a combinação de intervenções humanas moderadas e características naturais da vegetação.

Os incêndios médios possuem ROC de 0,55 e probabilidade de 40,17%, confirmando-se como os mais comuns e com crescimento contínuo à medida que aumenta a distância da interface. Já os incêndios pequenos apresentam ROC de 0,49, abaixo do limite de discriminação, e probabilidade de 30,26%, mantendo comportamento relativamente estável, mas com leve tendência de queda com a distância. (Tabela 30).

Tabela 30 – Dados da Regressão Logística para IUF Araguaína por tamanho

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,57	30,15
Médio	0,55	40,17
Pequeno	0,49	30,26

Na Figura 31, observa-se que a probabilidade de incêndios grandes (linha azul) é relativamente alta nas áreas próximas à IUF, mas diminui de forma progressiva com o aumento da distância, reforçando que esses eventos são mais prováveis em regiões próximas à interface urbano-florestal. Já os incêndios médios (linha vermelha) apresentam probabilidade inicial próxima a 0,40, mas crescem de maneira constante, tornando-se a categoria predominante em áreas mais distantes da IUF. Os incêndios pequenos (linha amarela), por sua vez, mantêm-se em patamares intermediários, com leve queda gradual ao longo da distância, sem predominar em nenhum ponto do gradiente.

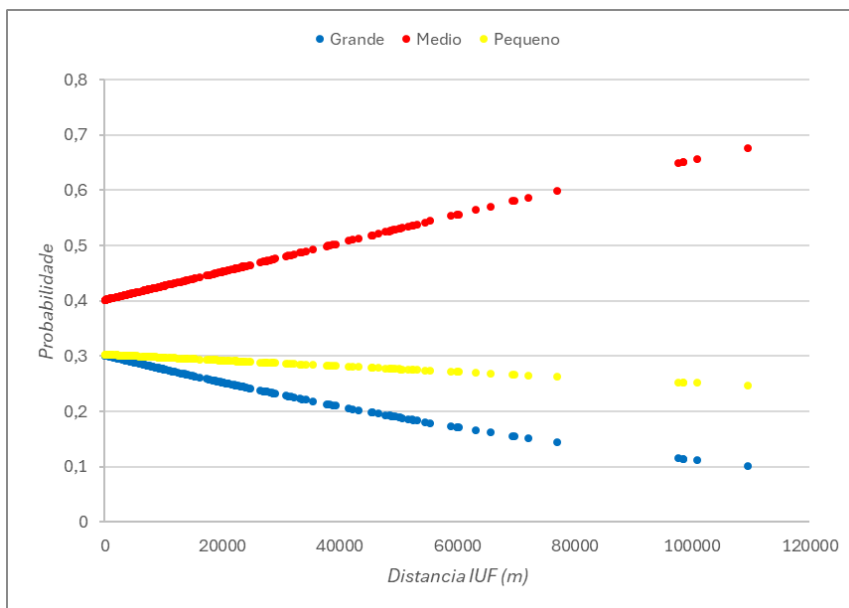


Figura 31 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Araguaína

De forma integrada, as curvas de probabilidade mostram que, em Araguaína, incêndios grandes são mais prováveis próximos à IUF, incêndios médios passam a predominar à medida que a distância aumenta, e os pequenos mantêm-se relativamente constantes, mas em menor expressão relativa. Essa dinâmica reforça a importância de estratégias diferenciadas de manejo, que contemplem tanto o controle de grandes incêndios em áreas próximas à interface quanto a vigilância sobre os médios, que se tornam mais relevantes em regiões afastadas.

6.4. GURUPI

O município de Gurupi, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 1951 e instalado oficialmente em 14 de novembro de 1958, tendo como fundador Benjamin Rodrigues Nogueira. Situado em uma área territorial de 1.839 km² e inserido no bioma Cerrado, Gurupi possui uma população estimada em 88.428 habitantes em 2021. A densidade demográfica registrada no censo de 2010 foi de 41,6 habitantes por km², com uma taxa de urbanização de 97,7%, indicando muita concentração populacional em áreas urbanas.

Os indicadores sociais de Gurupi revelam um desenvolvimento humano significativo, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,759 em 2010, classificado como alto. Esse índice é desagregado em longevidade (0,843), educação (0,706) e renda (0,736), refletindo avanços importantes em qualidade de vida. No entanto, a cidade ainda enfrenta desafios sociais, com 7% das famílias vivendo em pobreza extrema, 27% em pobreza absoluta e 60% com rendimentos de até um salário-mínimo, de acordo com dados de 2010.

Na economia, Gurupi apresenta um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 2.202.619,84 mil em 2018, o que corresponde a um PIB per capita de R\$ 25.690,42. A economia local é diversificada, com o setor de serviços predominando, representando R\$ 1.743.469 mil do valor adicionado bruto, seguido pela indústria com R\$ 153.377 mil e a agropecuária com R\$ 39.305 mil. Em 2021, o município contava com 8.778 empresas, sendo 41% no setor de serviços. A produção agrícola inclui culturas como soja, milho e mandioca, e o mercado de trabalho formal registrou 13.585 empregos no mesmo ano, refletindo crescimento.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Gurupi também apresentam dados relevantes. A taxa de alfabetização era de 94,1% em 2010, evidenciando o avanço educacional no município. Na saúde, Gurupi registrou 1.426 nascimentos e 474 óbitos em 2019, com uma infraestrutura hospitalar adequada para atender a demanda local. Em termos de saneamento básico, a maior parte da população tem acesso. O consumo de energia elétrica em 2020 foi de 143.418 MWh, com 37.732 consumidores registrados.

6.4.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE GURUPI

A análise dos dados no município de Gurupi entre 2020 e 2023 demonstra variações na quantidade de eventos e na extensão das áreas queimadas (Tabela 31), refletindo a dinâmica desse tipo de ocorrência na região. Em 2020, Gurupi registrou 60 incêndios, totalizando uma área queimada de 1.804,23 ha. A média da área afetada por incêndio foi de 30,07 ha, com a mediana indicando que metade dos incêndios envolveu áreas menores que 7,55 ha. O maior incêndio nesse ano atingiu 602,70 ha, enquanto o menor foi de 1,09 ha. A variação na distribuição das áreas queimadas é evidenciada pelo intervalo interquartil (IQR) de 21,68 ha, destacando uma concentração de incêndios menores.

No ano seguinte (2021), houve uma redução significativa no número de incêndios, com apenas 9 ocorrências registradas. No entanto, a média de área queimada aumentou para 77,93 ha, sugerindo que, embora menos frequentes, os incêndios nesse ano foram mais extensos. A mediana subiu para 48,89 ha, e o maior incêndio registrado foi de 227,57 ha, com o menor atingindo 15,61 ha. O IQR de 98,11 ha reflete uma maior dispersão nas áreas afetadas, indicando variações mais acentuadas entre os incêndios.

Em 2022, o número de incêndios subiu para 26, mas a área total queimada foi menor, somando 618,76 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 23,80 hectares, com uma mediana de 14,39 ha. O maior incêndio registrado nesse ano foi de 96,74 ha, enquanto o menor foi de 1,55 ha. O IQR de 15,29 ha revela uma distribuição mais concentrada, com menos variação entre os tamanhos dos incêndios.

Por fim, em 2023, foram registrados 14 incêndios, com uma área total de 438,42 ha. A média de área afetada foi de 31,32 ha, enquanto a mediana caiu para 5,72 ha, indicando a predominância de incêndios menores. O maior incêndio registrado nesse ano atingiu 306,62 ha, e o menor, 1,05 hectare. O IQR de 13,74 ha indica uma variação relativamente pequena entre as áreas queimadas.

Os dados de Gurupi evidenciam flutuações tanto na quantidade quanto na magnitude dos incêndios ao longo dos anos. Enquanto 2020 e 2023 registraram uma maior quantidade de incêndios de menor porte, 2021 destacou-se pela ocorrência de incêndios menos frequentes, como já observado em outros municípios devido à metodologia de determinação das cicatrizes de queimadas, mas significativamente maiores, a distribuição dessas queimas pode ser vista na Figura 32.

Tabela 31 – Incêndios no município de Gurupi por ano no período de 2020 a 2023

Ano	Incêndios Gurupi								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	1.804,23	60	30,07	7,55	602,70	1,09	2,33	24,01	21,68
2021	701,40	9	77,93	48,89	227,57	15,61	25,56	123,67	98,11
2022	618,76	26	23,80	14,39	96,74	1,55	6,28	21,57	15,29
2023	438,42	14	31,32	5,72	306,62	1,05	2,22	15,96	13,74

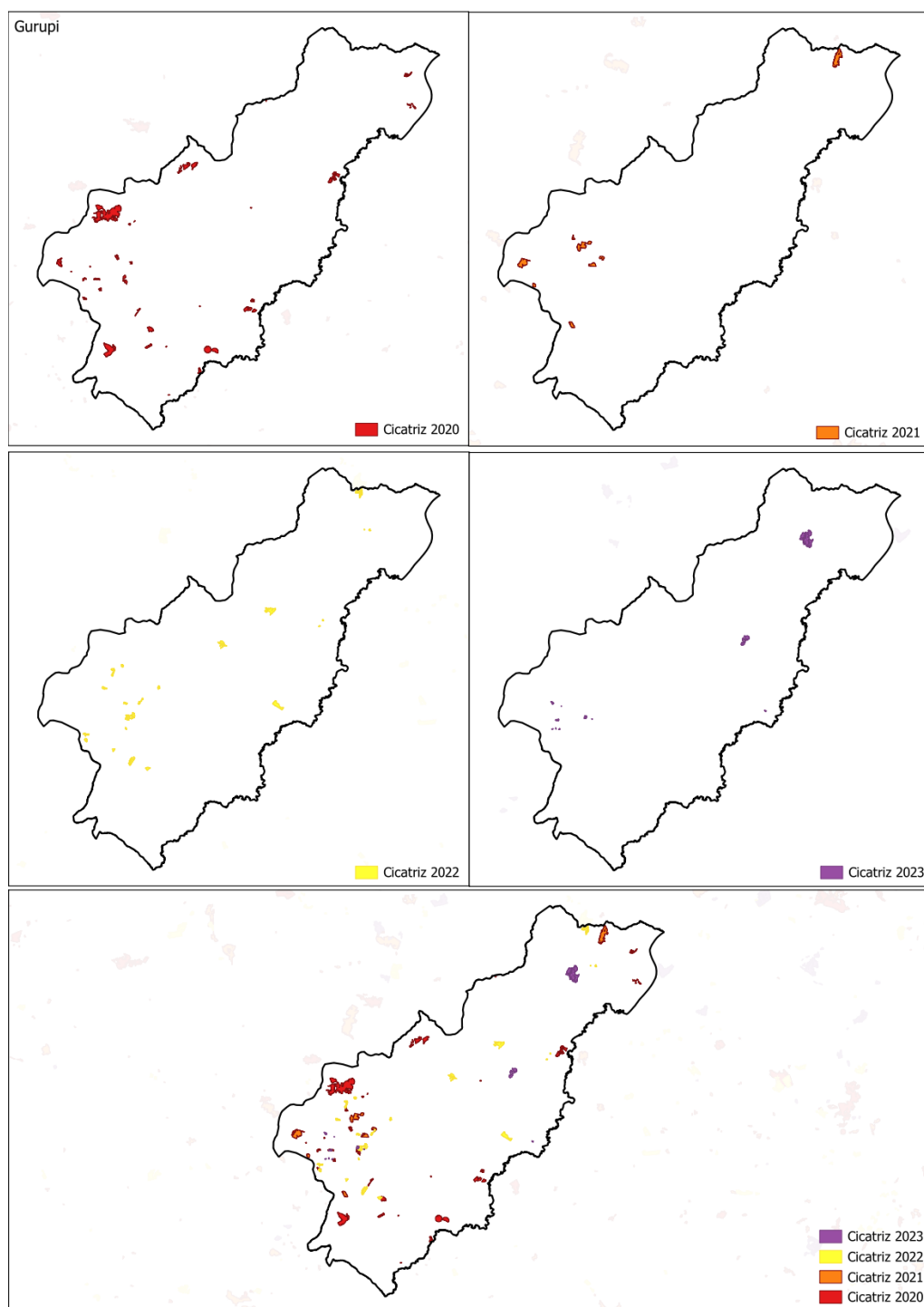


Figura 32 – Cicatrizes de incêndios para o município de Gurupi por ano no período de 2020 a 2023.

6.4.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - GURUPI

A análise dos dados referentes aos incêndios em Gurupi entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, mostra variações interessantes na distribuição dos incêndios e suas respectivas áreas afetadas (Tabela 32). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis pela maior parte da área queimada, representando 77,12% do total (1.391,39 ha) e correspondendo a 18,33% do número total de incêndios, com 11 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 19,07% da área

queimada (344,09 ha) e representaram 35,00% das ocorrências, com 21 registros. Os pequenos incêndios, apesar de serem os mais frequentes, representando 46,67% do total de incêndios com 28 ocorrências, impactaram apenas 3,81% da área queimada (68,76 ha).

Em 2021, não foram feitos registros de pequenos incêndios, e os grandes incêndios dominaram, representando 85,93% da área total queimada (602,74 ha) e 55,56% do total de incêndios, com 5 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio, embora menos frequentes, representaram 14,07% da área queimada (98,66 ha) e 44,44% das ocorrências, com 4 registros.

No ano de 2022, os grandes incêndios continuaram a dominar a área total queimada, representando 55,95% do total (346,21 ha) e 19,23% do número de incêndios, com 5 ocorrências. Incêndios de tamanho médio foram mais frequentes, representando 61,54% das ocorrências, com 16 registros, e contribuíram com 41,44% da área queimada (256,40 ha). Pequenos incêndios, embora menos frequentes, representaram 19,23% das ocorrências, com 5 registros, e impactaram 2,61% da área queimada (16,16 ha).

Em 2023, os grandes incêndios novamente representaram a maior parte da área queimada, com 79,39% do total (348,05 ha) e 14,29% do total de incêndios, com 2 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio, embora menos frequentes, representaram 17,00% da área queimada (74,52 ha) e 35,71% das ocorrências, com 5 registros. Pequenos incêndios foram os mais numerosos, representando 50,00% do total de incêndios, com 7 ocorrências, mas afetaram apenas 3,61% da área queimada (15,84 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, percebe-se que os grandes incêndios frequentemente dominaram a área total queimada em Gurupi, especialmente em 2021 e 2023. No entanto, houve anos como 2022, em que a distribuição das áreas queimadas foi mais equilibrada entre os incêndios médios e grandes. Os pequenos incêndios, embora numericamente prevalentes em alguns anos, tiveram um impacto relativamente menor na área total queimada. Essas observações indicam que, embora os grandes incêndios sejam menos frequentes, eles são responsáveis pela maior parte da devastação, enquanto os incêndios médios e pequenos contribuem mais para o número total de eventos.

Tabela 32 – Descrição Incêndios em Gurupi por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	68,76	3,81	28	46,67	344,09	19,07	21	35,00	1.391,39	77,12	11	18,33
2021	0,00	0,00	0	0,00	98,66	14,07	4	44,44	602,74	85,93	5	55,56
2022	16,16	2,61	5	19,23	256,40	41,44	16	61,54	346,21	55,95	5	19,23
2023	15,84	3,61	7	50,00	74,52	17,00	5	35,71	348,05	79,39	2	14,29

6.4.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - GURUPI

A área artificial abrange 6.061,03 ha. Já o buffer da área combustível, representando as zonas de vegetação suscetíveis a queimadas, é consideravelmente maior, totalizando 188.654,85 ha. Dentro dessa configuração, a área da interface cobre 4.850,70 ha (Tabela 33). Em comparação com outras regiões, a área da IUF em Gurupi destaca-se por sua significativa extensão, especialmente considerando o tamanho da área artificial.

Tabela 33 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Gurupi

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	6.061,03	188.654,85	4.850,70

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Gurupi entre os anos de 2020 e 2023 revela variações na extensão e na frequência dos eventos. Em 2020, foram registrados 22 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 102,91 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 4,68 ha, enquanto a mediana ficou em 2,14 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de menor porte. O maior incêndio do ano abrangeu 19,35 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,01 hectare. O intervalo interquartil (IQR) de 7,76 ha indica uma dispersão considerável nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração significativa de eventos menores e alguns de maior magnitude.

No ano de 2021, o número de incêndios dentro da IUF diminuiu drasticamente, com apenas 2 eventos registrados, totalizando 67,24 ha queimados. A média de área queimada por incêndio aumentou significativamente para 33,62 ha, e a mediana correspondeu à média, indicando que os dois incêndios foram de proporções semelhantes. O maior incêndio cobriu 41,78 ha, enquanto o menor afetou 25,46 ha, com um IQR de 16,32 ha, o que reflete a variação relativa entre os dois eventos.

Em 2022, o número de incêndios aumentou para 13, com uma área total queimada de 73,82 ha. A média de área por incêndio foi de 5,68 ha, e a mediana foi de 3,57 ha, sugerindo um retorno a incêndios de menor porte em comparação ao ano anterior. O maior incêndio registrado cobriu 16,43 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,01 hectare. O IQR de 11,28 ha indica uma variação maior nos tamanhos dos incêndios, com uma distribuição mais ampla entre os diferentes eventos.

Em 2023, foram registrados 9 incêndios na IUF, totalizando 34,95 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 3,88 ha, e a mediana ficou em 2,67 ha, indicando uma predominância de incêndios menores. O maior incêndio do ano abrangeu 9,75 ha, enquanto o menor afetou 1,02 hectare. O IQR de 3,88 ha reflete uma menor variabilidade nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração em torno dos valores menores.

Esses dados (Tabela 34) mostram que, ao longo dos anos analisados, os incêndios dentro da IUF em Gurupi variaram, tanto em frequência, quanto em extensão, com uma tendência geral de redução nas áreas queimadas em 2023, após um aumento pontual em 2021. A análise dos IQRs sugere que, enquanto alguns anos registraram uma maior dispersão nos tamanhos dos incêndios, outros apresentaram uma concentração maior em torno de valores menores, refletindo diferentes padrões de propagação dos incêndios na região.

Tabela 34 – Incêndios em Gurupi dentro da IUF (200x200)

Ano	Incêndios IUF (200x200)								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	102,91	22	4,68	2,14	19,35	0,01	0,07	7,82	7,76
2021	67,24	2	33,62	33,62	41,78	25,46	25,46	41,78	16,32
2022	73,82	13	5,68	3,57	16,43	0,01	0,05	11,33	11,28
2023	34,95	9	3,88	2,67	9,75	1,02	1,91	5,79	3,88

A análise dos incêndios no município de Gurupi e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 permite compreender a magnitude relativa das áreas queimadas em cada recorte espacial (Tabela 35).

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 102,91 ha, o que correspondeu a 2,12% da área total da própria IUF. No município como um todo, a área atingida foi de 1.804,23 ha, equivalente a 0,98% da área municipal. Esse resultado mostra que, proporcionalmente, a IUF sofreu maior impacto relativo em comparação ao território total de Gurupi.

Em 2021, a área queimada na IUF foi de 67,24 ha, representando 1,39% de sua extensão, enquanto o município registrou 701,40 ha queimados, ou 0,38% da área municipal. Tanto os valores absolutos quanto os percentuais foram inferiores aos de 2020, refletindo uma redução na intensidade dos incêndios.

No ano de 2022, a área queimada na IUF aumentou ligeiramente para 73,82 ha, representando 1,52% da IUF, enquanto o município teve 618,76 ha queimados, equivalentes a 0,34% da área total municipal. Apesar do aumento pontual dentro da IUF, os percentuais indicam que os incêndios permaneceram controlados em termos relativos.

Em 2023, a área queimada na IUF foi de 34,95 ha, correspondendo a 0,72% de sua extensão, e no município totalizou 438,42 ha, ou 0,24% da área municipal. Esse ano marcou a menor proporção de áreas afetadas tanto na IUF quanto no município no período analisado.

No acumulado de 2020 a 2023, a IUF registrou 278,92 ha queimados, enquanto o município totalizou 3.562,81 ha. A última linha da tabela apresenta apenas a soma das áreas absolutas, sem cálculo de percentuais, uma vez que as sobreposições de cicatrizes entre anos poderiam distorcer os resultados.

Tabela 35 – Incêndios no município de Gurupi e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Gurupi	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	102,91	2,12	1.804,23	0,98
2021	67,24	1,39	701,40	0,38
2022	73,82	1,52	618,76	0,34
2023	34,95	0,72	438,42	0,24
2020 á 2023	278,92 ha		3.562,81 ha	

A Tabela 36 complementa a análise, ao comparar a representatividade da IUF no território de Gurupi com a proporção de incêndios que nela ocorreram. Embora a IUF corresponda a apenas 2,63% da área do município, concentrou 7,83% das áreas queimadas no período de 2020 a 2023. Esse descompasso evidencia que, proporcionalmente, a IUF foi mais afetada por incêndios do que o restante do território, reforçando sua importância como zona crítica para o planejamento e prevenção.

Tabela 36 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Gurupi

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
7,83	2,63

Tabela 37 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo - Gurupi

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,44
	Formação Savânica	44,58
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,33
Agropecuária	Pastagem	193,40
	Lavoura Temporária	1,99
	Mosaico de Usos	6,53
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	28,84
	Outras Áreas não Vegetadas	2,82
	Mineração	0,00

A análise do uso do solo dentro da IUF de Gurupi (Tabela 37) mostra que as queimadas se concentraram principalmente em áreas de Pastagem (193,40 ha), seguidas pela Formação Savânica (44,58 ha) e pelas Áreas Urbanizadas (28,84 ha). Tipologias como Formação Florestal, Formação Campestre e Lavoura Temporária tiveram ocorrência pouco expressiva, enquanto algumas classes não registraram eventos no período. Esses resultados indicam que os incêndios impactaram tanto áreas produtivas quanto zonas de transição do Cerrado e áreas urbanizadas, reforçando a diversidade de contextos atingidos pelo fogo dentro da IUF.

6.4.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-GURUPI

Os resultados da regressão logística para a IUF de Gurupi indicam que os incêndios de médio porte são os mais frequentes, com um ROC de 0,57 e uma probabilidade de ocorrência de 43,99%. O valor de ROC acima de 0,50 confirma a confiabilidade do modelo para este grupo, sugerindo que incêndios médios apresentam maior propensão de ocorrência devido à interação de fatores antrópicos e ambientais que favorecem a sua ignição e propagação (Tabela 38).

No caso dos incêndios pequenos, o ROC foi de 0,58, com uma probabilidade de ocorrência de 27,80%. Apesar de representarem uma proporção menor em comparação aos médios, o valor de ROC indica que há boa capacidade preditiva para esse grupo, reforçando a sua relevância na dinâmica da IUF. Já os incêndios grandes apresentaram um ROC de 0,51 e uma probabilidade de 28,60%, o que demonstra ocorrência significativa, mas com capacidade de previsão limitada, uma vez que o valor de ROC se aproxima do limiar de 0,50.

Tabela 38 – Dados da Regressão Logística para IUF Gurupi por tamanho de área ardida

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,51	28,60
Médio	0,57	43,99
Pequeno	0,58	27,80

O gráfico da Figura 33 complementa a análise ao demonstrar a variação da probabilidade de ocorrência dos incêndios em função da distância da IUF. A linha amarela, que representa os incêndios pequenos, mostra tendência de crescimento à medida que aumenta a distância da interface, sugerindo que em áreas mais afastadas, com menor densidade urbana e maior acúmulo de material combustível, há maior probabilidade para esse tipo de evento.

A linha vermelha, que representa os incêndios médios, evidencia uma predominância em áreas próximas à IUF, com tendência de redução gradativa em distâncias maiores. Esse padrão pode estar relacionado à maior pressão antrópica nas áreas limítrofes entre o urbano e o florestal, onde a interação entre vegetação combustível e atividades humanas favorece incêndios de médio porte.

Já a linha azul, referente aos incêndios grandes, inicia em valores mais baixos e apresenta tendência de declínio à medida que se distancia da IUF, confirmando que esse tipo de evento é menos frequente em Gurupi e com baixa variabilidade espacial. Esse comportamento pode refletir tanto práticas de gestão relativamente eficazes quanto características ambientais que limitam a propagação de incêndios de maior magnitude.

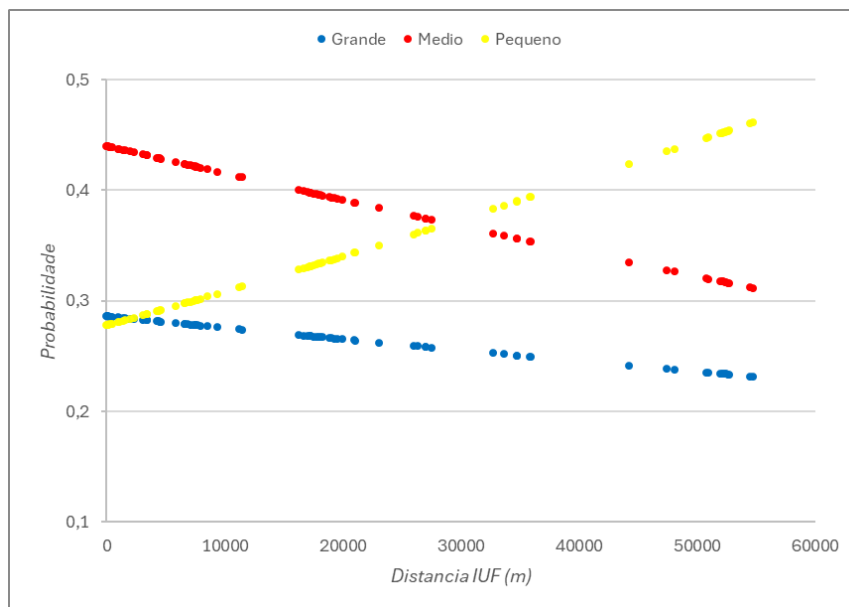


Figura 33 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Gurupi

A análise integrada das curvas indica que, em Gurupi, incêndios médios são mais prováveis nas áreas próximas à IUF, enquanto incêndios pequenos tornam-se mais relevantes em regiões afastadas. A ocorrência de incêndios grandes é menos expressiva em todo o gradiente, reforçando a necessidade de estratégias diferenciadas de prevenção: medidas de mitigação intensivas junto à IUF para os incêndios médios e monitoramento mais distribuído para os pequenos, sem desconsiderar a importância de conter eventuais grandes incêndios.

6.5. PORTO NACIONAL

Porto Nacional, localizado no Estado do Tocantins, tem suas raízes históricas ligadas ao Rio Tocantins, sendo oficialmente fundado em 13 de junho de 1859 e instalado como município em 13 de julho de 1861. Com uma área territorial de 4.531 km², inserida no bioma Cerrado, Porto Nacional possui uma população estimada em 53.618 habitantes em 2021. A densidade demográfica registrada no censo de 2010 foi de 11,1 habitantes por km², com uma taxa de urbanização de 86,3%, refletindo um elevado grau de urbanização e concentração populacional.

Os indicadores sociais de Porto Nacional revelam um desenvolvimento humano significativo, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,740 em 2010, classificado como alto. Esse índice reflete melhorias nas dimensões de longevidade (0,826), educação (0,701) e renda (0,699). O município ainda possui 13% das famílias vivendo em pobreza extrema, 40% em pobreza absoluta e 71% com rendimentos de até um salário-mínimo, conforme dados de 2010.

No plano econômico, Porto Nacional se destaca com um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 1.677.465,15 mil em 2018, o que corresponde a um PIB per capita de R\$ 31.830,46. A economia local é diversificada, com o setor de serviços predominando, representando R\$ 1.080.657 mil do valor adicionado bruto, seguido pela agropecuária com R\$ 197.492 mil e a indústria com R\$ 167.587 mil. Em 2021, o município contava com 5.427 empresas, sendo 39% dos estabelecimentos concentrados nos setores de serviços e comércio. A produção agrícola é significativa, com destaque para as culturas de soja, milho e mandioca.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Porto Nacional também apresentam dados relevantes. A taxa de alfabetização era de 91,7% em 2010, indicando um bom nível educacional entre os habitantes. Na saúde, o município registrou 800 nascimentos e 251 óbitos em 2019, com uma infraestrutura hospitalar adequada para atender a população. Em termos de saneamento básico, a maior parte da população tem acesso a abastecimento de água e esgotamento sanitário adequados. O consumo de energia elétrica em 2020 foi de 122.605 MWh, com 27.965 consumidores registrados.

6.5.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL

A análise dos incêndios ocorridos em Porto Nacional ao longo dos anos de 2020 a 2023 (Tabela 39) revela uma variação considerável na extensão das áreas afetadas e na frequência desses eventos. Em 2020, o município contabilizou 337 incêndios, que resultaram em uma área total queimada de 21.518,50 ha. A média da área atingida por cada incêndio foi de 63,85 ha, com a mediana indicando que metade dos incêndios cobriu menos de 5,43 ha. O maior incêndio registrado nesse período afetou uma área de 8.451,12 ha, enquanto o menor foi de 0,34 hectare. O intervalo interquartil (IQR), que é a diferença entre o primeiro e o terceiro quartil, foi de 11,76 ha, sugerindo uma concentração de incêndios menores com alguns eventos de grande magnitude que elevaram a média geral.

No ano de 2021, embora o número de incêndios tenha diminuído para 238, a área total queimada aumentou para 26.620,80 ha. Esse crescimento se refletiu na média de área por incêndio, que subiu para 111,85 ha, sugerindo que, apesar da redução no número de eventos, os incêndios que ocorreram foram mais extensos. A mediana da área queimada foi de 14,77 ha, o que indica uma distribuição mais ampla em comparação com o ano anterior. O maior incêndio registrado em 2021 atingiu 5.190,65 ha, enquanto o menor envolveu 1,45 hectare. O IQR de 53,75 ha reflete uma maior dispersão nas áreas afetadas, com uma variação significativa entre os incêndios.

Em 2022, houve um aumento no número de incêndios, com 294 ocorrências, resultando em uma área total queimada de 29.227,70 ha. A média de área por incêndio foi de 99,41 ha, e a mediana foi de 12,26 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios teve uma extensão moderada. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 8.192,19 ha, e o menor afetou 0,28 hectare. O intervalo interquartil de 34,19 ha indica uma menor concentração de incêndios muito pequenos ou muito grandes, comparado com o ano anterior.

Por fim, em 2023, foram registrados 236 incêndios, que afetaram uma área total de 13.247,40 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 56,13 ha, com a mediana em 5,00 ha, o que sugere uma predominância de incêndios de menor porte. O maior incêndio registrado no ano atingiu 2.632,70 ha, enquanto o menor foi de 1,02 hectare. O IQR de 17,66 ha reflete uma distribuição relativamente concentrada, similar ao padrão observado em 2020, mas com uma redução na área total queimada. Ao

longo desses quatro anos, observa-se que Porto Nacional experimentou variações tanto na quantidade de incêndios quanto na extensão das áreas afetadas (Figura 34), com ênfase na diferença entre os anos com maior e menor número de ocorrências.

Tabela 39 – Incêndios no município de Porto Nacional por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Porto Nacional								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	21.518,50	337	63,85	5,43	8451,12	0,34	2,74	14,50	11,76
2021	26.620,80	238	111,85	14,77	5190,65	1,45	7,72	61,47	53,75
2022	29.227,70	294	99,41	12,26	8192,19	0,28	4,90	39,09	34,19
2023	13.247,40	236	56,13	5,00	2632,70	1,02	2,28	19,94	17,66

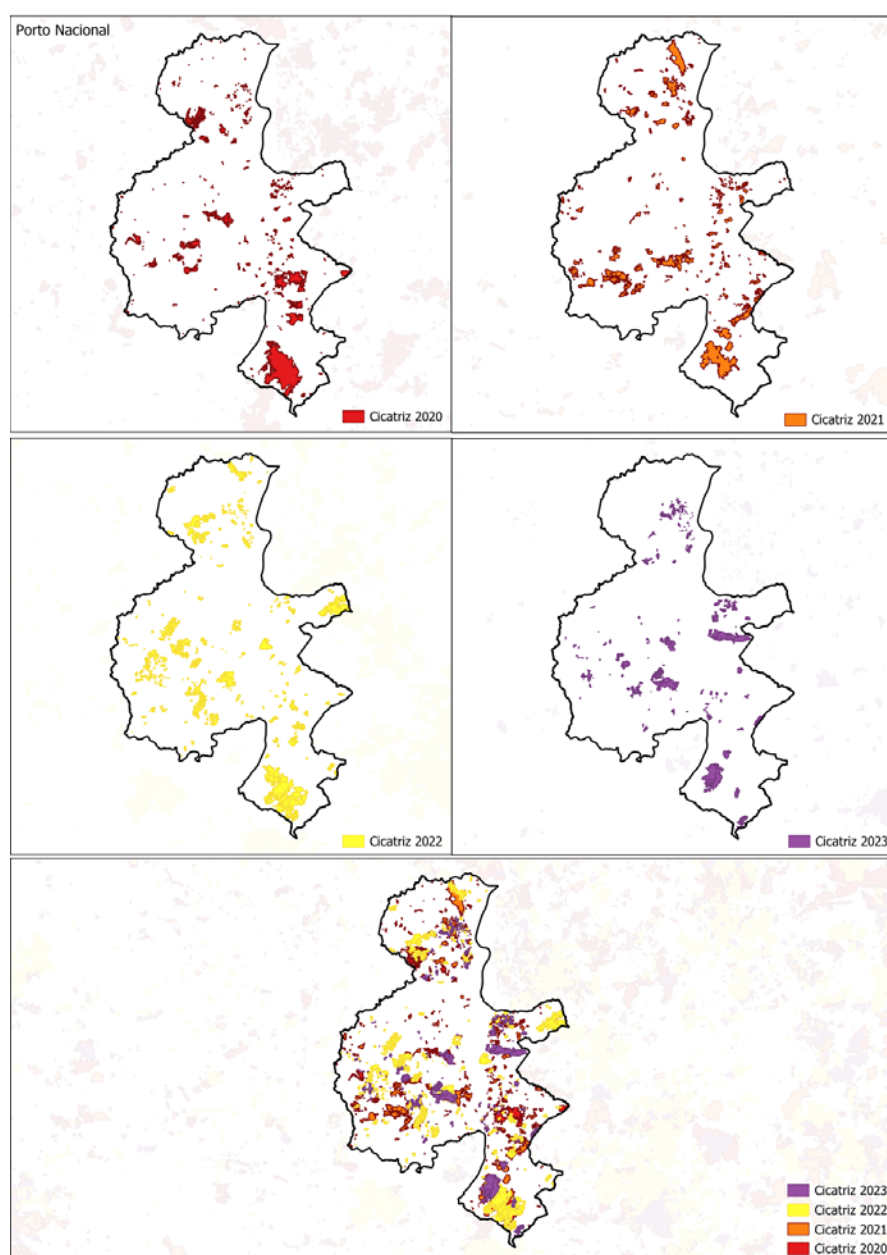


Figura 34 – Cicatrizes de incêndios para o município de Porto Nacional por ano no período de 2020 a 2023.

6.5.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS – PORTO NACIONAL

A análise dos dados referentes aos incêndios em Porto Nacional entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, evidencia o impacto significativo dos grandes incêndios na área total queimada, com variações notáveis na frequência e na extensão dos eventos ao longo dos anos (Tabela 40). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 89,37% da área total queimada (19.231,10 ha), embora tenham representado apenas 11,87% do número total de incêndios, com 40 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 8,53% da área queimada (1.836,05 ha) e 40,36% das ocorrências, com 136 registros. Pequenos incêndios, embora numericamente dominantes, representando 47,77% do total de incêndios com 161 ocorrências, afetaram apenas 2,10% da área queimada (451,37 ha).

No ano de 2021, os grandes incêndios continuaram a predominar, representando 92,90% da área total queimada (24.729,90 ha) e 32,77% do número de incêndios, com 78 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio, que representaram 63,87% das ocorrências com 152 registros, contribuíram com 7,02% da área queimada (1.868,05 ha). Pequenos incêndios foram menos frequentes, representando 3,36% das ocorrências com 8 registros, e impactaram apenas 0,09% da área queimada (22,79 ha).

Em 2022, os grandes incêndios novamente dominaram, representando 91,74% da área total queimada (26.814,80 ha) e 24,83% do número de incêndios, com 73 ocorrências. Incêndios de tamanho médio foram responsáveis por 7,52% da área queimada (2.197,40 ha) e 49,66% das ocorrências, com 146 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 25,51% das ocorrências com 75 registros, impactaram apenas 0,74% da área queimada (215,45 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 88,75% da área total queimada (11.757,50 ha) e 16,95% do número de incêndios, com 40 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 9,09% da área queimada (1.204,75 ha) e 33,47% das ocorrências, com 79 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 49,58% das ocorrências com 117 registros, afetaram apenas 2,15% da área queimada (285,15 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, nota-se que os grandes incêndios consistentemente dominam a área total queimada em Porto Nacional, com proporções acima de 88% em todos os anos analisados. No entanto, a frequência dos incêndios de tamanho médio também é significativa, especialmente em 2021 e 2022, onde contribuíram substancialmente para o número total de ocorrências. Os pequenos incêndios, embora numericamente prevalentes em alguns anos, tiveram um impacto relativamente menor na área total queimada. Esses dados sugerem que, embora os grandes incêndios sejam responsáveis pela maior parte da devastação, os incêndios de tamanho médio desempenham um papel importante na frequência total de eventos, enquanto os pequenos incêndios contribuem mais para o número total de ocorrências do que para a extensão dos danos.

Tabela 40 – Descrição Incêndios em Porto Nacional por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	451,37	2,10	161	47,77	1836,05	8,53	136	40,36	19.231,10	89,37	40	11,87
2021	22,79	0,09	8	3,36	1.868,05	7,02	152	63,87	24.729,90	92,90	78	32,77
2022	215,45	0,74	75	25,51	2.197,40	7,52	146	49,66	26.814,80	91,74	73	24,83
2023	285,15	2,15	117	49,58	1.204,75	9,09	79	33,47	11.757,50	88,75	40	16,95

6.5.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF – PORTO NACIONAL

A Tabela 41 que descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Porto Nacional oferece uma visão abrangente das diferentes zonas que compõem o cenário de risco para incêndios. A área artificial, abrange 9.086,30 ha, enquanto a área combustível, totaliza 423.501,16 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF cobre 7.835,93 ha.

Tabela 41 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Porto Nacional

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	9.086,30	423.501,16	7.835,93

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Porto Nacional entre os anos de 2020 e 2023 revela variações na frequência e na extensão dos incêndios, destacando diferentes padrões e desafios ao longo dos anos (Tabela 42). Em 2020, foram registrados 52 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 252,07 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 4,85 ha, enquanto a mediana foi de 2,84 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno a médio porte. O maior incêndio registrado cobriu 32,61 ha, enquanto o menor causou danos mínimos, afetando apenas 3,00 m². O intervalo interquartil (IQR) de 5,16 ha reflete uma variação considerável nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração em torno de eventos menores.

No ano de 2021, houve uma redução no número de incêndios, com 33 eventos registrados, mas a área total queimada aumentou significativamente para 586,57 ha. A média de área por incêndio subiu para 17,77 ha, e a mediana foi de 6,05 ha, sugerindo que os incêndios foram maiores em porte em comparação ao ano anterior. O maior incêndio do ano cobriu 97,90 ha, enquanto o menor afetou 0,0013 hectare. O IQR de 11,79 ha indica uma dispersão mais ampla nos tamanhos dos incêndios, com maior variabilidade.

Em 2022, o número de incêndios aumentou para 49, com uma área total queimada de 330,76 ha. A média de área por incêndio foi de 6,75 ha, e a mediana ficou em 4,67 ha, indicando uma redução na magnitude média dos incêndios em comparação a 2021. O maior incêndio abrangeu 29,74 ha, enquanto o menor afetou 0,0008 hectare. O IQR de 9,69 ha sugere uma variação significativa, mas menos dispersa que no ano anterior.

Em 2023, o número de incêndios dentro da IUF aumentou para 79, totalizando 351,69 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 4,45 ha, e a mediana ficou em 1,79 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores. O maior incêndio registrado cobriu 41,07 ha, enquanto o menor causou danos mínimos, afetando apenas 0,0006 ha. O IQR de 3,40 ha reflete uma menor variabilidade nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração maior em torno de valores menores.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, os incêndios dentro da IUF em Porto Nacional variaram tanto em frequência quanto em extensão, com um aumento no número de incêndios em 2023, mas com uma tendência geral de redução no porte médio dos incêndios após o pico em 2021. A análise dos IQRs sugere que, enquanto alguns anos registraram uma maior dispersão nos tamanhos dos incêndios, outros apresentaram uma concentração maior em torno de valores menores, refletindo diferentes padrões de propagação dos incêndios na região.

Tabela 42 – Incêndios em Porto Nacional dentro da IUF (200x200)

Ano	Incêndios IUF								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	252,07	52	4,85	2,84	32,61	0,0003	1,43	6,59	5,16
2021	586,57	33	17,77	6,05	97,90	0,0013	0,80	12,59	11,79
2022	330,76	49	6,75	4,67	29,74	0,0008	1,29	10,98	9,69
2023	351,69	79	4,45	1,79	41,07	0,0006	0,96	4,36	3,40

A análise dos incêndios no município de Porto Nacional e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 destaca a relação entre a área total queimada no município e a área afetada dentro da IUF, mostrando a relevância dessa região na dinâmica dos incêndios (Tabela 43). Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 252,07 ha, equivalente a 3,22% da área da IUF; no município, queimaram-se 21.518,50 ha, correspondentes a 4,85% do território municipal.

Em 2021, a IUF registrou 586,57 ha queimados (7,49% da área da IUF), enquanto o município totalizou 26.620,80 ha (6,00% do território). No ano de 2022, a IUF somou 330,76 ha (4,22% da IUF), e o município, 29.227,70 ha (6,59% do território). Em 2023, a IUF registrou 351,69 ha (4,49% da IUF) e o município, 13.247,40 ha (2,99% do território). No acumulado do período de 2020 a 2023, a IUF somou 1.521,08 ha de áreas queimadas, enquanto o município totalizou 90.614,40 ha. Esses valores representam apenas a soma das áreas registradas ano a ano, podendo incluir sobreposições, tanto dentro da IUF quanto no território municipal.

Tabela 43 – Incêndios no município de Porto Nacional e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Porto Nacional	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	252,07	3,22	21.518,50	4,85
2021	586,57	7,49	26.620,80	6,00
2022	330,76	4,22	29.227,70	6,59
2023	351,69	4,49	13.247,40	2,99
2020 á 2023	1.521,08 ha		90.614,40 ha	

A Tabela 44 evidencia a relação proporcional entre as áreas de incêndios e a representatividade espacial da IUF no município. Embora a IUF corresponda a apenas 6,86% do território de Porto Nacional, concentrou 4,76% do total de áreas queimadas no período analisado. Esse resultado mostra que, mesmo não sendo a porção predominante do município, a IUF é relevante no contexto dos incêndios, reforçando a necessidade de atenção específica a essas zonas de transição entre áreas urbanas e vegetadas.

Tabela 44 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Porto Nacional

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
4,76	6,86

A distribuição das áreas queimadas na IUF de Porto Nacional evidencia um impacto expressivo sobre pastagens (499,11 ha) e formações savânicas (423,54 ha), mas também uma presença relevante em áreas urbanizadas (274,96 ha) e zonas não vegetadas (243,76 ha). Essa combinação sugere que os incêndios não se restringem às áreas agropecuárias ou naturais, mas se estendem a espaços de uso humano mais direto, reforçando a complexidade da interface. Outras tipologias, como formação florestal e lavoura

temporária, tiveram registros pontuais, enquanto algumas classes não apresentaram ocorrência (Tabela 45).

Tabela 45 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Porto Nacional

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	24,27
	Formação Savânica	423,54
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	14,48
	Formação Campestre	0,00
Agropecuária	Pastagem	499,11
	Lavoura Temporária	30,32
	Mosaico de Usos	7,07
	Silvicultura	3,57
Área não Vegetada	Área Urbanizada	274,96
	Outras Áreas não Vegetadas	243,76
	Mineração	0,00

6.5.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF- PORTO NACIONAL

A análise dos dados de regressão logística para a IUF de Porto Nacional demonstra que os incêndios de médio e pequeno porte apresentam probabilidades de ocorrência bastante próximas, com valores de 40,66% e 40,92%, respectivamente (Tabela 46). Os valores de ROC, de 0,52 para incêndios médios e 0,54 para pequenos, indicam uma capacidade preditiva apenas moderada, mas suficiente para confirmar que ambos os tipos de incêndio são relativamente comuns dentro da IUF. Esse padrão pode estar relacionado à densidade de vegetação combinada à presença de atividades humanas, que favorecem tanto a ignição quanto a propagação desses eventos.

No caso dos incêndios de grande porte, a probabilidade estimada foi de 18,56%, acompanhada de um ROC de 0,54. Embora menos frequentes, os incêndios grandes mantêm relevância devido ao seu potencial destrutivo, o que reforça a necessidade de medidas de prevenção e mitigação específicas para esse tipo de ocorrência.

Tabela 46 – Dados da Regressão Logística para IUF Porto Nacional por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,54	18,56
Médio	0,52	40,66
Pequeno	0,54	40,92

A Figura 35 evidencia a variação das probabilidades em função da distância da IUF. A linha amarela, correspondente aos incêndios pequenos, indica maior probabilidade nas áreas próximas à interface, seguida de declínio contínuo conforme a distância aumenta. Já os incêndios médios, representados pela linha vermelha, apresentam comportamento inverso, com probabilidade inicial semelhante à dos pequenos, mas que cresce gradualmente em áreas mais afastadas, sugerindo a influência de vegetação mais densa e pouco manejada.

Por sua vez, os incêndios grandes, representados pela linha azul, exibem probabilidades mais baixas em todo o gradiente, mas com tendência de crescimento à medida que se distanciam da IUF.

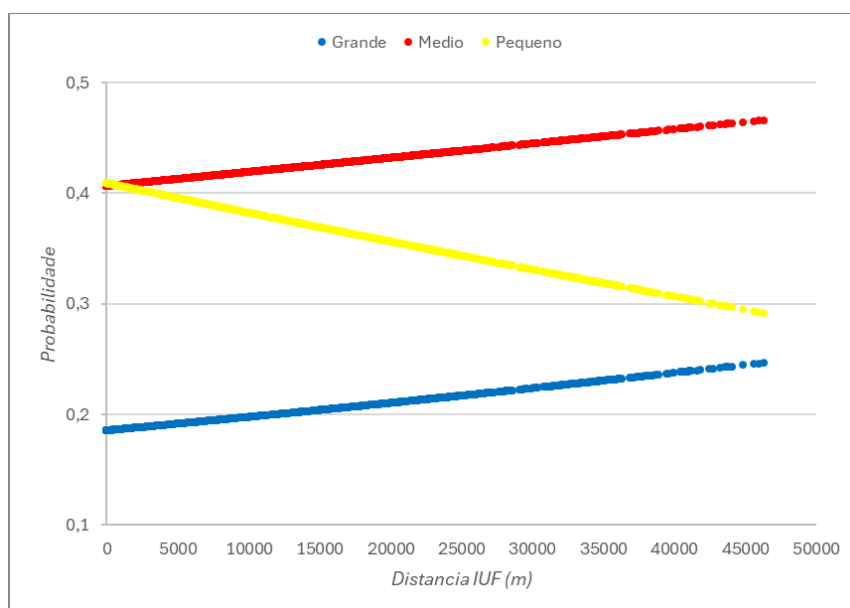


Figura 35 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Porto Nacional

Em síntese, o gráfico revela que incêndios pequenos predominam nas proximidades da IUF, enquanto incêndios médios e grandes se tornam mais prováveis em áreas mais distantes. Essa dinâmica reforça a influência combinada de fatores antrópicos e ambientais na localização e escala dos incêndios em Porto Nacional, apontando para a necessidade de estratégias diferenciadas de prevenção conforme a tipologia do evento.

6.6. PARAÍSO DO TOCANTINS

Paraíso do Tocantins, localizado na região central do Estado do Tocantins, teve sua fundação em 1940 e foi oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1964. Com uma área territorial de 1.292 km², inserida no bioma Cerrado, Paraíso do Tocantins destaca-se por sua elevada taxa de urbanização, que alcançou 95,6% em 2010, e uma densidade demográfica de 34,4 habitantes por km². A população estimada em 2021 foi de 52.521 habitantes, refletindo o crescimento contínuo e a urbanização intensa que caracterizam a cidade.

Os indicadores sociais de Paraíso do Tocantins demonstram um desenvolvimento humano significativo, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,764 em 2010, classificado como alto. Este índice é desagregado em longevidade (0,831), educação (0,706) e renda (0,759), refletindo avanços nas condições de vida da população. No entanto, 8% das famílias vivendo em situação de pobreza extrema, 29% em pobreza absoluta e 65% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010.

O município apresenta um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 1.230.449,71 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 24.316,23. A economia do município é diversificada, com o setor de serviços representando a maior parcela do valor adicionado bruto (R\$ 879.805 mil), seguido pela indústria (R\$ 169.927 mil) e pela agropecuária (R\$ 21.150 mil). Em 2021, o município contava com 5.015 empresas

registradas, das quais 40% atuam nos setores de serviços e comércio. A produção agrícola é relevante, com destaque para as culturas de milho, soja e mandioca, refletindo a importância do setor primário para a economia local.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Paraíso do Tocantins são bem desenvolvidos. A taxa de alfabetização alcançou 93,7% em 2010, evidenciando um nível educacional relativamente alto entre os habitantes. Na área da saúde, o município registrou 819 nascimentos e 267 óbitos em 2019, com uma infraestrutura hospitalar capaz de atender a demanda da população. O abastecimento de água e o esgotamento sanitário são adequados para a maioria dos domicílios, e o consumo de energia elétrica em 2020 foi de 79.670 MWh, com 21.545 consumidores registrados.

6.6.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PARAÍSO DO TOCANTINS

A análise dos incêndios registrados no município de Paraíso do Tocantins entre 2020 e 2023 revela um padrão variado em termos de frequência e impacto dos eventos (Tabela 47). Em 2020, foram registrados 90 incêndios, resultando em uma área total queimada de 2.322,48 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 25,81 ha, enquanto a mediana indica que metade dos incêndios envolveu áreas menores que 5,24 ha. O maior incêndio registrado nesse período cobriu 527,49 ha, e o menor afetou 0,55 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 11,58 ha sugere que a maioria dos incêndios teve uma extensão relativamente modesta, com alguns eventos de maior magnitude.

Em 2021, o município registrou um único incêndio, que afetou uma área de 73,52 ha. Como foi o único evento do ano, todos os valores estatísticos, como média, mediana, maior e menor incêndio, coincidem, refletindo a particularidade desse ano, em que o número de incêndios foi significativamente menor do que nos outros anos analisados.

No ano de 2022, foram registrados 38 incêndios, com uma área total queimada de 1.987,09 ha. A média de área afetada por incêndio aumentou para 52,29 ha, sugerindo que os incêndios, embora menos frequentes do que em 2020, foram mais extensos. A mediana subiu para 13,12 ha, e o maior incêndio registrado atingiu 534,34 ha. O menor incêndio do ano afetou 1,02 ha. O intervalo interquartil de 18,98 ha reflete uma distribuição mais ampla das áreas queimadas, com variações significativas entre os incêndios de menor e maior porte.

Por fim, em 2023, houve 12 incêndios, totalizando uma área queimada de 100,17 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 8,35 ha, a menor entre os anos analisados. A mediana de 4,19 ha sugere uma predominância de incêndios de menor extensão, com o maior evento atingindo 46,65 ha e o menor 1,17 ha. O IQR de 7,28 ha indica uma concentração mais acentuada de incêndios pequenos, com pouca variação na área afetada entre os diferentes eventos.

Os dados de Paraíso do Tocantins ao longo dos quatro anos revelam variações, tanto na frequência, quanto na extensão dos incêndios, com particularidades como; o único incêndio registrado em 2021, provavelmente devido à questão metodológica da definição das cicatrizes como já apontado no início do capítulo e a menor média de área afetada em 2023. A análise desses padrões é crucial para o planejamento de estratégias de prevenção e resposta a incêndios, adaptando as ações às características observadas em cada ano (Figura 36).

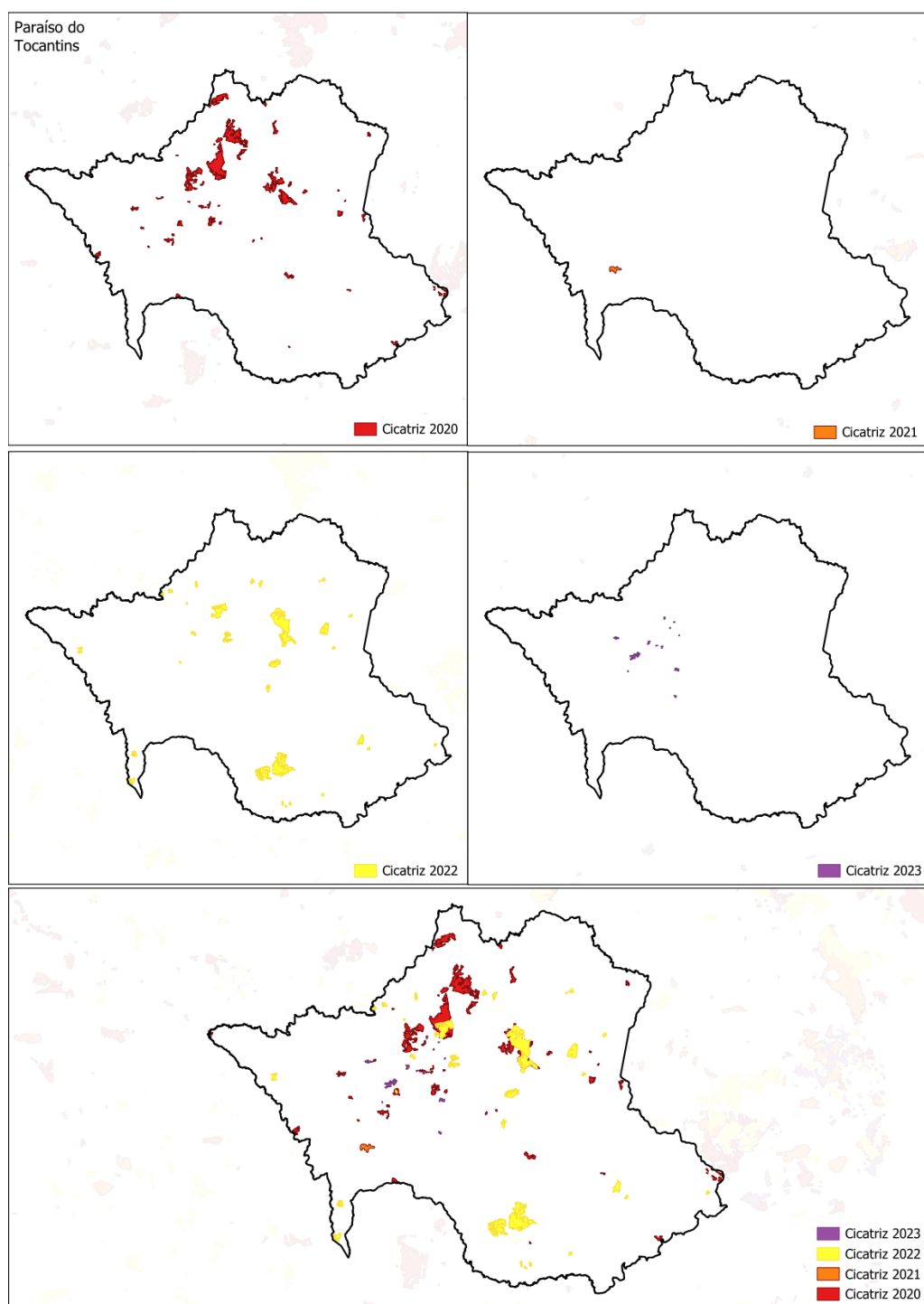


Figura 36 – Cicatrizes de incêndios para o município de Paraíso do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.

Tabela 47 – Incêndios no município de Paraíso do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023

Ano	Incêndios Paraíso do Tocantins								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	2.322,48	90	25,81	5,24	527,49	0,55	2,78	14,36	11,58
2021	73,52	1	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	0,00
2022	1.987,09	38	52,29	13,12	534,34	1,02	7,92	26,90	18,98
2023	100,17	12	8,35	4,19	46,65	1,17	1,53	8,80	7,28

6.6.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS – PARAÍSO DO TOCANTINS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Paraíso do Tocantins entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela padrões distintos na distribuição dos incêndios e suas respectivas áreas afetadas (Tabela 48). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 71,63% da área total queimada (1.663,49 ha), embora representassem apenas 11,11% do número total de incêndios, com 10 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 23,33% da área queimada (541,84 ha) e 43,33% das ocorrências, com 39 registros. Os pequenos incêndios, apesar de serem os mais numerosos, representando 45,56% do total de incêndios com 41 ocorrências, impactaram apenas 5,04% da área queimada (117,16 ha).

Em 2021, não houve registros de pequenos ou médios incêndios, com apenas um grande incêndio ocorrido, que representou 100% da área total queimada (73,52 ha) e 100% do número total de incêndios. No ano de 2022, os grandes incêndios continuaram a predominar, representando 80,59% da área total queimada (1.601,38 ha) e 18,42% do número de incêndios, com 7 ocorrências. Incêndios de tamanho médio foram mais frequentes, representando 63,16% das ocorrências com 24 registros, e contribuíram com 18,45% da área queimada (366,65 ha). Pequenos incêndios, embora presentes em 18,42% das ocorrências com 7 registros, impactaram apenas 0,96% da área queimada (19,06 ha).

Em 2023, os pequenos incêndios foram os mais numerosos, representando 58,33% do total de incêndios com 7 ocorrências, mas impactaram 16,25% da área queimada (16,28 ha). Incêndios de tamanho médio representaram 33,33% das ocorrências, com 4 registros, e contribuíram com 37,18% da área queimada (37,24 ha). Houve apenas um grande incêndio, que representou 46,57% da área total queimada (46,65 ha) e 8,33% do número total de incêndios.

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios foram responsáveis pela maior parte da área queimada, especialmente em 2020 e 2022, onde dominaram o cenário em termos de impacto. O ano de 2021 foi atípico, com a ocorrência de apenas um grande incêndio provavelmente pela falha metodológica na definição das cicatrizes de queimada. Já em 2023, a distribuição das áreas queimadas foi mais equilibrada entre os diferentes tamanhos de incêndios, com os pequenos incêndios sendo mais numerosos, mas com menor impacto na área total queimada. Esses dados sugerem uma variação significativa na dinâmica dos incêndios em Paraíso do Tocantins, com os grandes incêndios sendo menos frequentes, mas altamente destrutivos, enquanto os pequenos e médios incêndios contribuem mais para o número total de ocorrências, com impacto variável na área queimada.

Tabela 48 – Descrição Incêndios em Paraíso do Tocantins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	117,16	5,04	41	45,56	541,84	23,33	39	43,33	1.663,49	71,63	10	11,11
2021	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	73,52	100,00	1	100,00
2022	19,06	0,96	7	18,42	366,65	18,45	24	63,16	1.601,38	80,59	7	18,42
2023	16,28	16,25	7	58,33	37,24	37,18	4	33,33	46,65	46,57	1	8,33

6.6.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF – PARAÍSO DO TOCANTINS

A Tabela 49 que descreve as áreas do Buffer e da Interface Urbano-Florestal (IUF) no município de Paraíso do Tocantins oferece uma visão detalhada das diferentes zonas que compõem o cenário de risco para incêndios. A área artificial, correspondente às áreas urbanizadas do município, abrange 4.065,39 ha. A área combustível, que representa as zonas de vegetação suscetíveis a queimadas, é significativamente maior, totalizando 133.350,99 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, que é particularmente crítica devido à sua localização na interface entre as áreas urbanas e as áreas vegetais, cobre 3.391,45 ha e é relativamente compacta em comparação com outros municípios.

Tabela 49 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Paraíso do Tocantins

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	4.065,39	133.350,99	3.391,45

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Paraíso do Tocantins entre os anos de 2020 e 2023 revela variações na frequência e na extensão dos incêndios, destacando diferentes desafios ao longo dos anos (Tabela 50).

Em 2020, foram registrados 34 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 144,95 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 4,26 ha, enquanto a mediana foi de 2,43 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de pequeno a médio porte. O maior incêndio registrado cobriu 28,62 ha, enquanto o menor afetou uma área mínima de 0,01 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 5,51 ha indica uma variação considerável nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração em torno de eventos menores, mas com algumas exceções de maior magnitude.

No ano de 2021, não houve registros de incêndios dentro da IUF em Paraíso do Tocantins, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. Nada pode ser sugerido com base nesse dado visto a falha metodológica observada no ano de 2021 em alguns municípios para a definição de cicatrizes.

Em 2022, os incêndios voltaram a ocorrer, com 12 eventos registrados, totalizando 52,99 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 4,42 ha, e a mediana ficou em 0,57 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte, com um maior registro pontual. O maior incêndio cobriu 14,14 ha, enquanto o menor afetou 0,11 ha. O IQR de 9,25 ha reflete uma variação maior nos tamanhos dos incêndios, com uma distribuição mais ampla entre os diferentes eventos.

Em 2023, o número de incêndios foi semelhante ao ano anterior, com 11 ocorrências, totalizando 46,33 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 4,21 ha, e a mediana ficou em 3,63 ha, apontando para uma predominância de incêndios de menor porte. O maior incêndio do ano abrangeu 13,80 ha, enquanto o menor afetou 0,08 ha. O IQR de 3,32 ha sugere uma menor variabilidade no tamanho dos incêndios, com uma concentração maior em torno dos valores menores.

Esses dados indicam que, ao longo dos anos analisados, os incêndios dentro da IUF em Paraíso do Tocantins apresentaram variações significativas em frequência e extensão. A retomada dos incêndios nos anos subsequentes, especialmente com tamanhos menores e uma concentração mais homogênea em 2023, reflete a complexidade da dinâmica dos incêndios na região e a necessidade contínua de estratégias adaptativas de prevenção e controle.

Tabela 50 - Incêndios em Paraíso do Tocantins dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	144,95	34	4,26	2,43	28,62	0,01	0,24	5,75	5,51
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	52,99	12	4,42	0,57	14,14	0,11	0,18	9,43	9,25
2023	46,33	11	4,21	3,63	13,80	0,08	1,53	4,85	3,32

A análise dos incêndios no município de Paraíso do Tocantins e, especificamente, dentro de sua Interface Urbano-Florestal (IUF) entre os anos de 2020 e 2023, evidencia a importância dessa região na dinâmica do fogo (Tabela 51).

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 144,95 ha, o que correspondeu a 4,27% da área total da IUF. No mesmo ano, a área queimada no município atingiu 2.322,48 ha, equivalendo a 1,80% da área total municipal. Em 2021, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em 0,00 ha queimados. Nesse mesmo período, apenas um grande incêndio foi registrado em todo o município, totalizando 73,52 ha queimados, o que representou apenas 0,06% da área municipal. Esse resultado pode estar associado a limitações metodológicas na definição das cicatrizes de queimada.

No ano de 2022, a área queimada dentro da IUF foi de 52,99 ha, o equivalente a 1,56% da área total da interface. No município como um todo, foram queimados 1.987,09 ha, correspondendo a 1,54% de sua área. Esse resultado demonstra um leve aumento em relação a 2021, tanto na área queimada na IUF quanto na escala municipal.

Em 2023, a área queimada na IUF foi de 46,33 ha, representando 1,37% da área da interface. Já no município, foram queimados 100,17 ha, equivalentes a 0,08% da área municipal — o menor valor do período analisado. Mesmo em um ano de baixa incidência de incêndios, a IUF manteve uma participação proporcionalmente relevante.

No total acumulado de 2020 a 2023, foram queimados 244,27 ha dentro da IUF e 4.483,26 ha em todo o município de Paraíso do Tocantins. Esses valores absolutos estão apresentados apenas como somatório, sem cálculo percentual, uma vez que a sobreposição de cicatrizes ao longo dos anos poderia distorcer a interpretação.

Tabela 51 – Incêndios no município de Paraíso do Tocantins e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Paraíso do Tocantins	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	144,95	4,27	2.322,48	1,80
2021	0,00	0,00	73,52	0,06
2022	52,99	1,56	1.987,09	1,54
2023	46,33	1,37	100,17	0,08
2020 á 2023	244,27 ha		4.483,26 ha	

Tabela 52 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Paraíso do Tocantins

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
5,45	2,62

Tabela 53 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Paraíso do Tocantins

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	11,91
	Formação Savânica	68,40
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	3,65
Agropecuária	Pastagem	99,64
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	11,58
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	33,00
	Outras Áreas não Vegetadas	16,09
	Mineração	0,00

A relação percentual entre incêndios na IUF e no município de Paraíso do Tocantins (Tabela 52) demonstra que, no período analisado, 5,45% das áreas queimadas no município ocorreram dentro da IUF, embora esta represente apenas 2,62% do território municipal. Esse resultado reforça a condição da interface como área desproporcionalmente vulnerável aos incêndios, concentrando impactos superiores à sua dimensão espacial. A análise do uso do solo nas áreas queimadas da IUF (Tabela 53) evidencia que os ambientes mais atingidos foram aqueles associados à agropecuária, em especial as pastagens (99,64 ha), seguidas pelas formações savânicas (68,40 ha). As formações florestais também tiveram participação, com 11,91 ha, enquanto áreas urbanizadas e não vegetadas responderam juntas por quase 50 ha, refletindo a pressão da expansão urbana sobre o ambiente natural. Esse cenário confirma a interação entre atividades humanas e características ecológicas na intensificação do risco de incêndios em Paraíso do Tocantins, destacando a necessidade de medidas de gestão diferenciadas tanto para áreas produtivas quanto para zonas de transição urbano-florestal.

6.6.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PARAÍSO DO TOCANTINS

Os resultados da regressão logística para a IUF de Paraíso do Tocantins, como observado na Tabela 54 indicam uma alta probabilidade de ocorrência de incêndios de médio porte, com um ROC de 0,52 e uma probabilidade de 48,03%. Este valor de ROC, que ultrapassa o limite de 0,5, sugere que o modelo preditivo para incêndios médios é confiável e indica que esses incêndios são mais comuns dentro da IUF. A elevada probabilidade de ocorrência pode ser explicada pela interação de atividades humanas e características da vegetação, que facilitam a ignição e propagação desses incêndios.

Para os incêndios de pequeno porte, o valor do ROC é de 0,53, com uma probabilidade de ocorrência de 37,12%. Esses dados indicam que os incêndios pequenos também são bastante frequentes na IUF, embora em menor grau do que os médios. A confiabilidade moderada do modelo para incêndios pequenos reflete uma necessidade de monitoramento contínuo para melhor entender e gerenciar esses eventos.

No caso dos incêndios de grande porte, o ROC é de 0,52, e a probabilidade de ocorrência é de 15,21%. Esses valores sugerem que, embora o modelo tenha uma precisão razoável para prever incêndios grandes, a sua ocorrência é menos comum em comparação com os outros tamanhos. A menor incidência de incêndios grandes pode estar relacionada a condições de manejo eficazes ou à ausência de grandes acúmulos de material combustível. Esses resultados destacam a importância de priorizar estratégias de prevenção e controle voltadas principalmente para incêndios médios e pequenos, que apresentam maior probabilidade de ocorrer e impactar a interface urbano-florestal de Paraíso do Tocantins.

Tabela 54 – Dados da Regressão Logística para IUF Paraíso do Tocantins por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,52	15,21
Médio	0,52	48,03
Pequeno	0,53	37,12

O Figura 37 traz a análise das tendências apresentadas e oferece uma visão clara de como os incêndios de diferentes escalas se comportam em função da proximidade à IUF. A linha representando a probabilidade de incêndios pequenos, indicada em amarelo, inicia-se em um nível moderado e apresenta um aumento gradual à medida que a distância da IUF cresce. Esse padrão sugere que, em Paraíso do Tocantins, incêndios pequenos se tornam mais comuns em áreas mais afastadas da interface.

A linha vermelha, que representa a probabilidade de incêndios médios, mostra uma tendência de leve diminuição à medida que a distância da IUF aumenta, embora se mantenha em níveis relativamente altos em todo o gradiente analisado. Esse comportamento indica que os incêndios médios têm uma ocorrência consistente, ainda que menos intensa em áreas mais afastadas.

Por outro lado, a linha azul, representando a probabilidade de incêndios grandes, começa em um nível mais baixo e apresenta uma tendência de diminuição contínua com o aumento da distância. A baixa probabilidade de incêndios grandes, que diminui ainda mais à medida que se afasta da IUF, indica que esses eventos são raros e menos influenciados pela distância. Esse padrão sugere que incêndios de grande magnitude são menos prováveis nesse município, independente da proximidade à interface.

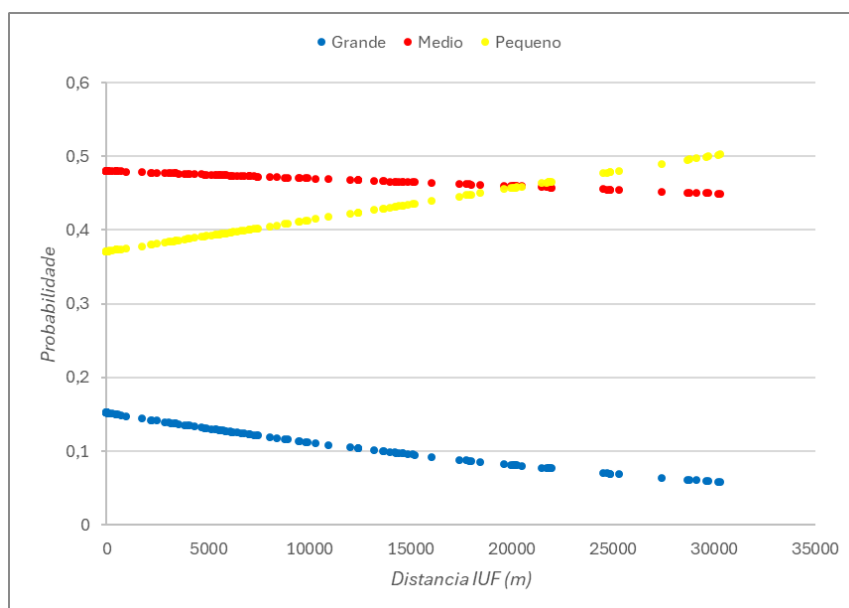


Figura 37 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Paraíso do Tocantins

A análise conjunta das curvas indica que incêndios pequenos ganham prevalência à medida que se afasta da IUF, enquanto a ocorrência de incêndios médios apresenta uma leve tendência de diminuição, embora se mantenha em níveis relativamente altos em todo o gradiente. A baixa probabilidade de incêndios grandes, que diminui ainda mais com o aumento da distância, aponta para uma menor suscetibilidade a esse tipo de evento, enfatizando a importância de continuar com as práticas de manejo de incêndios para minimizar os riscos.

6.7. LAGOA DA CONFUSÃO

Lagoa da Confusão, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 1941 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1993. Com uma área territorial de 10.563 km², o município está inserido no bioma Cerrado e apresenta uma densidade demográfica baixa, com apenas 1,0 habitante por km² conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 13.989 habitantes, refletindo um crescimento populacional em um contexto predominantemente rural, com uma taxa de urbanização de 62%.

Os indicadores sociais apontam para um desenvolvimento humano classificado como médio, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,627 em 2010. Sendo os parâmetros considerados a longevidade (0,787), a educação (0,496) e a renda (0,630), revelando desafios significativos, especialmente nas áreas de educação e renda. A situação de pobreza no município é alarmante, com 16% das famílias vivendo em pobreza extrema, 45% em pobreza absoluta e 79% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010, o que evidencia a necessidade de políticas públicas para a melhoria das condições socioeconômicas da população.

Em termos econômicos, Lagoa da Confusão apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 483.652,75 mil em 2018, resultando em um PIB per capita de R\$ 37.107,01. A economia local é diversificada, com a agropecuária como o setor mais relevante, contribuindo com R\$ 198.870 mil ao PIB, seguido pelo setor de serviços (R\$ 213.948 mil) e pela indústria (R\$ 35.196 mil). Em 2021, o município contava com 1.002 empresas, sendo 41% delas no setor de comércio. A produção agrícola destaca-se, especialmente com culturas de arroz, soja e melancia, que são fundamentais para a economia regional.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Lagoa da Confusão também refletem, tanto avanços, quanto desafios. A taxa de alfabetização da população era de 87% em 2010, um indicador que, embora positivo, ainda necessita de melhorias. Na área da saúde, o município registrou 178 nascimentos e 52 óbitos em 2019, com uma estrutura hospitalar capaz de atender a demanda local. O saneamento básico é majoritariamente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.7.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE LAGOA DA CONFUSÃO

A análise dos incêndios ocorridos no município de Lagoa da Confusão entre os anos de 2020 e 2023 revela um cenário de variações notáveis tanto na frequência dos eventos quanto nas áreas atingidas (Tabela 55). Em 2020, o município registrou um total de 1.180 incêndios, que afetaram uma área total de 252,89 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 214,32 ha, enquanto a mediana, que representa o valor central, ficou em 4,41 ha. O maior incêndio registrado no ano alcançou 50.864,60 ha, contrastando com o menor evento, que cobriu apenas 0,03 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 11,85

ha sugere que a maioria dos incêndios envolveu áreas menores, com alguns eventos de grande magnitude elevando a média.

No ano de 2021, houve uma redução significativa no número de incêndios, com 213 ocorrências, mas a área total queimada aumentou para 302,21 ha. A média de área afetada por incêndio subiu drasticamente para 1.418,82 ha, indicando que os incêndios, embora menos frequentes, foram consideravelmente maiores. A mediana de 143,41 ha sugere que um número significativo de incêndios cobriu áreas extensas. O maior incêndio registrado em 2021 afetou 70.436,70 ha, enquanto o menor evento envolveu 1,32 ha. O IQR de 401,87 ha reflete uma ampla variação na extensão das áreas queimadas, com uma significativa diferença entre os menores e os maiores incêndios.

Em 2022, o número de incêndios aumentou para 304, resultando em uma área total queimada de 103,08 ha. A média por incêndio foi de 339,07 ha, com a mediana de 39,12 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios teve uma extensão mais modesta em comparação ao ano anterior, embora ainda significativa. O maior incêndio do ano atingiu 23.086,00 ha, enquanto o menor foi novamente de 0,03 ha. O IQR de 157,76 ha indica que, embora houvesse uma concentração de incêndios de tamanho moderado, a variabilidade entre os eventos permaneceu alta.

Em 2023, houve um aumento tanto no número de incêndios, com 351 ocorrências, quanto na área total queimada, que chegou a 224,44 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 639,43 ha, com uma mediana de 21,24 ha. O maior incêndio registrado no ano cobriu 64.388,40 ha, enquanto o menor envolveu 0,18 ha. O IQR de 125,78 ha revela uma distribuição menos concentrada, mas ainda com uma significativa variação entre os incêndios de menor e maior porte.

Ao longo desses quatro anos, Lagoa da Confusão apresentou uma dinâmica de incêndios marcada por variações significativas na frequência e na magnitude dos eventos. Anos como 2021 destacam-se pela ocorrência de grandes incêndios, enquanto 2020 e 2023 mostram um maior número de eventos menores. A Figura 38 traz a distribuição destas queimas na geografia do município.

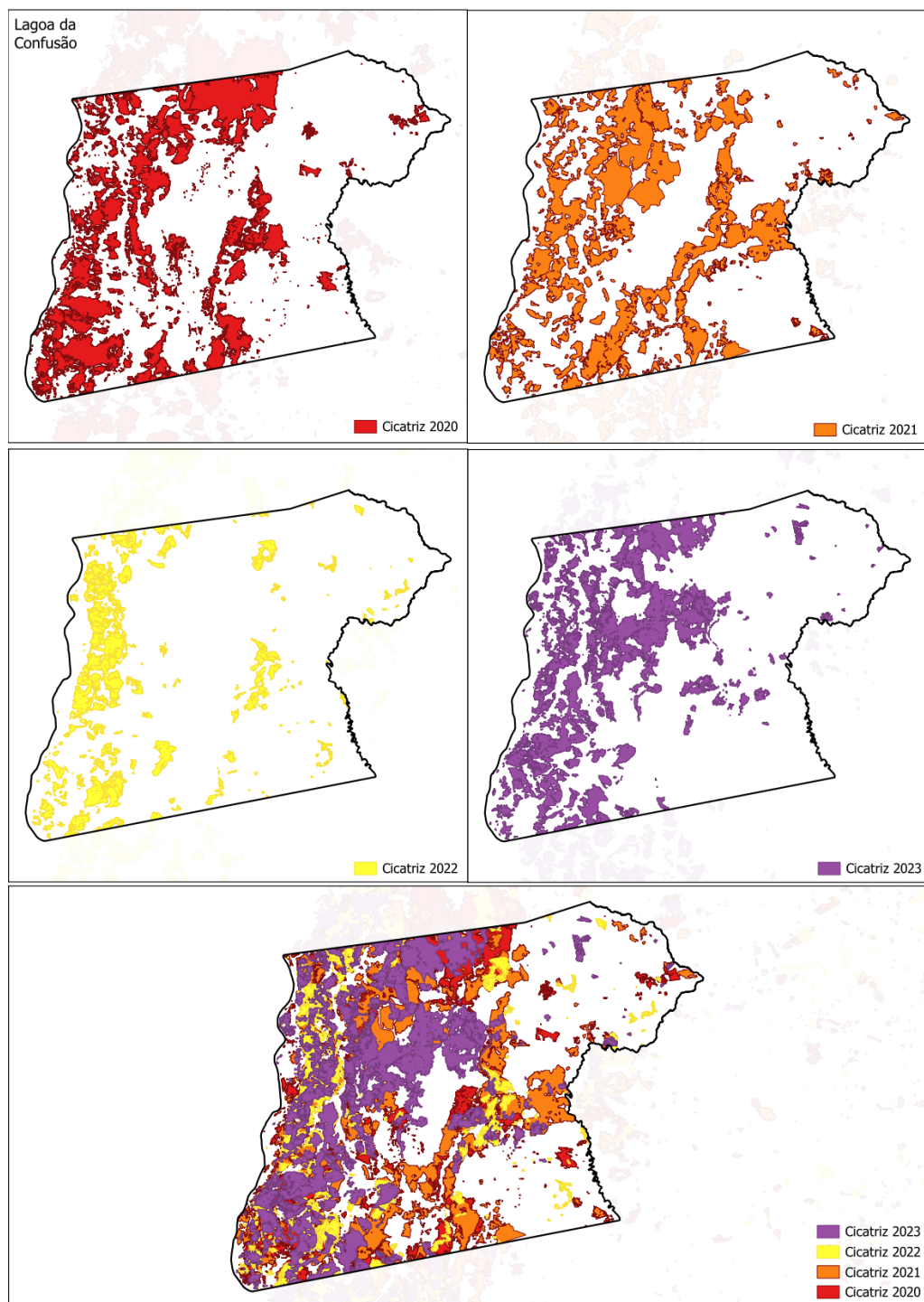


Figura 38 – Cicatrizes de incêndios para o município de Lagoa da Confusão por ano para o período de 2020 a 2023.

Tabela 55 – Incêndios no município de Lagoa da Confusão por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Lagoa da Confusão								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	252,89	1180	214,32	4,41	50.864,60	0,03	2,27	14,12	11,85
2021	302,21	213	1.418,82	143,41	70.436,70	1,32	60,62	462,49	401,87
2022	103,08	304	339,07	39,12	23.086,00	0,03	7,40	165,16	157,76
2023	224,44	351	639,43	21,24	64.388,40	0,18	5,99	131,77	125,78

6.7.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS – LAGOA DA CONFUSÃO

A análise dos dados referentes aos incêndios em Lagoa da Confusão entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, evidencia a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, apesar da variação na frequência dos diferentes tamanhos de incêndios (Tabela 56). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por uma extensão impressionante de 97,39% da área total queimada (246.293,00 ha), embora representassem apenas 14,41% do número total de incêndios, com 170 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,96% da área queimada (4.961,02 ha) e representaram 31,27% das ocorrências, com 369 registros. Pequenos incêndios, embora numericamente dominantes, representando 54,32% do total de incêndios com 641 ocorrências, impactaram apenas 0,65% da área queimada (1.637,25 ha).

Em 2021, a tendência de predominância dos grandes incêndios continuou, com 99,74% da área total queimada (301.419,00 ha) e 82,16% do número total de incêndios, com 175 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio, embora menos frequentes, representaram 0,26% da área queimada (782,63 ha) e 16,43% das ocorrências, com 35 registros. Pequenos incêndios foram quase inexistentes, representando aproximadamente 0,00% da área queimada (7,57 ha) e 1,41% do número total de incêndios, com 3 ocorrências.

No ano de 2022, os grandes incêndios continuaram a dominar, representando 98,30% da área total queimada (101.328,00 ha) e 49,01% do número de incêndios, com 149 ocorrências. Incêndios de tamanho médio representaram 1,55% da área queimada (1.598,84 ha) e 31,91% das ocorrências, com 97 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 19,08% das ocorrências com 58 registros, impactaram apenas 0,15% da área queimada (150,79 ha).

Em 2023, os grandes incêndios novamente foram predominantes, representando 98,90% da área total queimada (221.971,00 ha) e 38,46% do número de incêndios, com 135 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,00% da área queimada (2.233,56 ha) e 39,03% das ocorrências, com 137 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais numerosos, representando 22,51% do total de incêndios com 79 ocorrências, impactaram apenas 0,10% da área queimada (235,08 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, fica claro que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Lagoa da Confusão, com proporções sempre superiores a 97%. Esses incêndios, embora menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, foram responsáveis pela esmagadora maioria da devastação. Os incêndios de tamanho médio contribuíram significativamente para o número total de eventos, especialmente em 2023, onde quase igualaram os grandes incêndios em termos de frequência. Pequenos incêndios, apesar de serem os mais frequentes em alguns anos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados destacam a importância de focar nos grandes incêndios ao planejar estratégias de prevenção e combate, dado seu impacto desproporcional em termos de área afetada.

Tabela 56 – Descrição Incêndios em Lagoa da Confusão por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	1.637,25	0,65	641	54,32	4961,02	1,96	369	31,27	246.293,00	97,39	170	14,41
2021	7,57	0,00	3	1,41	782,63	0,26	35	16,43	301.419,00	99,74	175	82,16
2022	150,79	0,15	58	19,08	1.598,84	1,55	97	31,91	101.328,00	98,30	149	49,01
2023	235,08	0,10	79	22,51	2.233,56	1,00	137	39,03	221.971,00	98,90	135	38,46

6.7.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF – LAGOA DA CONFUSÃO

A Tabela 57 que descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Lagoa da Confusão apresenta uma visão clara das zonas de risco para incêndios, refletindo a interação entre as áreas urbanas e as vastas áreas de vegetação suscetíveis a queimadas. A área artificial, é relativamente pequena, abrangendo 1.589,46 ha. Em contraste, a área combustível, é extremamente extensa, totalizando 1.062.677,14 ha. Assim, a área da IUF, cobre 1.517,45 ha, sendo considerada pequena frente a outros municípios.

Tabela 57– Informações das áreas do Buffer e IUF – Lagoa da Confusão

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	1.589,46	1.062.677,14	1.517,45

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Lagoa da Confusão entre os anos de 2020 e 2023 revela uma variação considerável na frequência e extensão dos incêndios, com períodos de completa ausência de atividades e outros com incêndios pontuais (Tabela 58).

Em 2020, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. Em 2021, foi registrado um único incêndio dentro da IUF, que totalizou 7,43 ha queimados. Como houve apenas um evento, a média e a mediana coincidem, ambos sendo 7,43 ha. O fato de ter havido apenas um incêndio com um IQR de 0,00 ha indica que não houve variação no porte dos incêndios neste ano.

No ano de 2022, os incêndios voltaram a ocorrer com maior frequência, sendo registrados 5 eventos, totalizando uma área queimada de 19,75 ha. A média de área por incêndio foi de 3,95 ha, enquanto a mediana ficou em 1,00 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte, com um maior registro pontual de 12,37 ha. O IQR de 6,14 ha reflete uma variação considerável nos tamanhos dos incêndios, com alguns incêndios menores e outros um pouco maiores.

Em 2023, assim como em 2020, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando novamente em uma área queimada de 0,00 ha.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Lagoa da Confusão experimentou períodos de completa ausência de incêndios e anos com incidentes esporádicos e de menor intensidade em sua interface, esse fato pode estar ligado à baixa urbanização da população e da pequena extensão da área urbanizada frente a área total do município.

Tabela 58 – Incêndios em Lagoa da Confusão dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	7,43	1	7,43	7,43	7,43	7,43	7,43	7,43	0,00
2022	19,75	5	3,95	1,00	12,37	0,01	0,11	6,26	6,14
2023	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A análise dos incêndios no município de Lagoa da Confusão e especificamente dentro de sua Interface Urbano-Florestal (IUF) entre os anos de 2020 e 2023 evidencia diferenças significativas na distribuição espacial dos eventos (Tabela 59).

Em 2020, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. Em contraste, o município de Lagoa da Confusão registrou 252.892,00 ha queimados, o que correspondeu a 23,92% de sua área total. Esse dado indica que, embora a IUF não tenha sido afetada, a pressão do fogo foi intensa no território municipal como um todo.

Em 2021, foi registrado um incêndio dentro da IUF, que queimou 7,43 ha, representando 0,49% da área da IUF. No mesmo ano, o município totalizou 302.209,00 ha queimados, equivalentes a 28,59% de sua área total. A baixa contribuição da IUF nesse contexto reforça que a maioria dos incêndios ocorreu fora dessa zona.

No ano de 2022, a área queimada na IUF aumentou para 19,75 ha, correspondendo a 1,30% da área da IUF. Já o município registrou 103.078,00 ha queimados, representando 9,75% de sua área total. Apesar do aumento relativo da IUF em relação ao ano anterior, o impacto global dos incêndios foi consideravelmente menor quando comparado a 2020 e 2021.

Em 2023, novamente não houve registros de incêndios dentro da IUF, permanecendo em 0,00 ha. Contudo, o município registrou 224.440,00 ha queimados, equivalentes a 21,23% de sua área total, evidenciando que a pressão do fogo continuou elevada fora da IUF.

No período acumulado de 2020 a 2023, a área queimada dentro da IUF foi de 27,18 ha, enquanto o município totalizou 882.619,00 ha queimados. A última linha da tabela apresenta apenas os valores absolutos, sem cálculo de porcentagem acumulada, uma vez que a sobreposição de cicatrizes ao longo dos anos poderia distorcer a interpretação. Esses dados mostram que, embora a IUF seja uma área crítica para a gestão do fogo, a maior parte dos incêndios em Lagoa da Confusão ocorreu fora dessa interface.

Tabela 59 – Incêndios no município de Lagoa da Confusão e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Lagoa da Confusão	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	0,00	0,00	252.892,00	23,92
2021	7,43	0,49	302.209,00	28,59
2022	19,75	1,30	103.078,00	9,75
2023	0,00	0,00	224.440,00	21,23
2020 á 2023	27,18 ha		882.619,00 ha	

Tabela 60 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Lagoa da Confusão

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,00	0,14

A relação entre a área queimada na IUF e no município de Lagoa da Confusão (Tabela 60) revela uma participação mínima da interface no contexto geral. A área de incêndios na IUF representou 0,00% em relação ao total queimado no município, enquanto a área total da IUF corresponde a apenas 0,14% da área municipal. Esses dados reforçam que, apesar de a IUF ser uma zona sensível, os incêndios em Lagoa da Confusão se concentram majoritariamente em áreas fora dessa interface, reduzindo o peso relativo da IUF na dinâmica do fogo local.

No que se refere ao uso e cobertura do solo, observa-se que os incêndios na IUF atingiram principalmente áreas de pastagem (16,95 ha), seguidas por formações savânicas (3,46 ha) e pequenos mosaicos de usos (1,92 ha). Áreas urbanizadas (2,71 ha) e outras áreas não vegetadas (2,14 ha) também foram afetadas, ainda que em menor escala. Esse padrão indica que, mesmo em uma IUF pouco representativa dentro do município, as atividades agropecuárias — especialmente a pastagem — permanecem como o principal vetor associado à ocorrência de incêndios (Tabela 61).

Tabela 61 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Lagoa da Confusão

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,00
	Formação Savânica	3,46
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,00
Agropecuária	Pastagem	16,95
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	1,92
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	2,71
	Outras Áreas não Vegetadas	2,14
	Mineração	0,00

6.7.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-LAGOA DA CONFUSÃO

Os resultados da regressão logística para a IUF de Lagoa da Confusão indicam uma elevada tendência de ocorrência de incêndios de grande porte (Tabela 62), com um ROC de 0,67 e uma probabilidade de 44,90%. Este valor de ROC sugere que o modelo preditivo é eficaz para identificar incêndios grandes, que são relativamente comuns na área. Incêndios de médio porte, com um ROC de 0,51 e probabilidade de 35,51%, também ocorrem com frequência, embora sem grande variação de comportamento em relação à distância da IUF.

Para os incêndios pequenos, o ROC é de 0,61, e a probabilidade de ocorrência é de 25,43%, indicando que, apesar de menos frequentes nas áreas próximas à IUF, ganham importância progressivamente em regiões mais distantes. Esses dados destacam a necessidade de estratégias de gestão focadas especialmente nos incêndios grandes, devido à sua maior probabilidade de ocorrência e ao potencial de

causar danos extensivos, mas sem negligenciar o controle dos incêndios médios e pequenos, que também são comuns na região.

Tabela 62 – Dados da Regressão Logística para IUF Lagoa da Confusão por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,67	44,90
Médio	0,51	35,51
Pequeno	0,61	25,43

As curvas de probabilidade (Figura 39) demonstram como os incêndios se distribuem em função da distância à IUF. A linha amarela, que representa a probabilidade de ocorrência de incêndios pequenos, inicia em patamares mais baixos próximos à interface e cresce de forma contínua e expressiva conforme aumenta a distância. Esse comportamento sugere que incêndios menores são mais prevalentes em áreas distantes da interface urbano-florestal, possivelmente devido à menor presença humana e à maior acumulação de material combustível nessas regiões.

Em contraste, a linha azul, que representa a probabilidade de incêndios grandes, tem início elevado próximo à IUF e apresenta tendência de queda acentuada com o aumento da distância. Esse padrão indica que incêndios de grande porte são mais comuns nas áreas próximas à interface urbano-florestal, que pode indicar que fatores antrópicos e maior densidade de combustíveis contribuem para sua ocorrência.

Já a linha vermelha, que representa a probabilidade de incêndios médios, mantém-se praticamente estável em todo o gradiente analisado, com pequenas oscilações, sem apresentar tendência clara de crescimento ou queda. Isso sugere que sua ocorrência depende menos da proximidade da IUF e mais de fatores estruturais da vegetação e condições ambientais.

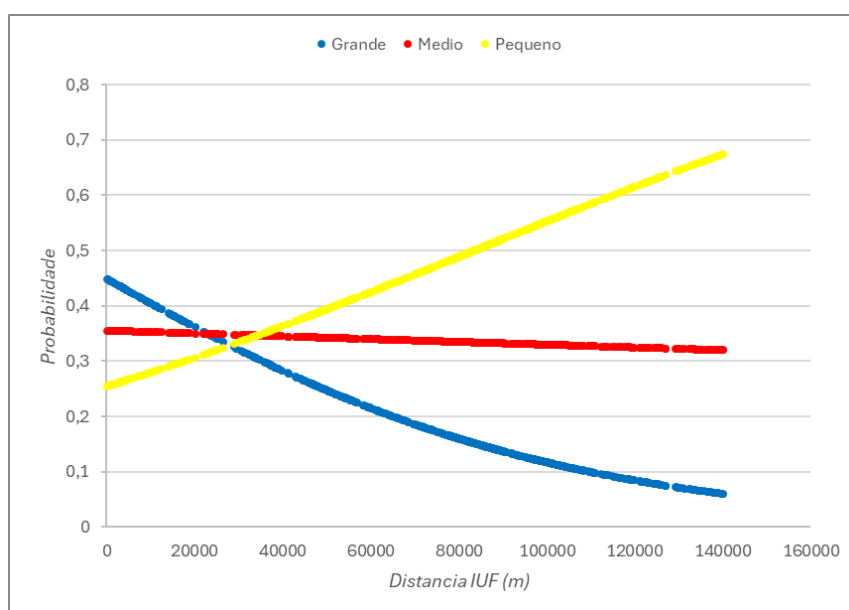


Figura 39 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Lagoa da Confusão

A interação entre as curvas mostra que incêndios grandes predominam próximos à IUF, enquanto os pequenos se intensificam em áreas distantes. Os médios, por sua vez, mantêm uma distribuição uniforme, reforçando a necessidade de manejo diferenciado para cada escala de incêndio em Lagoa da Confusão.

6.8. FORMOSO DO ARAGUAIA

Formoso do Araguaia, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 1949 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1964, sob a liderança de Pantaleão de Souza Correia. O município abrange uma vasta área territorial de 13.432 km², inserido no bioma Cerrado, apresentando uma densidade demográfica baixa de 1,4 habitantes por km², segundo o censo de 2010. Em 2021, a população estimada era de 18.358 habitantes, com uma taxa de urbanização de 72,4%, demonstrando que, embora a maior parte da população viva em áreas urbanas, a extensão rural ainda desempenha um papel significativo na estrutura do município.

Os indicadores sociais de Formoso do Araguaia refletem um desenvolvimento humano médio, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,670 registrado em 2010. Esse índice é composto por subíndices de longevidade (0,801), educação (0,587) e renda (0,640), apontando para avanços em diversas áreas, mas também revelando desafios consideráveis. A situação socioeconômica do município é marcada por elevados níveis de pobreza, com 21% das famílias em condição de pobreza extrema, 47% em pobreza absoluta e 78% vivendo com até um salário-mínimo, de acordo com dados do mesmo período.

No aspecto econômico, Formoso do Araguaia registrou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 349.562,25 mil em 2018, correspondendo a um PIB per capita de R\$ 18.913,66. A economia do município é diversificada, com o setor de serviços representando a maior parte do valor adicionado bruto (R\$ 212.727 mil), seguido pela agropecuária (R\$ 84.938 mil) e pela indústria (R\$ 27.016 mil). Em 2021, o município contava com 1.331 empresas, sendo o comércio o setor mais representativo, correspondendo a 44% dos estabelecimentos. A produção agrícola é significativa, com destaque para culturas como arroz, soja e milho.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Formoso do Araguaia apresentam indicadores que refletem, tanto avanços, quanto desafios. A taxa de alfabetização em 2010 era de 88,4%, indicando um bom nível educacional entre os habitantes. Na área da saúde, o município registrou 274 nascimentos e 127 óbitos em 2019, dispondo de uma estrutura hospitalar capaz de atender a população. O abastecimento de água e o esgotamento sanitário são predominantemente adequados.

6.8.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE FORMOSO DO ARAGUAIA

A análise dos dados de incêndios no município de Formoso do Araguaia entre 2020 e 2023 revela uma variação significativa tanto na frequência dos incêndios quanto na extensão das áreas afetadas ao longo dos anos (Tabela 63). Em 2020, o município registrou 877 incêndios, resultando em uma área total queimada de 247.439,00 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 282,14 ha, enquanto a mediana indica que metade dos incêndios envolveu áreas menores que 4,17 ha. O maior incêndio registrado nesse ano foi de 136.984,00 ha, contrastando com o menor incêndio, que não ultrapassou uma área mínima. O intervalo interquartil (IQR) de 11,42 ha sugere que, apesar de alguns incêndios de grande magnitude, a maioria dos eventos envolveu áreas relativamente pequenas.

Em 2021, houve uma diminuição no número de incêndios, com 298 ocorrências registradas, porém a área total queimada foi de 192.984,00 ha. A média de área queimada por incêndio subiu para 647,60 ha, indicando que, apesar de menos frequentes, os incêndios foram, em média, mais extensos do que no ano anterior. A mediana de 43,66 ha reflete uma distribuição onde incêndios de maior porte foram mais comuns. O maior incêndio registrado em 2021 cobriu uma área de 33.378,60 ha, enquanto o menor atingiu 1,24 hectare. O IQR de 159,77 ha revela uma grande variação entre os incêndios menores e os maiores.

Em 2022, o número de incêndios diminuiu ainda mais, totalizando 234, mas a área total queimada foi de 98.911,00 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 422,70 ha, e a mediana de 30,54 ha sugere uma predominância de incêndios de porte médio, embora com eventos consideráveis. O maior incêndio do ano afetou 32.174,30 ha, e o menor foi de 1,01 ha. O IQR de 91,58 ha indica uma variabilidade significativa nas áreas queimadas, com uma distribuição mais ampla entre os incêndios.

Em 2023, foram registrados 242 incêndios, que resultaram em uma área total queimada de 107.727,00 ha. A média por incêndio foi de 445,15 ha, e a mediana ficou em 27,50 ha, mostrando que, apesar de uma quantidade moderada de incêndios, alguns eventos foram substancialmente maiores. O maior incêndio de 2023 envolveu uma área de 25.114,70 ha, enquanto o menor foi de apenas 0,04 ha. O IQR de 145,63 ha reflete uma dispersão considerável na distribuição das áreas queimadas, destacando tanto a ocorrência de incêndios menores quanto de grandes proporções.

Ao longo desses quatro anos, Formoso do Araguaia apresentou uma variação expressiva na quantidade e no tamanho dos incêndios, com anos como 2020 e 2023 mostrando uma maior quantidade de incêndios menores, enquanto 2021 e 2022 tiveram menos eventos, mas com áreas queimadas significativamente maiores. Figura 40 demonstra a distribuição destes incêndios na área do município.

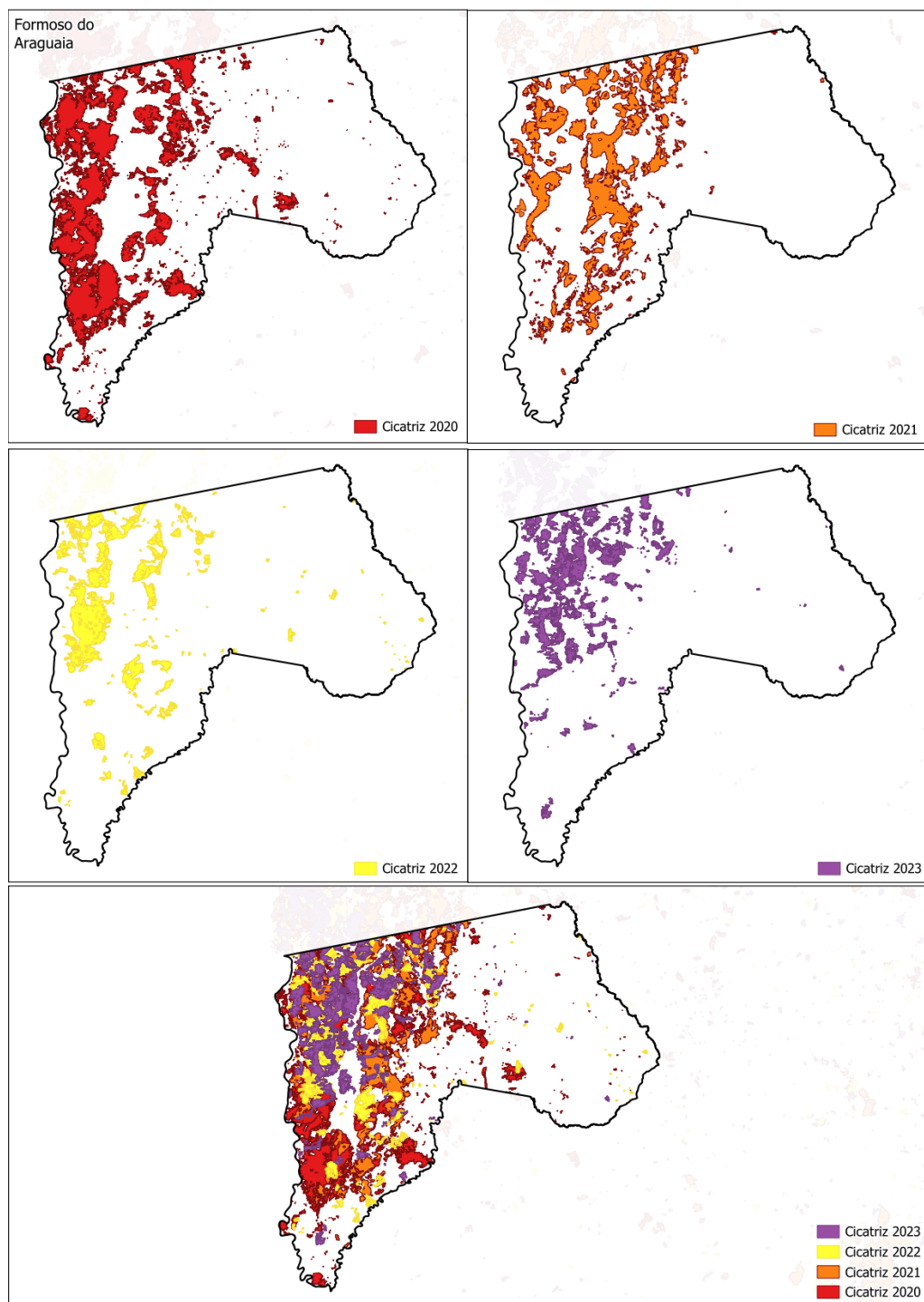


Figura 40 – Cicatrizes de incêndios para o município de Formoso do Araguaia por ano no período de 2020 a 2023.

Tabela 63 – Incêndios no município de Formoso do Araguaia por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Formoso do Araguaia								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	247.439,00	877	282,14	4,17	136.984,00	0,00	2,25	13,67	11,42
2021	192.984,00	298	647,60	43,66	33.378,60	1,24	18,36	178,13	159,77
2022	98.911,00	234	422,70	30,54	32174,30	1,01	6,52	98,10	91,58
2023	107.727,00	242	445,15	27,50	25114,7	0,04	6,31	151,94	145,63

6.8.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - FORMOSO DO ARAGUAIA

A análise dos dados referentes aos incêndios em Formoso do Araguaia entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela a predominância esmagadora dos grandes incêndios em termos de área queimada, apesar das variações na frequência dos diferentes tamanhos de incêndios ao longo dos anos (Tabela 64). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 98,10% da área total queimada (242.741,00 ha), embora representassem apenas 14,37% do número total de incêndios, com 126 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,41% da área queimada (3.493,48 ha) e representaram 30,10% das ocorrências, com 264 registros. Pequenos incêndios, apesar de serem os mais numerosos, representando 55,53% do total de incêndios com 487 ocorrências, impactaram apenas 0,49% da área queimada (1.204,89 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar, representando 98,61% da área total queimada (190.306,00 ha) e 51,68% do número total de incêndios, com 154 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio, embora menos frequentes, representaram 1,37% da área queimada (2.645,61 ha) e 44,97% das ocorrências, com 134 registros. Pequenos incêndios foram menos significativos, representando 0,02% da área queimada (32,34 ha) e 3,36% do número total de incêndios, com 10 ocorrências.

No ano de 2022, os grandes incêndios continuaram a ser a principal causa da área queimada, representando 98,23% da área total (97.164,00 ha) e 42,31% do número de incêndios, com 99 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,65% da área queimada (1.630,78 ha) e 39,32% das ocorrências, com 92 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 18,38% das ocorrências com 43 registros, impactaram apenas 0,12% da área queimada (116,19 ha).

Em 2023, os grandes incêndios novamente foram predominantes, representando 98,48% da área total queimada (106.091,00 ha) e 41,74% do número de incêndios, com 101 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,40% da área queimada (1.511,32 ha) e 40,91% das ocorrências, com 99 registros. Pequenos incêndios, que foram os menos frequentes, representando 17,36% do total de incêndios com 42 ocorrências, impactaram apenas 0,12% da área queimada (124,48 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios consistentemente dominam a área total queimada em Formoso do Araguaia, com proporções sempre superiores a 98%. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela maior parte da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, têm um impacto muito menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem os mais numerosos, têm um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados indicam que a gestão e o controle dos grandes incêndios devem ser prioritários nas estratégias de prevenção e combate aos incêndios na região.

Tabela 64 – Descrição Incêndios em Formoso do Araguaia por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	1.204,89	0,49	487	55,53	3493,48	1,41	264	30,10	242.741,00	98,10	126	14,37
2021	32,34	0,02	10	3,36	2645,61	1,37	134	44,97	190.306,00	98,61	154	51,68
2022	116,19	0,12	43	18,38	1.630,78	1,65	92	39,32	97.164,00	98,23	99	42,31
2023	124,48	0,12	42	17,36	1.511,32	1,40	99	40,91	106.091,00	98,48	101	41,74

6.8.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - FORMOSO DO ARAGUAIA

A área artificial, cobre 1.316,43 ha. Em contraste, a área combustível, é extremamente extensa, totalizando 1.354.335,78 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, cobre 1.151,12 ha (Tabela 65).

Tabela 65 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Formoso do Araguaia

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	1.316,43	1.354.335,78	1.151,12

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Formoso do Araguaia entre os anos de 2020 e 2023 mostra uma atividade limitada de incêndios, com apenas um ano apresentando registros, seguido por anos de completa ausência de incidentes (Tabela 66).

Em 2020, foram registrados 4 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 12,34 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 3,08 ha, enquanto a mediana foi de 2,06 ha, sugerindo que os incêndios variaram em tamanho, mas permaneceram relativamente pequenos. O maior incêndio registrado cobriu 7,20 ha, enquanto o menor afetou 1,01 hectare. O intervalo interquartil (IQR) de 3,21 ha reflete uma variação moderada nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração em torno de eventos menores.

Nos anos de 2021, 2022 e 2023, não houve registros de incêndios dentro da IUF em Formoso do Araguaia, resultando em uma área queimada de 0,00 ha para cada ano. Essa ausência de incêndios sugere uma ausência de atividades que poderiam iniciar queimas acidentais ou intencionais nesses anos ou que as condições ambientais não favoreceram a propagação de incêndios.

Tabela 66 – Incêndios em Formoso do Araguaia dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Formoso do Araguaia								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	12,34	4	3,08	2,06	7,20	1,01	1,48	4,69	3,21
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A relação entre os incêndios no município e dentro da IUF evidencia que, embora Formoso do Araguaia tenha registrado áreas extensas queimadas no período (chegando a 247.439 ha em 2020 e mais de 192 mil ha em 2021), a IUF teve participação mínima nos totais. Apenas em 2020 houve registro de incêndios na interface, com 12,34 ha queimados, representando 1,07% de sua área, enquanto o município chegou a 18,41% de área queimada. Nos anos seguintes, mesmo com percentuais relevantes no território municipal (14,36% em 2021; 7,36% em 2022; 8,02% em 2023), a IUF permaneceu sem registros. No acumulado 2020–2023, a interface contabilizou apenas 12,34 ha queimados frente a 647.061 ha em todo o município, reforçando sua baixa representatividade no contexto dos incêndios locais, como se pode observar na Tabela 67.

Tabela 67 – Incêndios no município de Formoso do Araguaia e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Formoso do Araguaia	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	12,34	1,07	247.439,00	18,41
2021	0,00	0,00	192.984,00	14,36
2022	0,00	0,00	98.911,00	7,36
2023	0,00	0,00	107.727,00	8,02
2020 á 2023	12,34 ha		647.061,00 ha	

A relação percentual confirma essa baixa representatividade (Tabela 68): enquanto a IUF corresponde a 0,09% da área total do município, ela concentrou 0,00% das áreas queimadas no acumulado de 2020 a 2023. Isso reforça que, diferentemente de outros municípios, a interface urbano-florestal de Formoso do Araguaia teve impacto praticamente nulo nos incêndios ocorridos no período analisado.

Tabela 68 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Formoso do Araguaia

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
0,00	0,09

A distribuição dos incêndios por tipologia do uso do solo dentro da IUF, observada na Tabela 69, mostra maior ocorrência em pastagens (8,03 ha), seguida por áreas urbanizadas (2,64 ha). Houve ainda registros pontuais em formação savânica (1,00 ha), formação campestre (0,14 ha) e em outras áreas não vegetadas (0,53 ha). Essa concentração em áreas abertas e modificadas sugere que os incêndios na IUF de Formoso do Araguaia estão associados a contextos de maior exposição e menor cobertura florestal, onde a vegetação rala e os espaços já convertidos tendem a favorecer a propagação rápida do fogo, mesmo em eventos de menor escala.

Tabela 69 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Formoso do Araguaia

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,00
	Formação Savânica	1,00
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,14
Agropecuária	Pastagem	8,03
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,00
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	2,64
	Outras Áreas não Vegetadas	0,53
	Mineração	0,00

6.8.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-FORMOSO DO ARAGUAIA

A análise dos dados de regressão logística para a IUF de Formoso do Araguaia indica que incêndios pequenos apresentam a maior probabilidade de ocorrência, com um valor de ROC de 0,50 e uma probabilidade de 46,25%. Apesar da limitação preditiva do modelo para este grupo, os incêndios pequenos se destacam como os mais frequentes na região, possivelmente associados a focos iniciais que não evoluem para eventos de maior magnitude (Tabela 70).

Os incêndios de médio porte apresentam um ROC de 0,52 e uma probabilidade de 33,49%, evidenciando ocorrência moderada e previsão ligeiramente mais confiável em comparação aos pequenos. Já os incêndios grandes têm uma probabilidade de 20,37% e o mesmo valor de ROC (0,52), indicando menor frequência dentro da IUF e uma previsão com confiabilidade apenas razoável. Esses resultados reforçam a necessidade de priorizar a prevenção e o monitoramento de incêndios pequenos e médios, que concentram a maior parte das ocorrências e podem se transformar em eventos mais severos caso não sejam rapidamente controlados.

Tabela 70 – Dados da Regressão Logística para IUF Formoso do Araguaia por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,52	20,37
Médio	0,52	33,49
Pequeno	0,50	46,25

O gráfico da Figura 41 mostra como a probabilidade de ocorrência varia conforme a distância da IUF. A curva amarela, referente aos incêndios pequenos, mantém valores elevados e relativamente estáveis, com leve tendência de diminuição à medida que a distância aumenta. Isso sugere que esses eventos são comuns em toda a extensão da IUF, mas ligeiramente mais prováveis em áreas próximas.

A linha vermelha, que representa os incêndios médios, apresenta uma tendência de crescimento gradual com o afastamento da interface. Esse comportamento indica que tais eventos estão associados a áreas mais distantes da IUF, possivelmente relacionadas à presença de vegetação menos manejada e maior disponibilidade de biomassa, condições que favorecem a propagação de incêndios de porte intermediário.

Por fim, a linha azul, correspondente aos incêndios grandes, revela uma diminuição contínua da probabilidade conforme a distância aumenta. Essa tendência indica que os incêndios de grande porte são mais prováveis em áreas próximas à interface urbano-florestal, mas tornam-se progressivamente menos comuns em regiões afastadas, sugerindo que fatores como a densidade de ocupação e a disponibilidade de combustível próximo à IUF desempenham papel importante na sua ocorrência.

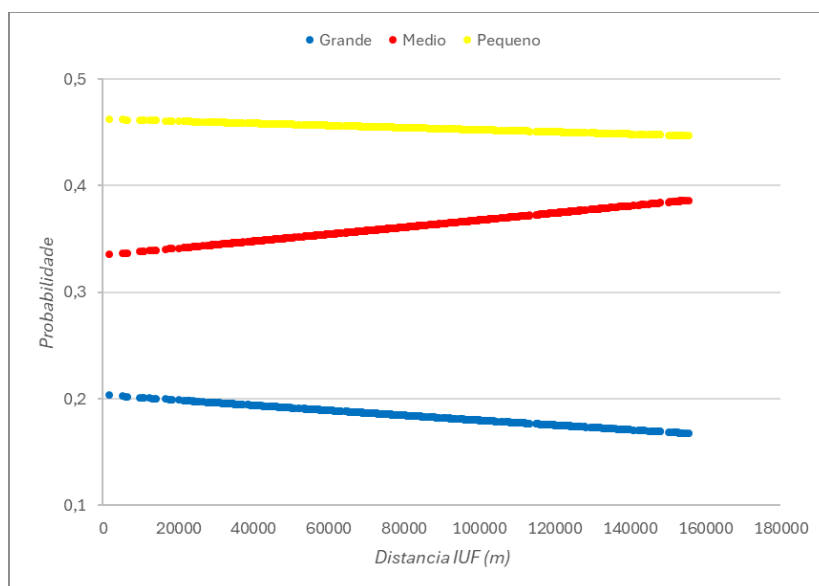


Figura 41 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Formoso do Araguaia

Em síntese, a interação entre as curvas mostra que os incêndios pequenos predominam em toda a área, os médios ganham relevância em regiões mais distantes da IUF, e os grandes se concentram nas proximidades da interface. Esse padrão reforça a necessidade de estratégias de prevenção diferenciadas, adaptadas ao porte e à localização dos incêndios no município.

6.9. PARANÃ

O município de Paranã, localizado ao sul do Estado do Tocantins, foi fundado em 1857 e instalado oficialmente em 5 de outubro de 1957. Com uma área territorial extensa de 11.217 km², Paranã está inserido no bioma Cerrado e apresenta uma densidade demográfica extremamente baixa, de apenas 0,9 habitante por km² conforme o censo de 2010. Em 2021, a população estimada era de 10.426 habitantes, refletindo uma população dispersa e predominantemente rural, já que a taxa de urbanização é de apenas 45,7%.

Os indicadores sociais de Paranã revelam um desenvolvimento humano baixo, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,595 registrado em 2010 (longevidade (0,777), educação (0,461) e renda (0,588)), indicando que a cidade enfrenta desafios significativos, especialmente nas áreas de educação e renda. A pobreza é uma questão crítica no município, com 39% das famílias vivendo em pobreza extrema, 63% em pobreza absoluta e 88% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010.

Em termos econômicos, Paranã apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 215.335,60 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 20.584,61. A economia do município é diversificada, com a

agropecuária contribuindo com R\$ 24.459 mil ao PIB, enquanto os setores de indústria e serviços representam R\$ 91.847 mil e R\$ 90.092 mil, respectivamente. Em 2021, o município contava com 351 empresas, sendo que 49% delas atuam no comércio. No entanto, o mercado de trabalho formal é desafiador, com um saldo negativo de 9 empregos em 2021, o que aponta para a necessidade de elaboração de estratégias para estimular a criação de empregos e o desenvolvimento social e econômico local.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Paranã também refletem desafios importantes. A taxa de alfabetização era de 76,8% em 2010, indicando que ainda há um longo caminho a percorrer na melhoria da educação no município. Na área da saúde, Paranã registrou 153 nascimentos e 40 óbitos em 2019, e conta com uma estrutura hospitalar limitada. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.9.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PARANÃ

A análise dos incêndios ocorridos no município de Paranã ao longo dos anos de 2020 a 2023 revela uma variação significativa, tanto na frequência dos eventos, quanto na extensão das áreas afetadas (Tabela 71). Em 2020, Paranã registrou 229 incêndios, resultando em uma área total queimada de 93.981,70 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 410,40 ha, com uma mediana de 4,73 ha, indicando que a maioria dos incêndios envolveu áreas relativamente pequenas. O maior incêndio registrado no ano cobriu 18.798,10 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,02 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 12,86 ha sugere uma concentração de incêndios menores, apesar da presença de alguns eventos de grande magnitude que elevaram a média.

No ano de 2021, embora o número total de incêndios tenha diminuído para 192, a área total queimada aumentou significativamente para 161.733,00 ha. A média de área por incêndio subiu para 842,36 ha, refletindo a ocorrência de incêndios mais extensos. A mediana de 38,63 ha sugere que, nesse ano, houve uma maior frequência de incêndios de médio a grande porte. O maior incêndio registrado neste município atingiu 90.616,60 ha, enquanto o menor abrangeu 0,49 ha. O IQR de 130,67 ha evidencia uma ampla variação entre os incêndios, com uma diferença considerável entre os menores e maiores eventos.

Em 2022, o município registrou um aumento no número de incêndios, com 514 ocorrências que afetaram uma área total de 100.353,00 ha. A média por incêndio foi de 195,24 ha, com uma mediana de 18,02 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de porte menor em comparação aos anos anteriores, embora ainda significativos. O maior incêndio ocorrido no ano atingiu 19.282,50 ha, e o menor foi de 0,25 ha. O IQR de 58,23 ha reflete uma distribuição mais concentrada, com menos variação extrema nas áreas queimadas.

Em 2023, o número total de incêndios caiu para 255, resultando em uma área total queimada de 101.551,00 ha. A média de área por incêndio foi de 398,24 ha, enquanto a mediana ficou em 11,11 ha, o que indica uma maior incidência de incêndios menores, embora, conforme dados analisados, alguns eventos tenham sido consideravelmente grandes. O maior incêndio registrado cobriu 52.122,10 ha, enquanto o menor foi de 0,49 ha. O IQR de 56,91 ha sugere uma concentração similar à observada em 2022, com uma distribuição relativamente homogênea dos tamanhos dos incêndios, mas ainda com variações significativas.

Ao longo desses quatro anos, Paranã apresentou uma dinâmica de incêndios caracterizada por flutuações, tanto na frequência, quanto na magnitude dos eventos, com particular destaque para 2021,

quando grandes incêndios foram predominantes. A distribuição espacial destas queimas pode ser observada na Figura 42.

Tabela 71 – Incêndios no município de Paranã por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Paranã								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	93.981,70	229	410,40	4,73	18.798,10	0,02	2,48	15,34	12,86
2021	161.733,00	192	842,36	38,63	90.616,60	0,49	7,21	137,88	130,67
2022	100.353,00	514	195,24	18,02	19.282,50	0,25	7,06	65,28	58,23
2023	101.551,00	255	398,24	11,11	52.122,10	0,49	3,21	60,12	56,91

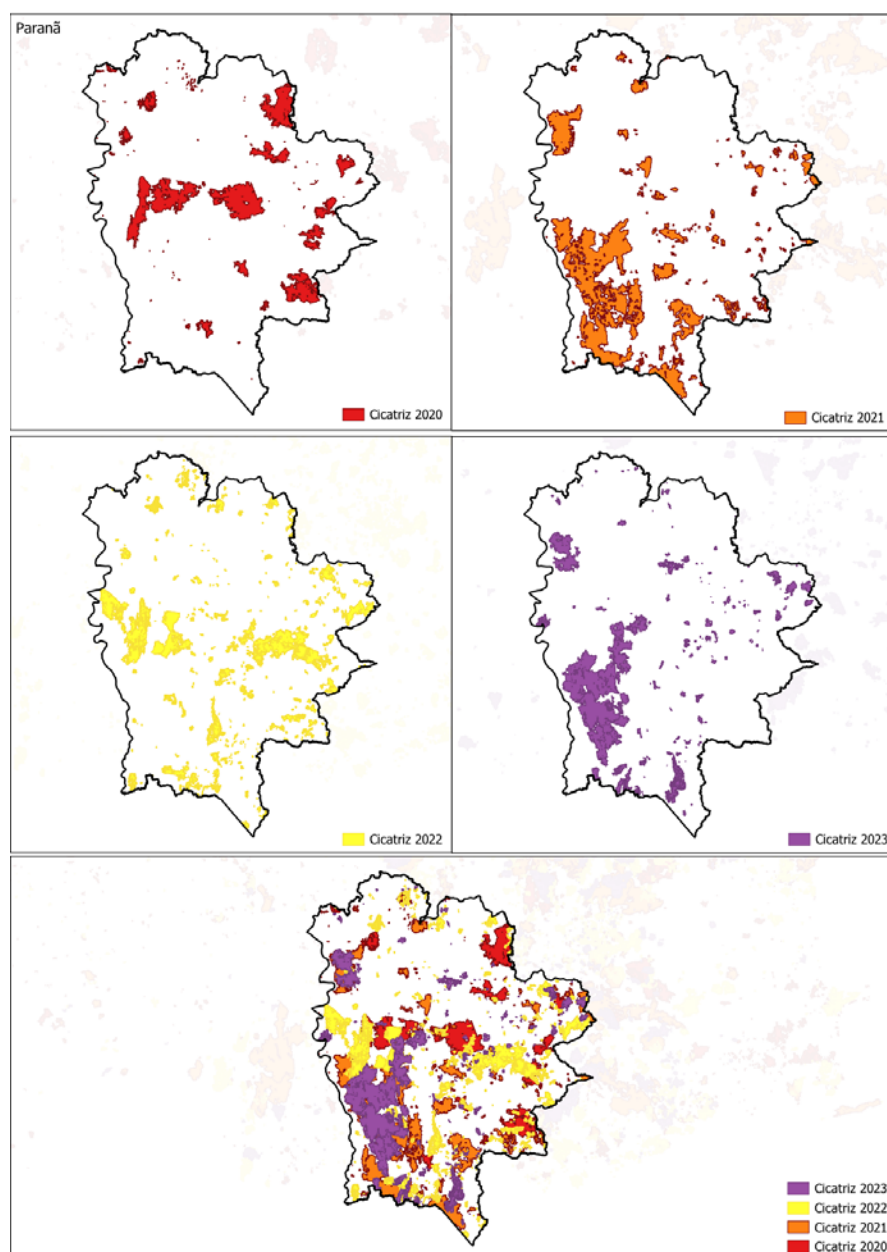


Figura 42 – Cicatrizes de incêndios para o município de Paranã por ano no período de 2020 a 2023.

6.9.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PARANÃ

A análise dos dados referentes aos incêndios em Paranã entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, apesar de uma variação na frequência dos diferentes tamanhos de incêndios ao longo dos anos (Tabela 72). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 98,58% da área total queimada (92.647,30 ha), embora representassem apenas 15,28% do número total de incêndios, com 35 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,11% da área queimada (1.041,73 ha) e representaram 33,19% das ocorrências, com 76 registros. Pequenos incêndios, embora numericamente dominantes, representando 51,53% do total de incêndios com 118 ocorrências, impactaram apenas 0,31% da área queimada (292,64 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a ser predominantes, representando 99,16% da área total queimada (160.371,00 ha) e 47,40% do número total de incêndios, com 91 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 0,78% da área queimada (1.260,00 ha) e 32,81% das ocorrências, com 63 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 19,79% das ocorrências com 38 registros, impactaram apenas 0,06% da área queimada (101,89 ha).

No ano de 2022, a distribuição mudou significativamente, com os incêndios de tamanho médio representando 3,91% da área total queimada (3.922,66 ha) e 48,83% do número de incêndios, com 251 ocorrências. Os grandes incêndios, embora ainda significativos, foram responsáveis por 5,32% da área queimada (5.339,35 ha) e 15,56% das ocorrências, com 80 registros. Pequenos incêndios, que foram numerosos, representando 17,51% do total de incêndios com 90 ocorrências, impactaram apenas 0,26% da área queimada (262,73 ha).

Em 2023, os grandes incêndios retomaram sua predominância, representando 98,43% da área total queimada (99.953,50 ha) e 29,80% do número de incêndios, com 76 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,36% da área queimada (1.383,01 ha) e 35,29% das ocorrências, com 90 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 34,90% do total de incêndios com 89 ocorrências, impactaram apenas 0,21% da área queimada (214,02 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram a área total queimada na maioria dos anos, exceto em 2022, onde houve uma maior distribuição entre os incêndios médios e grandes. A frequência dos pequenos incêndios foi sempre alta, mas seu impacto na área total queimada permaneceu mínimo. Esses dados indicam que, embora os grandes incêndios sejam menos frequentes, eles são responsáveis pela maior parte da devastação em Paranã, tornando essencial o foco em sua prevenção e controle para mitigar os danos causados por esses eventos.

Tabela 72 – Descrição Incêndios em Paranã por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	292,64	0,31	118	51,53	1041,73	1,11	76	33,19	92.647,30	98,58	35	15,28
2021	101,89	0,06	38	19,79	1.260,00	0,78	63	32,81	160.371,00	99,16	91	47,40
2022	262,73	0,26	90	17,51	3.922,66	3,91	251	48,83	5.339,35	5,32	80	15,56
2023	214,02	0,21	89	34,90	1.383,01	1,36	90	35,29	99.953,50	98,43	76	29,80

6.9.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PARANÃ

A tabela que descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Paranã oferece uma visão clara das zonas de risco para incêndios, refletindo a interação entre as áreas urbanas e as vastas áreas de vegetação suscetíveis a queimadas. A área artificial, cobre 729,46 ha. Em contraste, a área combustível, é extremamente extensa, totalizando 1.123.972,08 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, abrange 700,10 ha (Tabela 73). Embora a IUF seja relativamente pequena em comparação com a vasta área combustível, sua localização estratégica na interface entre áreas urbanas e áreas suscetíveis a queimadas torna-a essencial para a prevenção e controle de incêndios. A proporção da área IUF em relação à área artificial e à área combustível evidencia a necessidade de uma abordagem focada e integrada para a gestão de incêndios, especialmente nas zonas de interface onde os riscos de propagação podem ser maiores.

Tabela 73 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Paranã

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	729,46	1.123.972,08	700,10

A análise dos incêndios ocorridos dentro da Interface Urbano-Florestal (IUF) em Paranã entre os anos de 2020 e 2023 (Tabela 74) revela variações significativas na extensão e na frequência dos incêndios, refletindo diferentes padrões ao longo dos anos.

Em 2020, foram registrados 4 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 58,18 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 14,55 ha, enquanto a mediana foi de 15,43 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de médio a grande porte. O maior incêndio registrado cobriu 21,98 ha, enquanto o menor afetou 5,34 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 9,73 ha sugere uma variação moderada nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração em torno de eventos de maior porte.

No ano de 2021, também foram registrados 4 incêndios, totalizando uma área queimada de 25,68 ha. A média de área por incêndio foi de 6,42 ha, e a mediana ficou em 5,47 ha, indicando uma redução no porte médio dos incêndios em comparação a 2020. O maior incêndio abrangeu 14,73 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,006 ha. O IQR de 12,52 ha reflete uma dispersão significativa, com incêndios variando de muito pequenos a relativamente grandes.

Em 2022, foram registrados apenas 2 incêndios, totalizando 25,22 ha queimados. A média e a mediana foram idênticas, 12,61 ha, sugerindo que os dois incêndios tiveram portes similares. O maior incêndio cobriu 25,21 ha, enquanto o menor afetou 0,02 ha. O IQR de 25,19 ha reflete a significativa diferença entre os dois eventos, com um incêndio pequeno e outro muito maior.

Em 2023, a atividade de incêndios foi bastante reduzida, com apenas 2 incêndios registrados, totalizando uma área queimada de 0,43 ha. A média foi de 0,21 ha por incêndio, e a mediana ficou em 0,21 ha, indicando que os incêndios foram extremamente pequenos. O maior incêndio cobriu 0,43 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,001 ha. O IQR de 0,43 ha indica uma baixa variabilidade entre os incêndios, ambos de porte muito reduzido.

O ano de 2020 apresentou os incêndios de maior porte, enquanto 2023 registrou uma atividade mínima, com incêndios de proporções insignificantes. Essa variação reflete a complexidade dos fatores que influenciam a propagação de incêndios na IUF e a importância de estratégias adaptativas para a prevenção e o controle dos incêndios nessa área crítica.

Tabela 74 – Incêndios em Paranã dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Paranã								IQR (ha)
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	
2020	58,18	4	14,55	15,43	21,98	5,34	9,68	19,41	9,73
2021	25,68	4	6,42	5,47	14,73	0,006	0,16	12,68	12,52
2022	25,22	2	12,61	12,61	25,21	0,02	0,02	25,21	25,19
2023	0,43	2	0,21	0,21	0,43	0,001	0,001	0,43	0,43

A análise dos incêndios em Paranã entre 2020 e 2023 evidencia variações expressivas tanto na proporção da área da IUF atingida quanto na área total queimada no município. Em 2020, a IUF registrou 58,18 ha queimados, o que correspondeu a 8,31% de sua área, enquanto no município como um todo foram 93.981,70 ha, equivalentes a 8,38% da área municipal. Esse resultado mostra que, naquele ano, tanto a interface quanto o território em geral foram intensamente impactados pelo fogo.

Em 2021, a área queimada na IUF caiu para 25,68 ha (3,67% da IUF), ao passo que o município registrou um aumento expressivo, com 161.733,00 ha queimados (14,42% do território). Isso sugere que os incêndios se concentraram fora da interface. Em 2022, a IUF manteve valores próximos ao ano anterior, com 25,22 ha queimados (3,60%), enquanto o município registrou 100.353,00 ha (8,95%). Já em 2023 houve praticamente ausência de incêndios na IUF (0,43 ha, 0,06%), embora o município tenha mantido patamar elevado (101.551,00 ha; 9,05%). No acumulado de 2020 a 2023, a IUF somou 109,52 ha queimados, enquanto o município totalizou 457.618,70 ha, revelando que a interface, embora menos impactada proporcionalmente em alguns anos, continua sendo um espaço estratégico de atenção (Tabela 75).

Tabela 75 – Incêndios no município de Paranã e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Paranã	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	58,18	8,31	93.981,70	8,38
2021	25,68	3,67	161.733,00	14,42
2022	25,22	3,60	100.353,00	8,95
2023	0,43	0,06	101.551,00	9,05
2020 á 2023	109,52 ha		457.618,70 ha	

Na Tabela 76 a relação entre as áreas queimadas na IUF e no município (0,02%) e a proporção da área total da IUF em relação ao município (0,06%) mostra que a interface sofreu menos incêndios do que seria esperado em função do seu tamanho relativo. Isso sugere que, embora vulnerável, a IUF de Paranã esteve proporcionalmente mais preservada em comparação ao restante do território municipal.

Tabela 76 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Paranã

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
0,02	0,06

A distribuição dos incêndios por tipologia de uso do solo na IUF de Paranã mostra forte predominância em formações savânicas (56,14 ha) e pastagens (37,01 ha), ambientes naturalmente suscetíveis à propagação do fogo ou altamente expostos a práticas agropecuárias. Destaca-se também a ocorrência em áreas urbanizadas (11,00 ha), que reflete diretamente o risco da interface em termos de segurança da

população e infraestrutura. Outras tipologias tiveram papel secundário, como formação florestal (0,59 ha), formação campestre (0,13 ha), mosaico de usos (0,82 ha) e outras áreas não vegetadas (3,83 ha), totalizando contribuições pontuais (Tabela 77). A dinâmica observada em Paranã evidencia que os incêndios tendem a se concentrar em ambientes de transição e uso antrópico, como pastagens e savanas, ao mesmo tempo em que a IUF aparece menos impactada proporcionalmente do que o município como um todo. Esse padrão sugere que políticas de manejo devem priorizar o controle preventivo nessas áreas de maior recorrência do fogo, com atenção especial às zonas urbanizadas que se mostraram vulneráveis.

Tabela 77 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Paranã

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,59
	Formação Savânica	56,14
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,13
Agropecuária	Pastagem	37,01
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,82
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	11,00
	Outras Áreas não Vegetadas	3,83
	Mineração	0,00

6.9.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PARANÃ

Os resultados da regressão logística para a IUF de Paranã (Tabela 78) apontam maior probabilidade de ocorrência para incêndios de médio porte, com ROC de 0,56 e probabilidade de 51,49%. Esse valor, acima do limiar de 0,5, indica uma capacidade preditiva moderada e sugere que esse tipo de incêndio é o mais recorrente na região, possivelmente associado à combinação entre atividades humanas e disponibilidade de biomassa. Os incêndios grandes também apresentaram destaque, com ROC de 0,60 e probabilidade de 46,38%, o que reforça sua relevância e necessidade de atenção.

Por outro lado, os incêndios pequenos, embora tenham registrado o maior valor de ROC (0,65), apresentaram baixa probabilidade de ocorrência (11,09%). Isso indica que o modelo tem boa precisão preditiva para esse grupo, mas que, em termos de frequência, eles são pouco representativos na IUF de Paranã.

Tabela 78 – Dados da Regressão Logística para IUF Paranã por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,60	46,38
Médio	0,56	51,49
Pequeno	0,65	11,09

A Figura 43 ilustra a variação da probabilidade de ocorrência de incêndios em função da distância da IUF. Os incêndios pequenos (linha amarela) apresentam crescimento progressivo à medida que se afastam da interface, indicando que esses eventos tendem a se concentrar em áreas mais distantes.

Os incêndios grandes (linha azul) exibem o comportamento oposto: sua probabilidade é maior próximo à IUF e decai continuamente com o aumento da distância. Esse padrão sugere influência direta da interface, onde atividades humanas e a presença de combustíveis favorecem a ocorrência de eventos de maior magnitude. Já os incêndios médios (linha vermelha) apresentam comportamento intermediário, com uma probabilidade inicial elevada, que diminui gradualmente ao longo da distância, indicando predominância em áreas de transição entre a interface e o entorno.

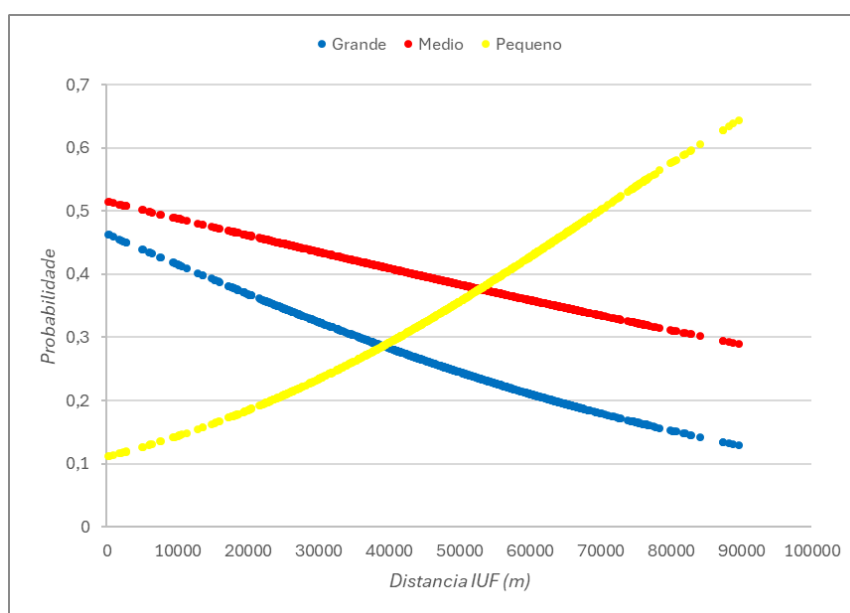


Figura 43 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Paranã

A interação das curvas mostra que, em Paranã, incêndios médios e grandes são mais prováveis nas áreas próximas à IUF, enquanto os incêndios pequenos tornam-se mais comuns à medida que a distância aumenta. Esse cenário reforça a necessidade de medidas de controle e prevenção mais rigorosas junto à interface, sem negligenciar ações de monitoramento nas áreas mais distantes, onde cresce a probabilidade de pequenos incêndios.

6.10. PIUM

Pium, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 23 de junho de 1953 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1954. Com uma área territorial extensa de 10.004 km², o município está inserido nos biomas Cerrado e Amazônia, refletindo uma diversidade ecológica significativa. A população estimada em 2021 era de 7.830 habitantes, o que, combinado com uma densidade demográfica de 0,7 habitantes por km² (segundo o censo de 2010), revela um cenário de baixa densidade populacional e uma predominância de áreas rurais, com uma taxa de urbanização de apenas 56,5%.

Os indicadores sociais de Pium indicam um desenvolvimento humano classificado como médio, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,650 em 2010. Este índice é desagregado em longevidade (0,822), educação (0,527) e renda (0,633), apontando para desafios

expressivos, especialmente no que tange à educação e à renda. A pobreza é um problema marcante no município, com 18% das famílias vivendo em pobreza extrema, 46% em pobreza absoluta e 80% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010. Esses números destacam a necessidade urgente de políticas públicas voltadas para a redução das desigualdades e a promoção de uma maior inclusão social.

Do ponto de vista econômico, Pium apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 157.353,52 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 20.802,95. A economia do município é marcada por uma significativa dependência da agropecuária, que contribuiu com R\$ 75.910 mil para o PIB, seguida pelo setor de serviços (R\$ 69.707 mil) e pela indústria (R\$ 4.862 mil). Em 2021, Pium contava com 335 empresas, das quais 45% atuavam no comércio. No entanto, o mercado de trabalho formal enfrentou dificuldades, com um saldo negativo de 4 empregos.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Pium também refletem um cenário de desafios. A taxa de alfabetização em 2010 era de 82,4%, indicando que ainda há espaço para melhorias significativas na educação. Na área da saúde, o município registrou 62 nascimentos e 35 óbitos em 2019, e dispõe de uma estrutura hospitalar básica. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.10.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PIUM

A análise dos incêndios registrados no município de Pium entre os anos de 2020 e 2023 revela um cenário de variações significativas, tanto na frequência, quanto na extensão dos eventos. Como observado na Tabela 79, em 2020, o município contabilizou 464 incêndios, que resultaram em uma área total queimada de 162.977,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 351,24 ha, com uma mediana de apenas 3,91 ha, o que indica que a maioria dos incêndios envolveu áreas relativamente pequenas, embora alguns eventos tenham sido muito extensos. O maior incêndio registrado nesse ano abrangeu 39.570,80 ha, enquanto o menor cobriu 0,10 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 10,76 ha sugere que a maioria dos incêndios ocorreu em áreas de porte modesto, com algumas exceções de grande magnitude.

Em 2021, o número de incêndios caiu significativamente para 64 ocorrências, mas a área total queimada foi de 126.050,00 ha. A média por incêndio aumentou drasticamente para 1.969,52 ha, refletindo a ocorrência de incêndios muito maiores em comparação ao ano anterior. A mediana de 147,02 ha sugere que, embora houvesse menos incêndios, muitos deles cobriram áreas substanciais. O maior incêndio do ano atingiu 39.508,50 ha, enquanto o menor afetou 2,84 ha. O IQR de 287,07 ha evidencia uma ampla variação nas áreas queimadas, com grandes disparidades entre os menores e maiores incêndios.

Em 2022, o número de incêndios subiu para 214, com uma área total queimada de 114.957,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 537,18 ha, e a mediana aumentou para 22,48 ha, sugerindo uma distribuição onde incêndios de porte médio foram mais comuns. O maior incêndio registrado cobriu 51.987,40 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,03 ha. O IQR de 90,15 ha indica uma maior dispersão entre os tamanhos dos incêndios, com uma ampla gama de áreas afetadas.

Em 2023, foram registrados 148 incêndios, resultando em uma área total queimada de 40.395,50 ha. A média por incêndio foi de 272,94 ha, e a mediana subiu para 29,75 ha, sugerindo uma predominância de incêndios menores, embora alguns tenham sido substancialmente maiores. O maior incêndio do ano cobriu 6.458,27 ha, enquanto o menor afetou 0,03 ha. O IQR de 142,73 ha reflete uma variação significativa entre os tamanhos dos incêndios, similar ao padrão observado nos anos anteriores, com uma mistura de eventos pequenos e grandes.

Ao longo desses quatro anos, Pium apresentou uma dinâmica de incêndios marcada por grandes variações tanto na quantidade de incêndios quanto nas áreas afetadas, com particular destaque para os anos de 2021 e 2022, onde incêndios de grande porte foram mais frequentes. Esses dados são observados nas imagens da Figura 44.

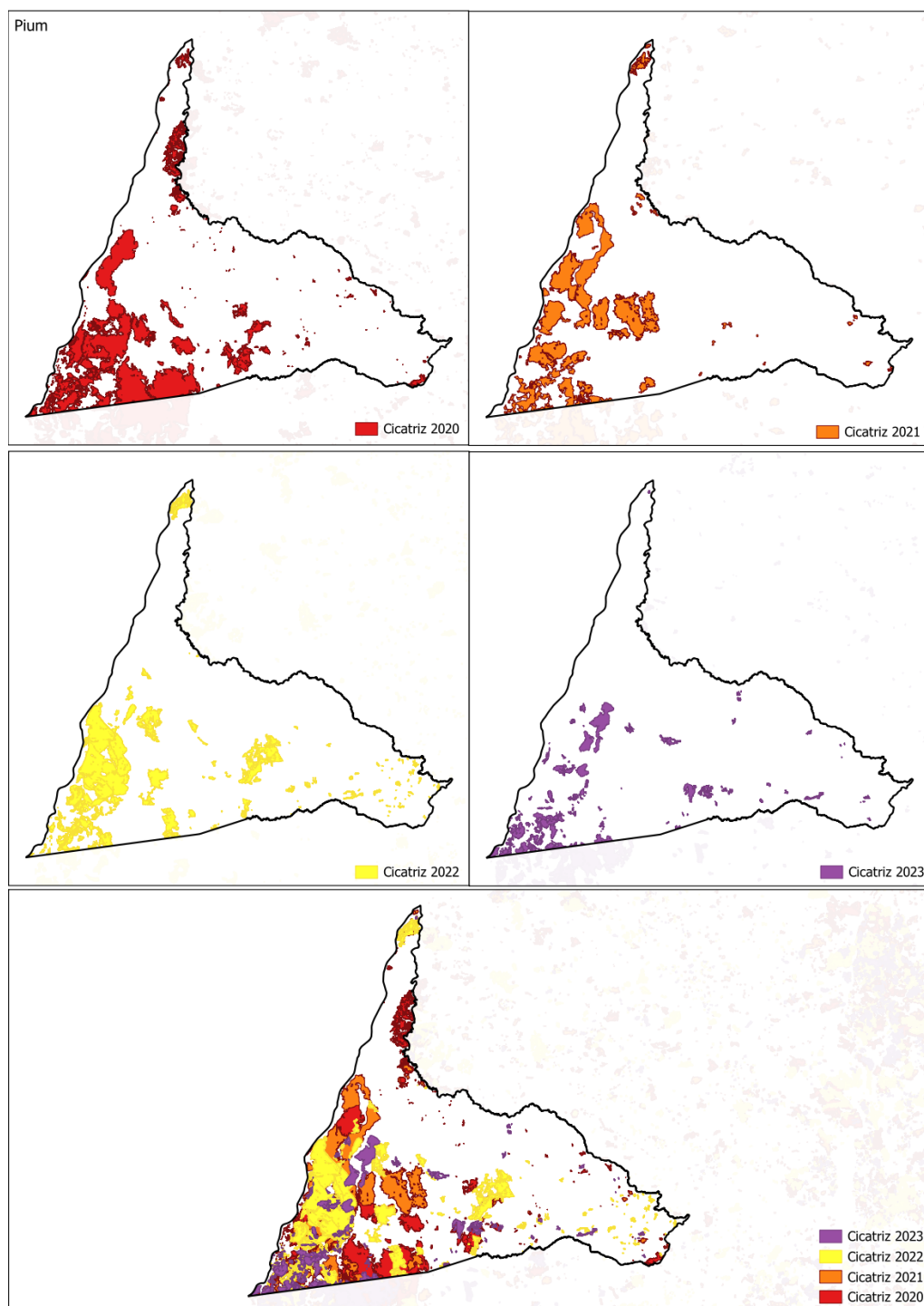


Figura 44 – Cicatrizes de incêndios para o município de Pium por ano no período de 2020 a 2023.

Tabela 79 – Incêndios no município de Pium por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Pium								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	162.977,00	464	351,24	3,91	39.570,80	0,10	2,23	12,99	10,76
2021	126.050,00	64	1969,52	147,02	39.508,50	2,84	74,79	361,87	287,07
2022	114.957,00	214	537,18	22,48	51.987,40	0,03	5,59	95,74	90,15
2023	40.395,50	148	272,94	29,75	6.458,27	0,03	8,98	151,71	142,73

6.10.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PIUM

A análise dos dados referentes aos incêndios em Pium entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, embora os pequenos e médios incêndios também tenham sido significativos em termos de frequência (Tabela 80). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 98,57% da área total queimada (160.651,00 ha), apesar de representarem apenas 14,66% do número total de incêndios, com 68 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,04% da área queimada (1.689,51 ha) e representaram 28,66% das ocorrências, com 133 registros. Pequenos incêndios, embora numericamente dominantes, representando 56,68% do total de incêndios com 263 ocorrências, impactaram apenas 0,39% da área queimada (636,39 ha).

Em 2021, a tendência de predominância dos grandes incêndios continuou, com 99,93% da área total queimada (125.962,00 ha) e 84,38% do número total de incêndios, com 54 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio, embora menos frequentes, representaram 0,06% da área queimada (73,13 ha) e 9,38% das ocorrências, com 6 registros. Pequenos incêndios foram raros, representando 6,25% das ocorrências com 4 registros, e impactaram apenas 0,01% da área queimada (13,93 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios continuaram a ser a principal causa da área queimada, representando 98,56% da área total (113.299,00 ha) e 37,85% do número de incêndios, com 81 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,34% da área queimada (1.540,93 ha) e 39,72% das ocorrências, com 85 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 22,43% das ocorrências com 48 registros, impactaram apenas 0,10% da área queimada (117,74 ha).

Em 2023, os grandes incêndios representaram 97,37% da área total queimada (39.333,30 ha) e 45,95% do número de incêndios, com 68 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,54% da área queimada (1.024,59 ha) e 41,89% das ocorrências, com 62 registros. Pequenos incêndios, que foram os menos frequentes, representando 12,16% do total de incêndios com 18 ocorrências, impactaram apenas 0,09% da área queimada (37,56 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, nota-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Pium, com proporções superiores a 97% em todos os anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela esmagadora maioria da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, têm um impacto muito menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, têm um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados indicam a necessidade de focar nos grandes incêndios para mitigar os danos ambientais em Pium, dado seu impacto desproporcional.

Tabela 80 – Descrição Incêndios em Pium por tamanho e ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	636,39	0,39	263	56,68	1689,51	1,04	133	28,66	160.651,00	98,57	68	14,66
2021	13,93	0,01	4	6,25	73,13	0,06	6	9,38	125.962,00	99,93	54	84,38
2022	117,74	0,10	48	22,43	1.540,93	1,34	85	39,72	113.299,00	98,56	81	37,85
2023	37,56	0,09	18	12,16	1.024,59	2,54	62	41,89	39.333,30	97,37	68	45,95

6.10.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PIUM

A tabela que descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Pium oferece uma visão detalhada das zonas de risco para incêndios, refletindo a interação entre as áreas urbanas e as vastas áreas de vegetação suscetíveis a queimadas. A área artificial, abrange 358,16 ha. Em contraste, a área combustível, é extremamente extensa, totalizando 1.005.454,73 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, como zona de transição entre áreas urbanas e vegetais, cobre 346,60 ha (Tabela 81).

Tabela 81 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Pium

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	358,16	1.005.454,73	346,60

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Pium entre os anos de 2020 e 2023 revela variações na frequência e extensão dos incêndios, refletindo diferentes padrões de atividade ao longo dos anos. Em 2020, foi registrado um único incêndio dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 4,25 ha. Como houve apenas um incêndio, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 4,25 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 0,00 ha indica que não houve variação nos tamanhos dos incêndios, dada a ocorrência única.

No ano de 2021, também foi registrado apenas um incêndio dentro da IUF, com uma área queimada de 1,84 ha. Assim como em 2020, a média, mediana, maior e menor área afetada foram iguais a 1,84 ha. O IQR novamente foi de 0,00 ha, refletindo a ausência de variabilidade devido ao único evento registrado.

Em 2022, não houve registros de incêndios dentro da IUF em Pium, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. Este ano marcou uma ausência completa de atividades de incêndio na área de interface, sugerindo eficácia nas medidas de prevenção ou condições ambientais que não favoreceram a ocorrência de incêndios.

Em 2023, a atividade de incêndios aumentou ligeiramente, com 2 incêndios registrados, totalizando 11,77 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 5,88 ha, e a mediana também foi de 5,88 ha, sugerindo que os incêndios foram de tamanhos semelhantes. O maior incêndio registrado abrangeu 6,90 ha, enquanto o menor afetou 4,87 ha. O IQR de 2,02 ha reflete uma leve variação nos tamanhos dos incêndios, mas ambos foram relativamente próximos em termos de área queimada.

Esses dados (Tabela 82) mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Pium experimentou uma atividade de incêndios esporádica e de pequeno porte, com um aumento moderado em 2023. A ausência de incêndios em 2022 e os baixos números registrados nos demais anos indicam que a área tem sido eficazmente protegida ou que as condições têm sido desfavoráveis à propagação de incêndios na IUF, sendo esta última uma alternativa que parece mais condizente com a realidade.

Tabela 82 – Incêndios em Pium dentro da IUF (200x200) para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Pium								IQR (ha)
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	
2020	4,25	1	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	0,00
2021	1,84	1	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	0,00
2022	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	11,77	2	5,88	5,88	6,90	4,87	4,87	6,90	2,02

A análise dos incêndios no município de Pium e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023, apresentada na Tabela 83, evidencia a diferença entre a proporção de área queimada no município e a registrada dentro da zona de interface.

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 4,25 ha, correspondendo a 1,23% de sua área total, enquanto no município como um todo foram queimados 162.977,00 ha, o que equivale a 16,29% da área municipal. Este contraste mostra que, embora a IUF tenha sido afetada, a maior pressão do fogo concentrou-se em áreas externas à interface.

Em 2021, a IUF registrou 1,84 ha queimados (0,53% de sua área), enquanto o município teve 126.050,00 ha queimados, representando 12,60% de sua área total. Esse ano revelou uma leve redução na participação da IUF nos incêndios, reforçando que a maior intensidade ocorreu fora dela.

No ano de 2022, não houve registros de incêndios dentro da IUF, mantendo a área queimada em 0,00 ha (0,00%), em contraste com os 114.957,00 ha queimados no município, que equivaleram a 11,49% de sua área. Esse dado demonstra uma total ausência de impacto direto na interface, apesar da continuidade de grandes queimadas no território municipal.

Em 2023, a IUF voltou a registrar incêndios, com 11,77 ha queimados (3,39% de sua área), ao passo que o município teve 40.395,50 ha atingidos, representando 4,04% de sua área total. Este resultado indica que, embora em menor escala que os anos anteriores, a interface apresentou maior vulnerabilidade relativa naquele ano.

No acumulado de 2020 a 2023, a área queimada dentro da IUF foi de 17,85 ha, equivalente a 5,15% da área da interface, frente a 444.379,50 ha queimados no município como um todo. Esses dados revelam que, apesar da dimensão reduzida da IUF frente ao território municipal, sua contribuição proporcional não foi desprezível, especialmente em anos específicos como 2020 e 2023.

Tabela 83 – Incêndios no município de Pium e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Pium	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	4,25	1,23	162.977,00	16,29
2021	1,84	0,53	126.050,00	12,60
2022	0,00	0,00	114.957,00	11,49
2023	11,77	3,39	40.395,50	4,04
2020 á 2023	17,85 ha		444.379,50 ha	

A relação entre áreas queimadas evidencia que, em Pium, a IUF respondeu por 0,00% da área queimada em comparação ao município, enquanto a sua área total representa 0,03% da extensão municipal. Esse resultado mostra que, proporcionalmente, a contribuição da interface para os incêndios foi praticamente nula, destacando a baixa expressão desse território frente à dimensão do município (Tabela 84).

A análise da distribuição dos incêndios por tipologia do uso do solo dentro da IUF (Tabela 85) demonstra predominância em pastagens (13,73 ha), seguidas por áreas de formação savânica (3,02 ha). Ocorreram ainda registros menores em formação campestre (0,06 ha), áreas urbanizadas (0,61 ha) e outras áreas não vegetadas (0,43 ha). A ausência de incêndios em formações florestais e áreas alagáveis sugere que os eventos se concentraram em zonas de uso antrópico e de manejo agropecuário.

Em síntese, os dados de Pium reforçam que, embora a IUF represente uma fração muito pequena do território municipal, sua dinâmica de incêndios está associada principalmente a usos econômicos, o que a torna um ponto estratégico para ações de prevenção direcionadas.

Tabela 84 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Pium

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
0,00	0,03

Tabela 85 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Pium

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,00
	Formação Savânica	3,02
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,06
Agropecuária	Pastagem	13,73
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,00
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	0,61
	Outras Áreas não Vegetadas	0,43
	Mineração	0,00

6.10.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-PIUM

A análise dos dados de regressão logística para a IUF de Pium destaca que incêndios de médio porte têm a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,59 e uma probabilidade de 46,95%. Esse resultado sugere que incêndios médios são comuns na região, possivelmente influenciados por condições ambientais e práticas humanas que facilitam sua ocorrência, com um modelo preditivo que oferece boa precisão (Tabela 86).

Incêndios grandes apresentam um ROC de 0,61 e uma probabilidade de 31,68%, indicando uma ocorrência significativa, mas menos comum do que os incêndios médios. Já os incêndios pequenos têm o maior valor de ROC, 0,65, e uma probabilidade de 24,19%, mostrando que, embora menos frequentes, o modelo preditivo é bastante eficaz em identificá-los. Esses dados sugerem que a gestão de incêndios em Pium deve priorizar o controle de incêndios de médio e grande porte, mas sem desconsiderar os pequenos, que também apresentam um risco notável.

Tabela 86 – Dados da Regressão Logística para IUF Pium por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,61	31,68
Médio	0,59	46,95
Pequeno	0,65	24,19

O gráfico apresentado (Figura 45), demonstra a análise detalhada das probabilidades de ocorrência de incêndios de diferentes tamanhos em função da distância da IUF no município de Pium. A linha amarela, representando a probabilidade de incêndios pequenos, evidencia um aumento consistente à medida que a distância da IUF cresce. Este padrão indica que incêndios menores são consideravelmente mais prováveis em áreas mais afastadas da interface urbano-florestal. Esse comportamento pode estar associado a fatores como; menor intervenção humana e maior disponibilidade de material combustível nessas áreas mais remotas.

A linha azul, que ilustra a probabilidade de incêndios grandes, apresenta uma tendência inversa: inicia-se em um nível moderado nas proximidades da IUF e diminui de forma contínua à medida que a distância aumenta. Esta tendência sugere que incêndios de grande porte são relativamente mais frequentes próximos à interface. A diminuição na probabilidade de grandes incêndios em distâncias maiores pode indicar que as áreas com menor intervenção humana têm menos condições para a propagação de incêndios de larga escala.

A linha vermelha, que indica a probabilidade de incêndios médios, mostra uma tendência decrescente ao longo das distâncias. Iniciando-se em um patamar elevado próximo à IUF, a probabilidade decresce conforme se afasta da interface.

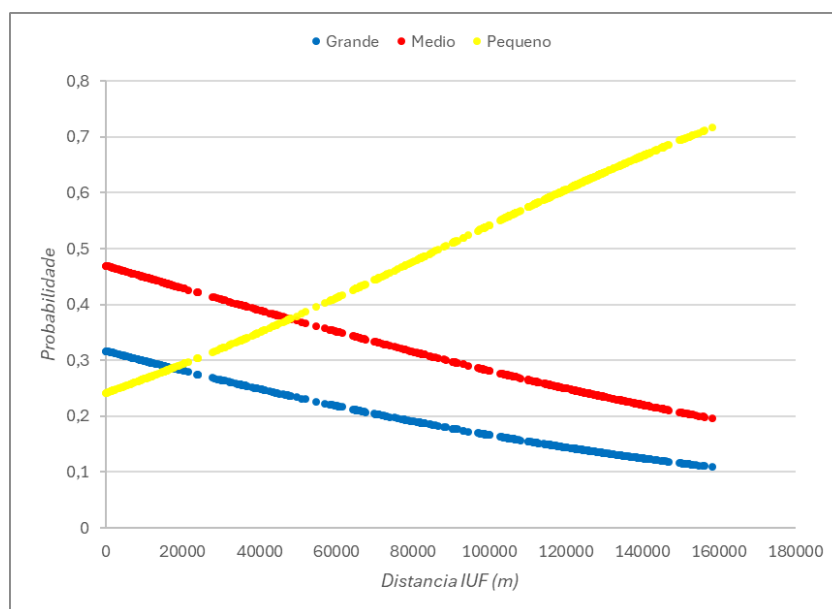


Figura 45 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Pium

A interação entre essas curvas destaca que, em Pium, incêndios pequenos ganham predominância em áreas mais distantes da IUF, enquanto incêndios médios e grandes são mais comuns nas proximidades da interface. Esses padrões são fundamentais para orientar políticas de manejo de incêndios, indicando

a necessidade de medidas preventivas mais rigorosas em áreas próximas à IUF para controlar incêndios grandes e médios, ao mesmo tempo em que estratégias de monitoramento contínuo são necessárias em áreas mais afastadas para lidar com a maior incidência de incêndios pequenos.

6.11. GOIATINS

Goiatins, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 12 de novembro de 1953 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1954, tendo como fundador Montano Araripe Nunes. Com uma área territorial de 6.415 km², Goiatins está inserido no bioma Cerrado e apresenta uma baixa densidade demográfica, de apenas 1,9 habitantes por km², conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 13.169 habitantes, dos quais 41% vivem em áreas urbanas, refletindo um cenário predominantemente rural.

Os indicadores sociais de Goiatins revelam desafios significativos, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,576, classificado como baixo em 2010: longevidade (0,765), educação (0,462) e renda (0,541), aponta para questões críticas, especialmente na educação e na renda. A pobreza é um problema grave no município, com 45% das famílias vivendo em situação de pobreza extrema, 67% em pobreza absoluta e 89% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010.

No aspecto econômico, Goiatins apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 161.618,19 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 12.487,88. A economia do município é dominada pela agropecuária, que contribuiu com R\$ 46.004 mil para o PIB, seguida pelo setor de serviços (R\$ 104.529 mil) e pela indústria (R\$ 5.777 mil). Em 2021, Goiatins contava com 295 empresas, das quais 54% atuam no comércio. Apesar das dificuldades, o mercado de trabalho formal apresentou um saldo positivo de 8 empregos em 2021. Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Goiatins refletem tanto avanços quanto desafios. A taxa de alfabetização em 2010 era de 77,4%, um indicador que aponta para a necessidade de melhorias educacionais. Na área da saúde, o município registrou 203 nascimentos e 52 óbitos em 2019, dispondo de um hospital geral para atender a população. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.11.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE GOIATINS

A análise dos incêndios no município de Goiatins entre os anos de 2020 e 2023 demonstrou variação, tanto em termos de frequência, quanto na extensão das áreas afetadas (Tabela 87). Em 2020, Goiatins registrou 1.230 incêndios, com uma área total queimada de 136.935,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 111,33 ha, enquanto a mediana ficou em 3,93 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte. O maior incêndio registrado no ano atingiu 47.735,70 ha, enquanto o menor cobriu apenas 0,03 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 8,42 ha sugere que a maior parte dos incêndios ocorreu em áreas modestas, com algumas exceções de grande magnitude.

Em 2021, o número de incêndios diminuiu significativamente para 78, mas a área total queimada foi de 26.616,10 ha. A média de área por incêndio aumentou para 341,23 ha, refletindo a ocorrência de incêndios mais extensos em comparação ao ano anterior. A mediana subiu para 109,40 ha, o que indica uma distribuição com maior concentração de incêndios de porte médio a grande. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 10.317,40 ha, enquanto o menor afetou 6,61 ha. O IQR de 150,39 ha evidencia uma ampla variação nas áreas queimadas, com grandes disparidades entre os menores e maiores incêndios.

No ano de 2022, o município registrou 563 incêndios, totalizando uma área queimada de 88.707,20 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 157,56 ha, com uma mediana de 13,24 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de tamanho moderado. O maior incêndio do ano atingiu 10.015,80 ha, enquanto o menor foi de 0,05 ha. O IQR de 45,09 ha indica uma variabilidade considerável nas áreas queimadas, com uma ampla gama de tamanhos de incêndios.

Em 2023, o número de incêndios caiu para 474, resultando em uma área total queimada de 47.905,10 ha. A média de área por incêndio foi de 101,07 ha, e a mediana ficou em 6,43 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores, embora alguns tenham sido significativamente grandes. O maior incêndio do ano cobriu 11.380,50 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,03 ha. O IQR de 30,61 ha reflete uma variação significativa entre os tamanhos dos incêndios, mas com uma concentração maior em eventos de porte menor.

Ao longo dos quatro anos analisados, Goiatins apresentou flutuações significativas na quantidade e na magnitude dos incêndios. Enquanto 2020 e 2023 tiveram um maior número de incêndios de menor porte, 2021 e 2022 destacaram-se por eventos mais esparsos, mas de maior dimensão (Figura 46).

Tabela 87 – Incêndios no município de Goiatins por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Goiatins								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	136.935,00	1230	111,33	3,93	47.735,70	0,03	2,20	10,63	8,42
2021	26.616,10	78	341,23	109,40	10.317,40	6,61	61,86	212,26	150,39
2022	88.707,20	563	157,56	13,24	10.015,80	0,05	4,67	49,76	45,09
2023	47.905,10	474	101,07	6,43	11.380,50	0,03	2,12	32,73	30,61

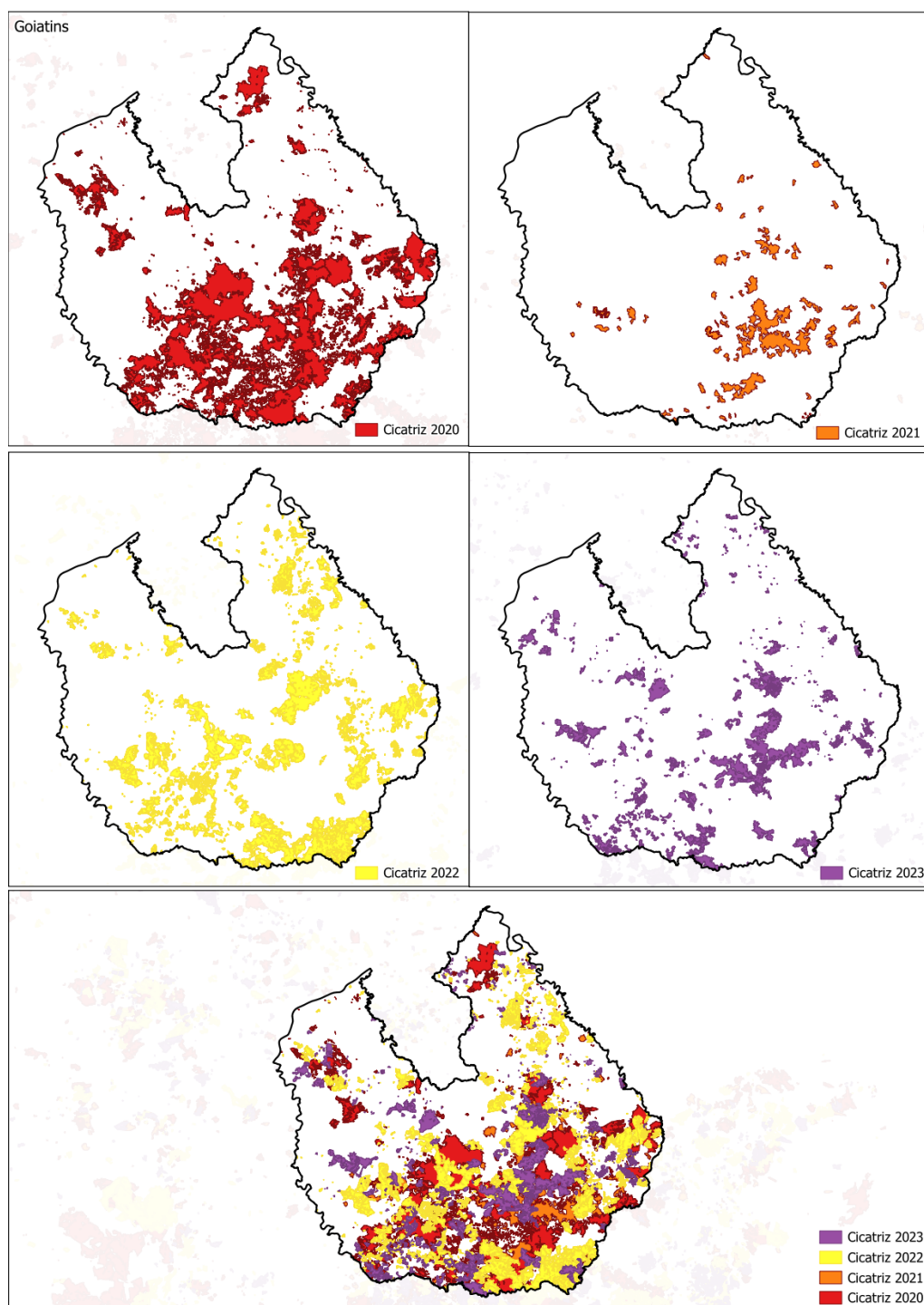


Figura 46 – Cicatrizes de incêndios para o município de Goiatins por ano no período de 2020 a 2023.

6.11.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - GOIATINS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Goiatins entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela uma clara predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, embora os pequenos e médios incêndios sejam mais frequentes (Tabela 88). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 94,99% da área total queimada (130.068,00 ha), apesar de representarem apenas 10,24% do número total de incêndios, com 126 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,77% da área queimada (5.157,22 ha) e representaram 33,01% das

ocorrências, com 406 registros. Pequenos incêndios, embora numericamente dominantes, representando 56,75% do total de incêndios com 698 ocorrências, impactaram apenas 1,25% da área queimada (1.709,71 ha).

Em 2021, a tendência de predominância dos grandes incêndios continuou, com 98,81% da área total queimada (26.299,70 ha) e 82,05% do número total de incêndios, com 64 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,19% da área queimada (316,39 ha) e representaram 17,95% das ocorrências, com 14 registros. Não houve registro de pequenos incêndios em 2021, o que pode ter ligação com a falha metodológica observada nesse ano.

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,11% da área total queimada (84.371,10 ha) e 28,06% do número de incêndios, com 158 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,41% da área queimada (3.910,12 ha) e 44,94% das ocorrências, com 253 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 27,00% das ocorrências com 152 registros, impactaram apenas 0,48% da área queimada (425,94 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 94,11% da área total queimada (45.083,20 ha) e 22,57% do número de incêndios, com 107 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,94% da área queimada (2.368,37 ha) e 32,91% das ocorrências, com 156 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 44,51% do total de incêndios com 211 ocorrências, impactaram apenas 0,95% da área queimada (453,58 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Goiatins, com proporções sempre superiores a 94%. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela esmagadora maioria da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, têm um impacto muito menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, têm um impacto mínimo na área total queimada.

Tabela 88 – Descrição Incêndios em Goiatins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	1.709,71	1,25	698	56,75	5157,22	3,77	406	33,01	130.068,00	94,99	126	10,24
2021	0,00	0,00	0	0,00	316,392	1,19	14	17,95	26.299,70	98,81	64	82,05
2022	425,94	0,48	152	27,00	3.910,12	4,41	253	44,94	84.371,10	95,11	158	28,06
2023	453,58	0,95	211	44,51	2.368,37	4,94	156	32,91	45.083,20	94,11	107	22,57

6.11.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - GOIATINS

A Tabela 89 que descreve a área artificial, abrangendo 515,04 ha e a área combustível, que é significativamente maior, totalizando 652.432,70 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, cobre 495,91 ha.

Tabela 89 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Goiatins

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	515,04	652.432,70	495,91

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Goiatins entre os anos de 2020 e 2023 revela uma variação significativa na atividade de incêndios, com anos de completa ausência de incidentes e um ano com registros notáveis (Tabela 90).

Nos anos de 2020 e 2021, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha em ambos os anos. Resultado que pode ter ocorrido devido a pequena área de interface nesse município ou devido a falha metodológica de registro de imagens das cicatrizes.

Em 2022, no entanto, foram registrados 9 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 35,04 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 3,89 ha, enquanto a mediana ficou em 0,21 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte, com um maior registro isolado de 20,78 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 3,62 ha sugere uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios, com uma concentração em torno de eventos menores, mas com uma significativa exceção de maior magnitude.

Em 2023, assim como em 2020 e 2021, não houve registros de incêndios dentro da IUF em Goiatins, resultando novamente em uma área queimada de 0,00 ha.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Goiatins experimentou uma atividade de incêndios esporádica, com a maior parte dos anos sem incidentes e uma ocorrência notável em 2022.

Tabela 90 – Incêndios em Goiatins dentro da IUF (200x200) para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Goiatins								IQR (ha)
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	
2020	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	35,04	9	3,89	0,21	20,78	0,00	0,01	3,64	3,62
2023	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A análise dos incêndios no município de Goiatins e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 evidencia contrastes marcantes entre a área total queimada no município e a área afetada na IUF, destacando flutuações anuais na intensidade dos eventos.

Em 2020, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em 0,00 ha queimados. No entanto, o município registrou 136.935,00 ha de área queimada, correspondendo a 21,35% de sua extensão, o que demonstra forte impacto fora da zona de interface.

Situação semelhante ocorreu em 2021, quando novamente não houve registros na IUF, enquanto o município registrou 26.616,10 ha queimados (4,15% de sua área total).

O ano de 2022 marcou a única ocorrência significativa dentro da IUF no período, com 35,04 ha queimados, o que correspondeu a 7,07% da área da IUF. Nesse mesmo ano, o município teve 88.707,20 ha queimados (13,83%), revelando que, embora a IUF tenha sido afetada, a maior parte dos incêndios ocorreu em outras regiões do território municipal.

Em 2023, assim como em 2020 e 2021, não houve registros de incêndios na IUF (0,00 ha), enquanto o município registrou 47.905,10 ha de áreas queimadas, representando 7,47% de sua área total.

No período acumulado de 2020 a 2023, a área queimada na IUF somou 35,04 ha, enquanto no município totalizaram-se 300.163,40 ha queimados. Esses resultados mostram que a IUF de Goiatins se manteve, na maior parte dos anos analisados, relativamente protegida, com registros apenas pontuais de incêndios, reforçando sua menor vulnerabilidade em comparação ao território municipal mais amplo Tabela 91.

Tabela 91 – Incêndios no município de Goiatins e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Goiatins	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	0,00	0,00	136.935,00	21,35
2021	0,00	0,00	26.616,10	4,15
2022	35,04	7,07	88.707,20	13,83
2023	0,00	0,00	47.905,10	7,47
2020 á 2023	35,04 ha		300.163,40 ha	

A relação entre a área queimada na IUF e no município de Goiatins (Tabela 92) indica uma participação proporcionalmente baixa da interface no total de incêndios. A razão entre áreas de incêndio mostra que apenas 0,01% dos incêndios registrados no município ocorreram dentro da IUF, enquanto a proporção territorial da IUF em relação ao município é de 0,08%. Esse contraste evidencia que, embora a IUF represente uma fração do território, sua contribuição para o total de áreas queimadas foi bastante reduzida no período analisado.

Tabela 92 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Goiatins

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,01	0,08

A análise da distribuição dos incêndios por tipologia do uso do solo dentro da IUF de Goiatins revela maior incidência em áreas de pastagem (22,37 ha), seguidas por áreas urbanizadas (5,50 ha) e formação savânica (5,18 ha). Ocorrências menores foram registradas em formação campestre (0,95 ha), formação florestal (0,57 ha), mosaico de usos (0,34 ha) e em outras áreas não vegetadas (0,12 ha) (Tabela 93). Esse padrão mostra que os incêndios se concentraram em ambientes fortemente associados ao uso humano e produtivo, reforçando a relação entre atividades antrópicas e a dinâmica do fogo dentro da interface.

Tabela 93 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Goiatins

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,57
	Formação Savânica	5,18
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,95
Agropecuária	Pastagem	22,37
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,34
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	5,50
	Outras Áreas não Vegetadas	0,12
	Mineração	0,00

6.11.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-GOÍATINS

A análise dos dados de regressão logística para a IUF de Goiás, apresentada na Tabela 94, indica que os incêndios de médio porte possuem a maior probabilidade de ocorrência, com valor de 45,66% e ROC de 0,57. Esses resultados sugerem que incêndios médios são relativamente comuns na região e que o modelo apresenta capacidade preditiva adequada, possivelmente devido à interação entre densidade de vegetação e atividades humanas.

Os incêndios pequenos apresentam um ROC de 0,59 e probabilidade de 37,95%, demonstrando frequência também significativa, ainda que inferior à dos médios. Já os incêndios grandes, com ROC de 0,57 e probabilidade de 17,64%, são menos frequentes, mas ainda relevantes no contexto da IUF. Esse padrão evidencia a necessidade de estratégias de manejo direcionadas prioritariamente aos incêndios médios e pequenos, que juntos concentram mais de 80% das ocorrências potenciais na interface urbano-florestal.

Tabela 94 – Dados da Regressão Logística para IUF Goiás por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,57	17,64
Médio	0,57	45,66
Pequeno	0,59	37,95

O gráfico (Figura 47) mostra a variação espacial da probabilidade de ocorrência dos diferentes tamanhos de incêndio em função da distância da IUF. A linha amarela, correspondente aos incêndios pequenos, evidencia um aumento progressivo com o afastamento da interface. A linha azul, que representa os incêndios grandes, apresenta tendência decrescente à medida que a distância da IUF aumenta. Esse padrão reforça que os grandes incêndios estão mais associados às zonas próximas à interface, onde práticas humanas como queimadas agrícolas, descarte de resíduos e atividades recreativas podem funcionar como agentes de ignição e propagação.

De forma semelhante, a linha vermelha, referente aos incêndios médios, também revela tendência de queda ao longo da distância. Isso sugere que tais incêndios são mais frequentes nas áreas de transição próximas à IUF, mas perdem relevância em regiões mais afastadas.

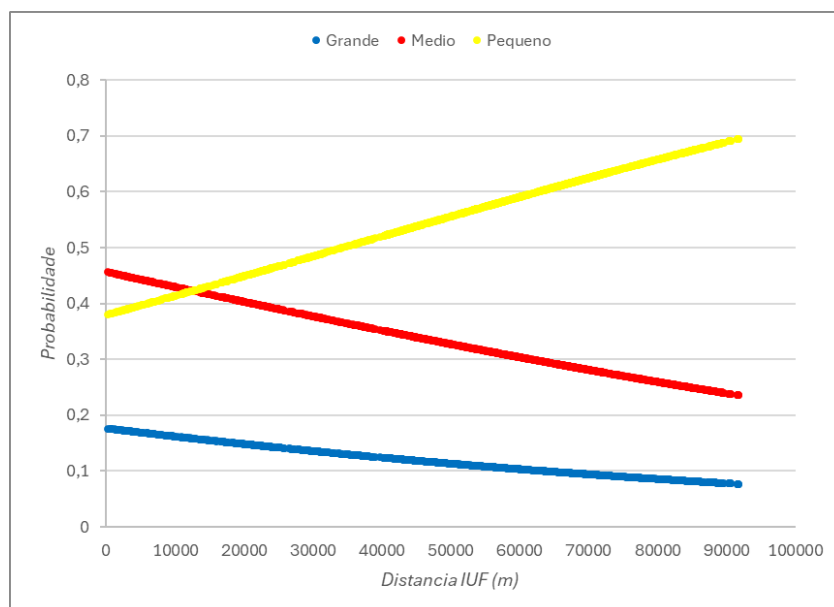


Figura 47 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Goiátins

A interação entre as curvas revela que, em Goiátins, incêndios pequenos tornam-se predominantes em áreas distantes da IUF, enquanto incêndios médios e grandes concentram-se nas proximidades da interface. Essa dinâmica reforça a importância de políticas de prevenção diferenciadas: maior rigor nas áreas urbanas e periurbanas para reduzir o risco de grandes incêndios e monitoramento contínuo nas zonas mais afastadas, a fim de controlar a crescente prevalência de incêndios pequenos.

6.12. LIZARDA

Lizarda, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 1824 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1954, sob a liderança de José Benedito da Silva. Com uma vasta área territorial de 5.717 km², o município está inserido no bioma Cerrado e apresenta uma baixa densidade demográfica de 0,7 habitantes por km², conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 3.727 habitantes, com uma taxa de urbanização de 69,3%, refletindo uma predominância de áreas rurais e um crescimento urbano limitado.

Com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,570, classificado como baixo em 2010: composto por subíndices de longevidade (0,765), educação (0,415) e renda (0,584), apontando para deficiências substanciais, especialmente no campo educacional. A situação socioeconômica do município é marcada por elevados índices de pobreza, com 55% das famílias em situação de pobreza extrema, 75% em pobreza absoluta e 93% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010.

Do ponto de vista econômico, Lizarda apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 42.461,34 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 11.329,07. A economia do município é majoritariamente sustentada pelo setor de serviços, que contribuiu com R\$ 29.209 mil ao PIB, seguido pela agropecuária, que adicionou R\$ 11.473 mil, e pela indústria, com uma participação menor de R\$ 862 mil. Em 2021, Lizarda contava com 81 empresas, sendo 67% delas no comércio. Apesar das dificuldades econômicas, o mercado de trabalho formal registrou um saldo positivo de 17 empregos em 2021, o que, embora modesto, sinaliza um progresso em termos de geração de emprego.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Lizarda refletem um cenário de desafios. A taxa de alfabetização em 2010 era de 79,8%, evidenciando a necessidade de melhorias significativas na educação. Na área da saúde, o município registrou 54 nascimentos e 9 óbitos em 2019, dispondo de uma estrutura hospitalar básica. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.12.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE LIZARDA

A análise dos incêndios no município de Lizarda entre 2020 e 2023, como elencado na Tabela 95 mostra que em 2020, o município registrou 752 incêndios, que resultaram em uma área total queimada de 107.671,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 143,18 ha, com uma mediana de 4,02 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte. No entanto, o maior incêndio registrado nesse ano abrangeu uma área de 65.707,60 ha, enquanto o menor foi de 0,21 hectare. O intervalo interquartil (IQR) de 9,70 ha reflete uma concentração de incêndios menores, com alguns eventos excepcionais de grande magnitude.

Em 2021, houve uma redução significativa no número de incêndios, com 134 ocorrências, e uma área total queimada de 12.181,70 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 90,91 ha, com uma mediana de 17,01 ha, indicando que, embora menos frequentes, os incêndios desse ano foram, em média, de maior porte do que em 2020. O maior incêndio registrado cobriu 3.258,52 ha, enquanto o menor afetou 1,08 ha. O IQR de 36,62 ha evidencia uma variação significativa entre os tamanhos dos incêndios, com uma distribuição mais ampla.

Em 2022, o número de incêndios aumentou para 344, totalizando uma área queimada de 118.788,00 ha. A média de área afetada por incêndio subiu para 345,32 ha, enquanto a mediana foi de 17,53 ha, sugerindo que, embora ainda houvesse incêndios menores, houve uma maior incidência de eventos de grande porte. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 27.211,00 ha, e o menor afetou 0,11 ha. O IQR de 78,84 ha indica uma ampla variação nos tamanhos dos incêndios, com uma significativa disparidade entre os menores e maiores eventos.

Em 2023, foram registrados 309 incêndios, com uma área total queimada de 61.423,60 ha. A média de área queimada por incêndio foi de 198,78 ha, e a mediana ficou em 11,47 ha, apontando para uma predominância de incêndios de médio porte. O maior incêndio registrado no ano atingiu 21.084,50 ha, enquanto o menor foi de 0,12 ha. O IQR de 51,93 ha reflete uma distribuição mais concentrada em comparação com 2022, mas ainda com uma variação considerável nos tamanhos dos incêndios.

Ao longo dos quatro anos analisados, Lizarda experimentou flutuações tanto na quantidade quanto na magnitude dos incêndios. Enquanto 2020 e 2022 se destacaram pelo número significativo de incêndios, sendo 2022 marcado por grandes áreas queimadas, 2021 teve menos eventos, mas com maior intensidade relativa. Já em 2023, houve uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho. A Figura 48 apresenta a distribuição destas queimas nos anos estudados.

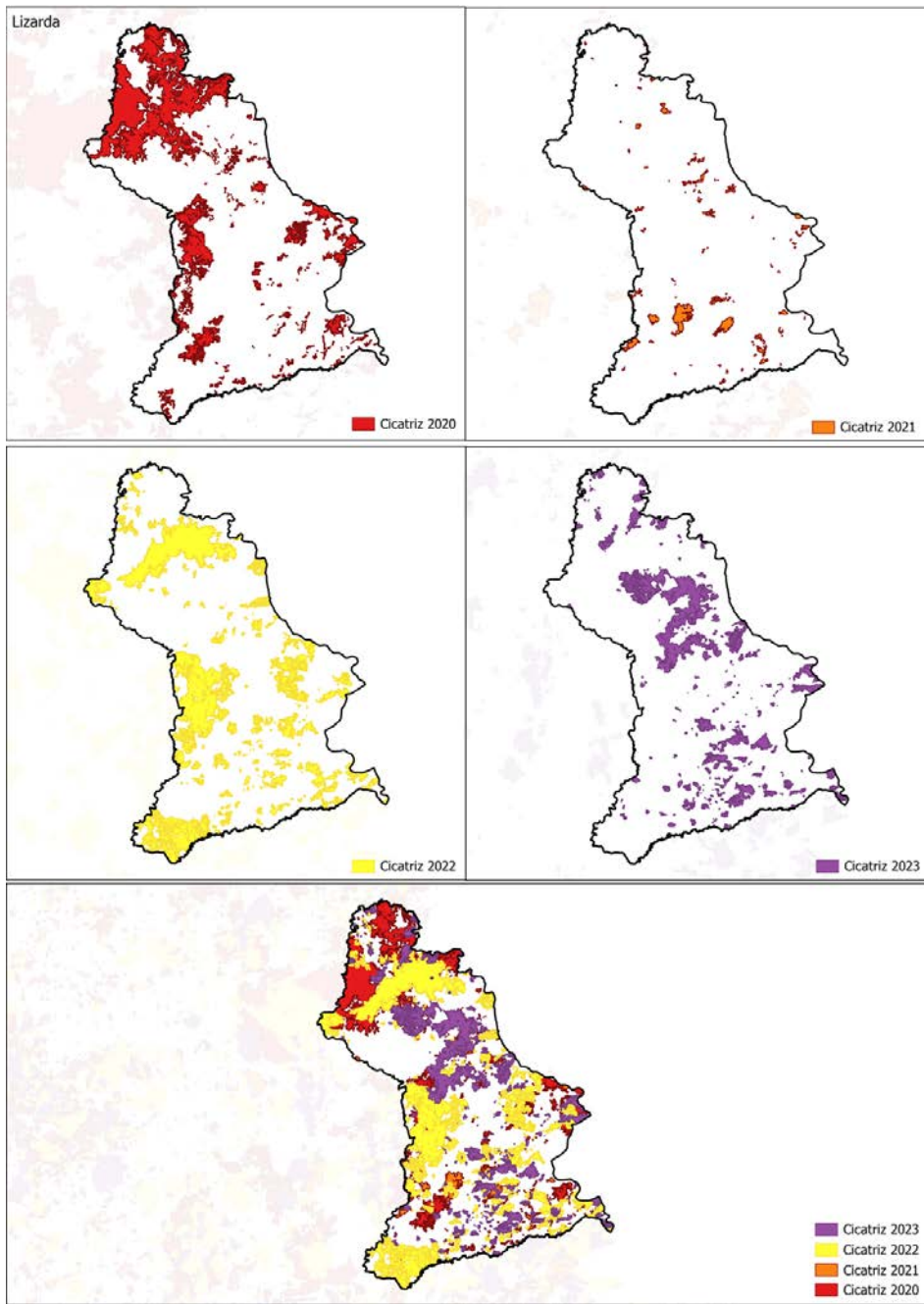


Figura 48 – Cicatrizes de incêndios para o município de Lizarda por ano para o período de 2020 a 2023.

Tabela 95 – Incêndios no município de Lizarda por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Lizarda								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	107.671,00	752	143,18	4,02	65.707,60	0,21	2,19	11,89	9,70
2021	12.181,70	134	90,91	17,01	3.258,52	1,08	9,56	46,18	36,62
2022	118.788,00	344	345,32	17,53	27.211,00	0,11	5,37	84,21	78,84
2023	61.423,60	309	198,78	11,47	21.084,50	0,12	2,97	54,89	51,93

6.12.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - LIZARDA

A análise dos dados referentes aos incêndios em Lizarda entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho (Tabela 96), mostra a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, apesar da frequência maior de incêndios pequenos e médios. Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,81% da área total queimada (103.163,00 ha), embora representassem apenas 10,11% do número total de incêndios, com 76 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,23% da área queimada (3.478,28 ha) e representaram 32,85% das ocorrências, com 247 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 57,05% do total de incêndios com 429 ocorrências, impactaram apenas 0,96% da área queimada (1.029,51 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a predominar em termos de área queimada, com 89,07% do total (10.850,20 ha), mas representaram 29,10% do número total de incêndios, com 39 ocorrências. Incêndios de tamanho médio foram mais frequentes, representando 66,42% das ocorrências com 89 registros, e contribuíram com 10,85% da área queimada (1.321,13 ha). Pequenos incêndios, embora presentes em 4,48% das ocorrências com 6 registros, impactaram apenas 0,08% da área queimada (10,33 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 97,81% da área total queimada (116.181,00 ha) e 34,01% do número de incêndios, com 117 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,05% da área queimada (2.434,16 ha) e 42,15% das ocorrências, com 145 registros. Pequenos incêndios, embora representassem 23,84% das ocorrências com 82 registros, impactaram apenas 0,15% da área queimada (172,63 ha).

Em 2023, os grandes incêndios representaram 96,61% da área total queimada (59.339,90 ha) e 29,45% do número de incêndios, com 91 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,00% da área queimada (1.844,13 ha) e 35,92% das ocorrências, com 111 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 34,63% do total de incêndios com 107 ocorrências, impactaram apenas 0,39% da área queimada (239,55 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Lizarda, com proporções superiores a 89% em todos os anos, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto muito menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados indicam que a gestão e o controle dos grandes incêndios devem ser prioritários nas estratégias de prevenção e combate aos incêndios em Lizarda, dado seu impacto ser desproporcional em termos de área afetada.

Tabela 96 – Descrição Incêndios em Lizarda por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	1.029,51	0,96	429	57,05	3.478,28	3,23	247	32,85	103.163,00	95,81	76	10,11
2021	10,33	0,08	6	4,48	1.321,13	10,85	89	66,42	10.850,20	89,07	39	29,10
2022	172,63	0,15	82	23,84	2.434,16	2,05	145	42,15	116.181,00	97,81	117	34,01
2023	239,55	0,39	107	34,63	1.844,13	3,00	111	35,92	59.339,90	96,61	91	29,45

6.12.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - LIZARDA

Em Lizarda a área artificial, abrange 239,81 ha. Em comparação, a área combustível, é consideravelmente maior, totalizando 777.758,68 ha. Totalizando uma IUF de 233,09 ha, relativamente pequena em comparação com a vasta área combustível (Tabela 97).

Tabela 97 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Lizarda

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	239,81	777.758,68	233,09

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Lizarda entre os anos de 2020 e 2023 revela uma variação significativa na atividade de incêndios, com anos de completa ausência de incidentes e anos com registros limitados (Tabela 98). Nos anos de 2020 e 2021, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha.

Em 2022, houve um incêndio registrado dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 5,46 ha. Como foi um único evento, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 5,46 ha, e o intervalo interquartil (IQR) foi de 0,00 ha, indicando a ausência de variação nos tamanhos dos incêndios.

No ano de 2023, foram registrados 2 incêndios dentro da IUF, totalizando 1,04 ha queimado. A média de área afetada por incêndio foi de 0,52 ha, e a mediana também ficou em 0,52 ha, sugerindo que os incêndios foram pequenos e de tamanho semelhante. O maior incêndio cobriu 0,67 ha, enquanto o menor afetou 0,37 ha. O IQR de 0,30 ha indica uma leve variação nos tamanhos dos incêndios, com ambos os eventos sendo de pequena magnitude.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Lizarda experimentou uma atividade de incêndios muito limitada, com a maioria dos anos sem qualquer incidente registrado e apenas pequenos incêndios ocorrendo em 2022 e 2023. A ausência de incêndios na maior parte do período analisado reflete uma efetiva proteção da área, mas a presença de pequenos incêndios nos últimos anos sugere a necessidade de manter as estratégias de prevenção para garantir a proteção contínua da IUF e minimizar os impactos potenciais dos incêndios na região.

Tabela 98 – Incêndios em Lizarda dentro da IUF (200x200) para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Lizarda								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	5,46	1	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	0,00
2023	1,04	2	0,52	0,52	0,67	0,37	0,37	0,67	0,30

A análise dos incêndios no município de Lizarda e especificamente dentro de sua Interface Urbano-Florestal entre os anos de 2020 e 2023 revela uma diferença significativa na área total queimada no município e a contribuição da IUF para esses totais, evidenciando variações na atividade ao longo dos anos (Tabela 99).

Em 2020, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. No entanto, o município de Lizarda registrou uma área total queimada de 107.671,00 ha, representando 18,88% da área municipal. Isso indica que, enquanto a IUF permaneceu protegida, outras partes do município foram significativamente afetadas por incêndios.

Em 2021, a situação foi semelhante, com nenhuma área queimada na IUF e 12.181,70 ha queimados no município, representando 2,14% da área total. A ausência de incêndios na IUF durante este ano reflete a continuidade da sua proteção, enquanto o impacto dos incêndios no restante do município foi consideravelmente menor do que no ano anterior.

No ano de 2022, a IUF foi afetada por um incêndio, totalizando 5,46 ha queimados, o que correspondeu a 2,34% da área da IUF. Nesse mesmo ano, o município registrou 118.788,00 ha queimados, representando 20,83% de sua área. Esse resultado marcou um aumento na contribuição da IUF para o total de áreas queimadas, embora a maior parte ainda tenha ocorrido fora dessa zona.

Em 2023, a área queimada dentro da IUF foi de 1,04 ha, representando 0,45% da área da IUF. Já o município registrou 61.423,60 ha queimados, o que corresponde a 10,77% de sua área. Esse resultado mostrou uma redução tanto na área total queimada no município quanto na participação da IUF nesse total.

No período total de 2020 a 2023, a área queimada dentro da IUF somou 6,51 ha, enquanto o município como um todo registrou 300.064,30 ha queimados, confirmando que a contribuição da IUF para os incêndios foi mínima ao longo do período.

Tabela 99 – Incêndios no município de Lizarda e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Lizarda	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	0,00	0,00	107.671,00	18,88
2021	0,00	0,00	12.181,70	2,14
2022	5,46	2,34	118.788,00	20,83
2023	1,04	0,45	61.423,60	10,77
2020 á 2023	6,51 ha		300.064,30 ha	

A relação percentual vista na Tabela 100 evidencia que os incêndios ocorridos dentro da IUF de Lizarda representaram apenas 0,01% em comparação ao total do município, enquanto a área da IUF corresponde a 0,04% da área municipal. Esse contraste reforça que, proporcionalmente, a IUF apresentou baixa representatividade nos incêndios registrados.

Tabela 100 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Lizarda

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
0,00	0,04

A análise por tipologia do uso do solo da Tabela 101 mostra que os incêndios na IUF de Lizarda afetaram principalmente áreas urbanizadas (3,10 ha) e formações savânicas (2,06 ha). Registros adicionais ocorreram em formações campestres (1,15 ha) e em menor escala em pastagens (0,20 ha). Não houve registros em áreas florestais mais densas ou em zonas alagáveis, o que reforça que os incêndios estiveram concentrados em áreas de transição ou diretamente ligadas à presença humana. Esse padrão sugere que os eventos dentro da IUF foram mais pontuais e associados a usos antrópicos do que a áreas de vegetação nativa contínua.

Tabela 101 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Lizarda

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,00
	Formação Savânica	2,06
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	1,15
Agropecuária	Pastagem	0,20
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,00
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	3,10
	Outras Áreas não Vegetadas	0,00
	Mineração	0,00

6.12.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-LIZARDA

Os dados de regressão logística para a IUF de Lizarda (Tabela 102) indicam que incêndios de médio porte têm a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,59 e uma probabilidade de 43,49%. Esses valores sugerem que incêndios médios são relativamente comuns na região e que o modelo preditivo é confiável para a sua identificação, refletindo a interação entre a presença de vegetação e fatores antrópicos.

Incêndios pequenos apresentam um ROC de 0,61 e uma probabilidade de 36,37%, demonstrando que, embora menos prováveis que os médios, ainda representam uma parcela importante dos eventos dentro da IUF de Lizarda. Já os incêndios grandes apresentam um ROC de 0,55 e probabilidade de 21,80%, configurando-se como menos frequentes, mas ainda relevantes no contexto local. Esses resultados ressaltam a importância de um enfoque estratégico voltado principalmente para incêndios médios e pequenos, devido à sua maior ocorrência e ao impacto que podem causar na interface urbano-florestal.

Tabela 102 – Dados da Regressão Logística para IUF Lizarda por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,55	21,80
Médio	0,59	43,49
Pequeno	0,61	36,37

A análise do gráfico (Figura 49) evidencia a influência da distância da IUF na probabilidade de ocorrência dos diferentes tamanhos de incêndios. A linha amarela, representando os incêndios pequenos, apresenta um crescimento contínuo à medida que aumenta a distância da IUF. Esse comportamento sugere que, em áreas mais afastadas da interface, onde a intervenção humana é menor, os incêndios de pequena escala se tornam mais frequentes.

Em contrapartida, a linha azul, que representa os incêndios grandes, revela uma diminuição gradual da probabilidade à medida que a distância da IUF aumenta. Isso indica que esses eventos são mais prováveis nas proximidades da interface, onde atividades humanas — como queimadas agrícolas ou uso inadequado do fogo — podem contribuir como fatores de ignição.

A linha vermelha, correspondente aos incêndios médios, também apresenta uma tendência decrescente com o aumento da distância. Esse padrão sugere que tais incêndios se concentram em áreas de transição próximas à interface, onde ainda há influência de atividades humanas, embora em menor intensidade que nas áreas mais densamente ocupadas.

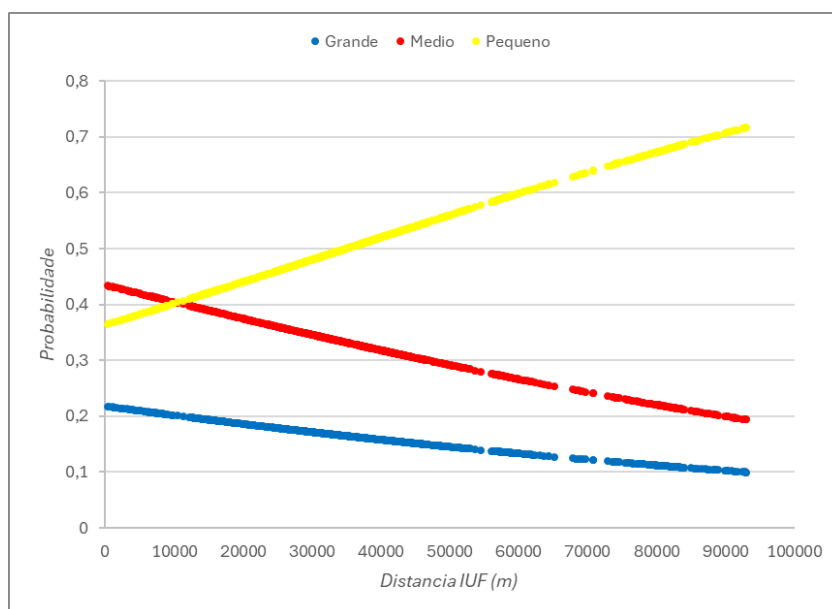


Figura 49 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Lizarda

A interação entre as curvas evidencia que, em Lizarda, incêndios médios e grandes são mais comuns próximos à interface, reforçando a necessidade de medidas preventivas e de resposta rápida nessa zona. Já em áreas mais distantes, onde predominam os incêndios pequenos, estratégias de monitoramento e de manejo do combustível acumulado são fundamentais para reduzir riscos e impactos ambientais.

6.13. MATEIROS

Mateiros, situado no Estado do Tocantins, foi fundado em 24 de julho de 1963 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1993, tendo como figura histórica relevante o fundador conhecido como "Lapa." Com uma área territorial extensa de 9.589 km², Mateiros está inserido no bioma Cerrado e apresenta uma das menores densidades demográficas do estado, com apenas 0,2 habitantes por km², segundo o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 2.773 habitantes, dos quais 63,7% residem em áreas urbanas, destacando a baixa concentração populacional e a predominância de áreas rurais.

Os indicadores sociais de Mateiros revelam um desenvolvimento humano médio, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,607 em 2010. Este índice, composto por subíndices de longevidade (0,823), educação (0,463) e renda (0,586), aponta para desafios expressivos, especialmente nas áreas de educação e renda. A pobreza é um problema persistente no município, com 30% das famílias em situação de pobreza extrema, 57% em pobreza absoluta e 83% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010. Esses números indicam a necessidade urgente de políticas públicas que possam mitigar essas condições e promover a inclusão social e econômica.

Em termos econômicos, Mateiros apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 135.482,42 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 51.358,01, refletindo a importância relativa da produção agrícola para a economia local. O setor agropecuário é o principal motor econômico, contribuindo com R\$ 92.993 mil para o PIB, seguido pelo setor de serviços (R\$ 35.502 mil) e pela indústria (R\$ 4.164 mil). Em 2021, o município contava com 232 empresas, das quais 58% atuavam no setor de serviços. Embora o mercado de trabalho formal seja limitado, registrou-se um saldo positivo de 5 empregos em 2021.

A taxa de alfabetização em 2010 era de 75,5%, indicando uma necessidade de investimentos em educação para melhorar esse indicador. Na área da saúde, o município registrou 44 nascimentos e 10 óbitos em 2019, contando com uma estrutura hospitalar básica. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.13.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE MATEIROS

A análise dos incêndios no município de Mateiros, como evidenciado pelos dados da Tabela 103, é de que em 2020, Mateiros registrou 548 incêndios, resultando em uma área total queimada de 65.816,60 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 120,10 ha, enquanto a mediana foi de 4,49 ha, indicando que a maioria dos incêndios envolveu áreas menores. No entanto, o maior incêndio registrado nesse ano abrangeu 19.242,60 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,11 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 12,53 ha sugere uma concentração de incêndios de pequeno porte, com alguns eventos de grande magnitude elevando a média.

No ano de 2021, o número de incêndios caiu para 187, mas a área total queimada foi de 41.883,70 ha. A média de área por incêndio aumentou para 223,98 ha, refletindo a ocorrência de incêndios mais extensos em comparação ao ano anterior. A mediana subiu para 23,03 ha, indicando que uma maior proporção de incêndios foi de porte médio a grande. O maior incêndio registrado cobriu 6.529,11 ha, enquanto o menor afetou 1,24 ha. O IQR de 69,09 ha evidencia uma variação significativa nos tamanhos dos incêndios, com uma distribuição mais ampla.

Em 2022 houve um aumento no número de incêndios, totalizando 209 ocorrências, com uma área total queimada de 106.528,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 509,70 ha, e a mediana subiu para 50,94 ha, sugerindo que, embora ainda houvesse incêndios menores, houve uma maior incidência de eventos de grande porte. O maior incêndio do ano atingiu 13.279,90 ha, e o menor afetou apenas 0,03 ha. O IQR de 220,22 ha indica uma ampla variação nas áreas queimadas, com uma significativa diferença entre os menores e maiores incêndios.

Em 2023, o número de incêndios subiu para 250, resultando em uma área total queimada de 77.997,80 ha. A média por incêndio foi de 311,99 ha, e a mediana ficou em 21,02 ha, apontando para uma predominância de incêndios de médio porte. O maior incêndio registrado no ano cobriu 12.773,50 ha, enquanto o menor afetou 0,07 ha. O IQR de 132,19 ha reflete uma distribuição relativamente ampla, com uma considerável variação entre os tamanhos dos incêndios.

Ao longo dos quatro anos analisados, Mateiros apresentou flutuações, tanto na quantidade, quanto na magnitude dos incêndios (Figura 50). Enquanto 2020 e 2021 foram caracterizados por incêndios mais frequentes, mas de menor porte em média, os anos de 2022 e 2023 mostraram um aumento na área média queimada por incêndio, com maior incidência de eventos de grande magnitude.

Tabela 103 – Incêndios no município de Mateiros por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Mateiros								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	65.816,60	548	120,10	4,49	19242,60	0,11	2,42	14,95	12,53
2021	41.883,70	187	223,98	23,03	6529,11	1,24	9,00	78,09	69,09
2022	106.528,00	209	509,70	50,94	13279,90	0,03	10,87	231,09	220,22
2023	77.997,80	250	311,99	21,02	12773,50	0,07	4,37	136,56	132,19

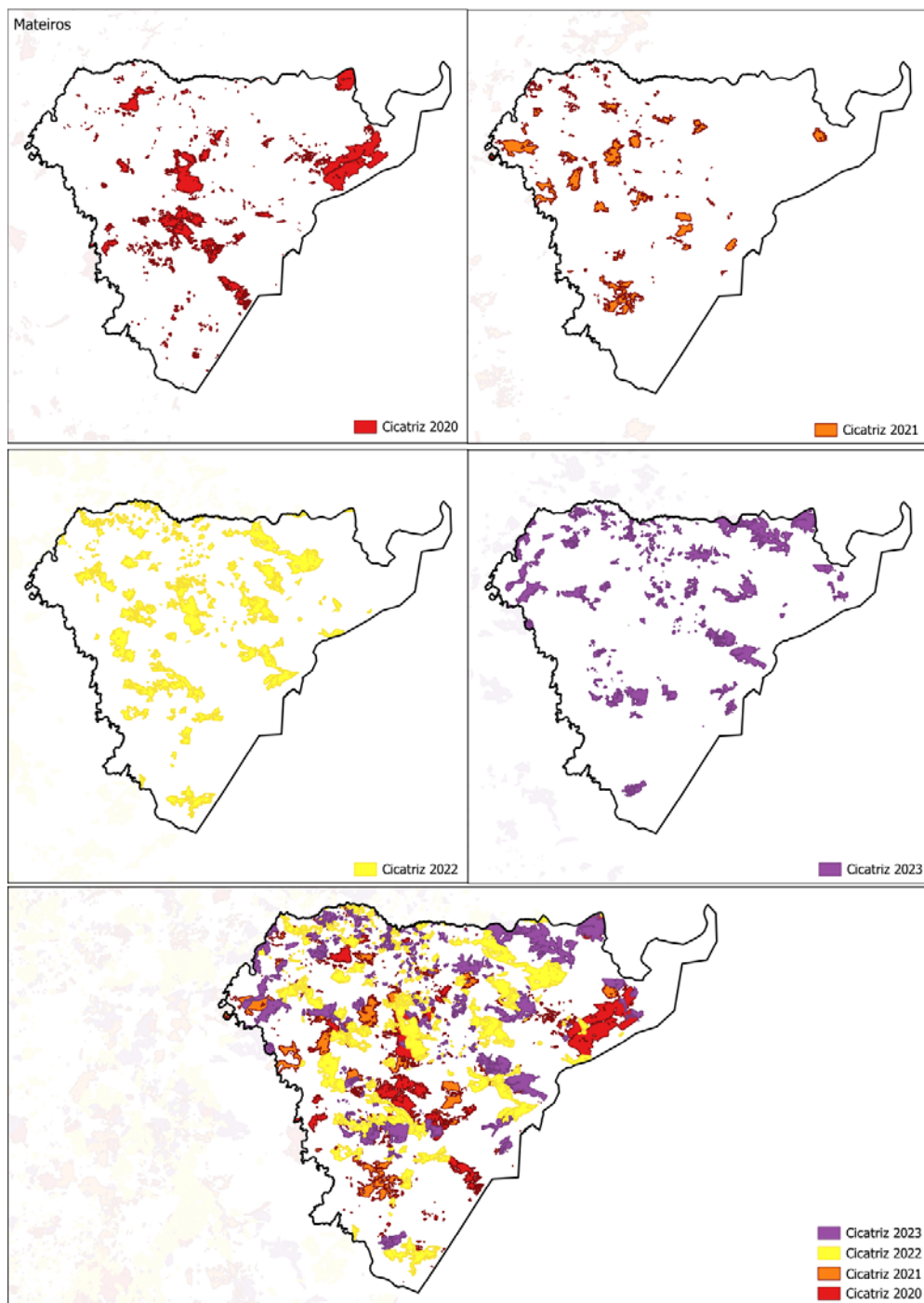


Figura 50 – Cicatrizes de incêndios para o município de Mateiros por ano para o período de 2020 a 2023.

6.13.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - MATEIROS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Mateiros entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, destaca a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, mesmo que os incêndios de pequeno e médio porte sejam mais frequentes (Tabela 104). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 94,59% da área total queimada (62.256,90 ha), apesar de representarem apenas 12,41% do número total de incêndios, com 68 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,22% da área queimada (2.774,96 ha) e representaram 34,67% das ocorrências, com 190 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 52,92% do total de incêndios com 290 ocorrências, impactaram apenas 1,19% da área queimada (784,70 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar, representando 95,94% da área total queimada (40.182,00 ha) e 36,90% do número total de incêndios, com 69 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,03% da área queimada (1.687,67 ha) e representaram 60,96% das ocorrências, com 114 registros. Pequenos incêndios foram raros, representando 2,14% das ocorrências com 4 registros, e impactaram apenas 0,03% da área queimada (14,03 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 98,95% da área total queimada (105.405,00 ha) e 55,50% do número de incêndios, com 116 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,00% da área queimada (1.064,53 ha) e 30,62% das ocorrências, com 64 registros. Pequenos incêndios, que representaram 13,88% das ocorrências com 29 registros, impactaram apenas 0,05% da área queimada (58,47 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 98,46% da área total queimada (76.793,70 ha) e 43,60% do número de incêndios, com 109 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,32% da área queimada (1.029,08 ha) e 28,40% das ocorrências, com 71 registros. Pequenos incêndios, que foram responsáveis por 28,00% do total de incêndios com 70 ocorrências, impactaram apenas 0,22% da área queimada (175,03 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Mateiros, com proporções superiores a 94% em todos os anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela esmagadora maioria da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto muito menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados sugerem que o foco principal das estratégias de prevenção e combate deve ser nos grandes incêndios, que causam a maior parte dos danos ambientais em Mateiros.

Tabela 104 – Descrição Incêndios em Mateiros por tamanho e ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	784,70	1,19	290	52,92	2774,96	4,22	190	34,67	62.256,90	94,59	68	12,41
2021	14,03	0,03	4	2,14	1.687,67	4,03	114	60,96	40.182,00	95,94	69	36,90
2022	58,47	0,05	29	13,88	1.064,53	1,00	64	30,62	105.405,00	98,95	116	55,50
2023	175,03	0,22	70	28,00	1.029,08	1,32	71	28,40	76.793,70	98,46	109	43,60

6.13.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - MATEIROS

A Tabela 105 que descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Mateiros destaca uma área artificial com 172,11 ha e a área combustível, com 973.211,17 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, que é a zona de transição crítica entre áreas urbanas e vegetais, cobre 171,36 ha.

Tabela 105 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Mateiros

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	172,11	973.211,17	171,36

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Mateiros entre os anos de 2020 e 2023 revela uma ausência completa de atividades de incêndios na área de interface durante todo o período analisado (Tabela 106).

Nos quatro anos consecutivos de 2020 a 2023, não houve nenhum registro de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha em todos esses anos. Esses dados indicam que as condições ambientais, combinadas possivelmente com práticas de gestão eficazes, foram bem-sucedidas em prevenir a ocorrência de incêndios dentro dessa área crítica.

A ausência de incêndios na IUF em Mateiros ao longo desses anos pode sugerir que: 1) as medidas de prevenção e controle implementadas foram eficazes em proteger essa zona de interface entre as áreas urbanas e as áreas vegetais; 2) não ocorreram condições climáticas favoráveis para a ignição e propagação dos incêndios nessa área; 3) não ocorreram atividades humanas que gerassem ignição e propagação de incêndios nessa área.

Tabela 106 – Incêndios em Mateiros dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Mateiros								IQR (ha)
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	
2020	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A análise dos incêndios no município de Mateiros e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 evidencia uma ausência completa de queimadas dentro da zona de interface, contrastando com a expressiva área queimada registrada no restante do município (Tabela 107).

Em 2020, não houve registros de incêndios na IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. Entretanto, o município de Mateiros apresentou 65.816,60 ha queimados, correspondendo a 6,87% de sua área total. Esse resultado demonstra que, embora a IUF tenha permanecido protegida, outras porções do território municipal foram fortemente impactadas.

Situação semelhante ocorreu em 2021, quando novamente não se observaram incêndios na IUF. O município, por sua vez, registrou 41.883,70 ha queimados, o equivalente a 4,37% da área municipal, indicando uma redução em relação ao ano anterior. Em 2022, Mateiros enfrentou um aumento expressivo, com 106.528,00 ha queimados (11,11% da área municipal), ainda sem registros na IUF. Em 2023, o município contabilizou 77.997,80 ha (8,14%), mantendo a IUF intacta.

No acumulado de 2020 a 2023, a IUF de Mateiros não apresentou qualquer registro de incêndios, enquanto o município como um todo somou 292.226,10 ha queimados. Esses resultados reforçam a

resiliência da IUF nesse período e sugerem que, embora o município tenha sido altamente impactado, a zona de interface permaneceu preservada.

Tabela 107 – Incêndios no município de Mateiros e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Mateiros	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	0,00	0,00	65.816,60	6,87
2021	0,00	0,00	41.883,70	4,37
2022	0,00	0,00	106.528,00	11,11
2023	0,00	0,00	77.997,80	8,14
2020 á 2023	0,00 ha		292.226,10 ha	

A relação entre as proporções de áreas apresentadas na Tabela 108 confirma esse cenário: a IUF não registrou incêndios no período (0,00%), enquanto sua extensão corresponde a apenas 0,02% da área total do município. Esse dado evidencia que a reduzida representatividade espacial da IUF em Mateiros pode ser um dos fatores que explicam a ausência de registros de incêndios, sugerindo que sua contribuição para a dinâmica do fogo no município é pouco expressiva.

Tabela 108 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Mateiros

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,00	0,02

No que se refere ao uso do solo, a inexistência de registros de queimadas dentro da IUF impede a identificação de tipologias específicas afetadas. Esse resultado reforça a particularidade de Mateiros em comparação a outros municípios analisados, nos quais a IUF contribuiu, ainda que minimamente, para as áreas totais queimadas.

6.13.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-MATEIROS

Os resultados da regressão logística para a IUF de Mateiros (Tabela 109) mostram que incêndios médios apresentam a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,57 e uma probabilidade de 45,29%. Este dado indica que incêndios médios são relativamente comuns na região, e que o modelo preditivo apresenta boa confiabilidade na identificação desse tipo de evento. Incêndios pequenos aparecem em seguida, com um ROC de 0,55 e probabilidade de 27,03%, indicando que, embora menos frequentes do que os médios, ainda têm presença relevante. Já os incêndios grandes possuem um ROC de 0,53 e uma probabilidade de 28,68%, mostrando ocorrência próxima à dos pequenos, mas ainda inferior à dos médios. Esses resultados apontam para a necessidade de estratégias de prevenção que priorizem os incêndios médios, sem negligenciar os pequenos e grandes, dado o potencial impacto de cada categoria dentro da IUF de Mateiros.

Tabela 109 – Dados da Regressão Logística para IUF Mateiros por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,53	28,68
Médio	0,57	27,03
Pequeno	0,55	45,29

A análise do gráfico (Figura 51) demonstra padrões distintos de probabilidade de incêndios em função da distância da IUF no município de Mateiros. A linha vermelha, que representa incêndios médios, mostra uma tendência crescente à medida que a distância aumenta, indicando que esse tipo de incêndio é mais comum em áreas mais afastadas da IUF. Já a linha amarela, referente a incêndios pequenos, evidencia uma tendência de queda ao longo da distância, sugerindo que esses incêndios são mais prováveis nas proximidades da interface, onde há maior interação humana, mas perdem relevância em regiões mais distantes. Por outro lado, a linha azul, que representa incêndios grandes, também apresenta diminuição contínua conforme aumenta a distância da IUF, reforçando que tais eventos são mais prováveis em áreas próximas à interface, possivelmente pela influência das atividades humanas e maior disponibilidade de combustível.

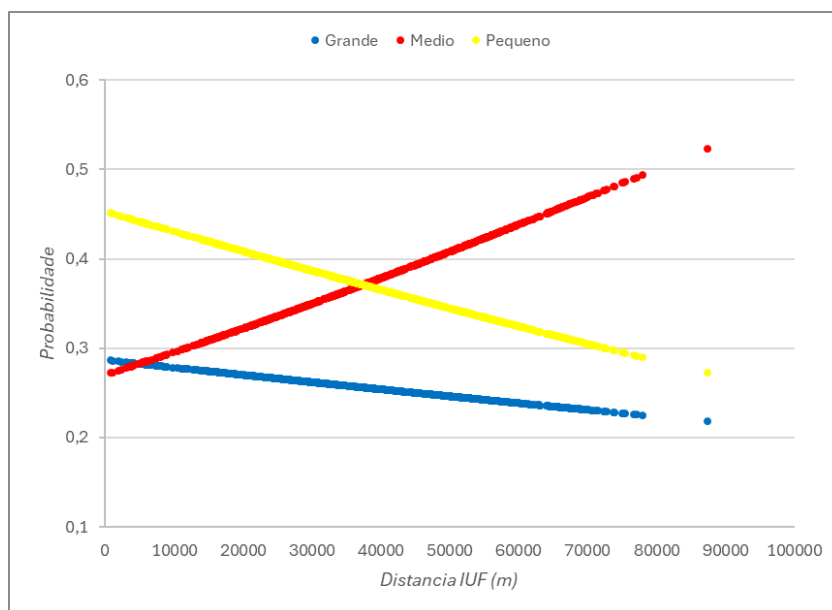


Figura 51 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Mateiros

Esses resultados indicam que, em Mateiros, a gestão de incêndios deve ser diferenciada com base na localização: nas áreas próximas à IUF, o foco deve ser a prevenção de incêndios grandes e pequenos, enquanto em regiões mais afastadas é fundamental o monitoramento e manejo dos fatores que favorecem a ocorrência de incêndios médios.

6.14. RIO SONO

Rio Sono, foi fundado em 1960 e oficialmente instalado como município em 1º de fevereiro de 1983, sendo seus fundadores Aldeman Souza Lustosa e Filinto Cruz. Com uma área territorial de 6.346 km² e inserido no bioma Cerrado, o município apresenta uma densidade demográfica baixa, de apenas 1,0 habitante por km², conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 6.498 habitantes, com uma taxa de urbanização de 38,5%, refletindo um cenário predominantemente rural.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,600 em 2010. Este índice é composto por subíndices de longevidade (0,779), educação (0,482) e renda (0,574). Quanto à pobreza é uma questão crítica no município, com 40% das famílias vivendo em pobreza extrema, 64% em pobreza absoluta e 90% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010.

Em termos econômicos, Rio Sono apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 65.715,56 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 10.160,11. A economia do município é fortemente influenciada pelo setor de serviços, que contribuiu com R\$ 48.056 mil ao PIB, seguido pela agropecuária, que adicionou R\$ 13.461 mil, e pela indústria, com R\$ 1.942 mil. Em 2021, Rio Sono contava com 191 empresas, sendo 53% delas no comércio. Apesar das limitações econômicas, o mercado de trabalho formal registrou um saldo positivo de 4 empregos em 2021, refletindo pequenos avanços na geração de empregos.

Os serviços públicos e a infraestrutura de Rio Sono apresentam desafios que necessitam de atenção. A taxa de alfabetização em 2010 era de 82,5%, indicando a necessidade de maiores investimentos em educação. Na área da saúde, o município registrou 46 nascimentos e 19 óbitos em 2019, dispondo de uma infraestrutura hospitalar básica. O saneamento básico é majoritariamente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário. Contudo, o município enfrenta desafios ambientais, como os focos de queimadas registrados em 2020, que destacam a importância de políticas ambientais para a preservação do Cerrado e a sustentabilidade do desenvolvimento local.

6.14.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE RIO SONO

Na Tabela 110 a análise dos incêndios no município de Rio Sono entre 2020 e 2023. Em 2020, foram registrados 567 incêndios, resultando em uma área total queimada de 104.305,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 183,96 ha, enquanto a mediana ficou em 4,27 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte, apesar de alguns eventos de grande magnitude. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 24.794,60 ha, e o menor afetou apenas 0,11 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 9,46 ha indica uma concentração de incêndios menores, com algumas exceções notáveis.

No ano de 2021, o número de incêndios caiu para 75, com uma área total queimada de 15.818,70 ha. A média de área queimada por incêndio aumentou para 210,92 ha, refletindo a ocorrência de incêndios mais extensos, mesmo com a redução na quantidade de eventos. A mediana subiu para 25,20 ha, indicando uma maior frequência de incêndios de porte médio a grande. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 6.122,74 ha, enquanto o menor afetou 2,32 ha. O IQR de 62,00 ha evidencia uma ampla variação nos tamanhos dos incêndios, com uma distribuição mais diversa.

Em 2022, o município registrou 427 incêndios, resultando em uma área total queimada de 111.235,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 260,50 ha, com uma mediana de 16,36 ha, sugerindo uma maior diversidade nos tamanhos dos incêndios, com uma predominância de eventos de médio porte. O maior incêndio do ano cobriu 14.974,80 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,10 ha. O IQR de 68,26 ha indica uma variação considerável nas áreas queimadas, com uma distribuição relativamente ampla entre os diferentes tamanhos de incêndios.

Em 2023, foram registrados 201 incêndios, totalizando uma área queimada de 32.740,60 ha. A média por incêndio foi de 162,89 ha, enquanto a mediana ficou em 18,43 ha, apontando para uma distribuição de incêndios de médio porte. O maior incêndio registrado nesse ano atingiu 8.166,36 ha, enquanto o menor afetou 1,00 ha. O IQR de 53,69 ha reflete uma variação significativa nos tamanhos dos incêndios, mas com uma concentração maior em eventos de porte médio.

Ao longo dos quatro anos analisados, Rio Sono apresentou flutuações, tanto na quantidade, quanto na magnitude dos incêndios como podemos observar na Figura 52. O ano de 2020 destacou-se pelo maior número de incêndios, enquanto 2021 apresentou uma redução significativa na frequência, mas com um

aumento relativo na área média queimada. Já 2022 e 2023 mostraram uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho.

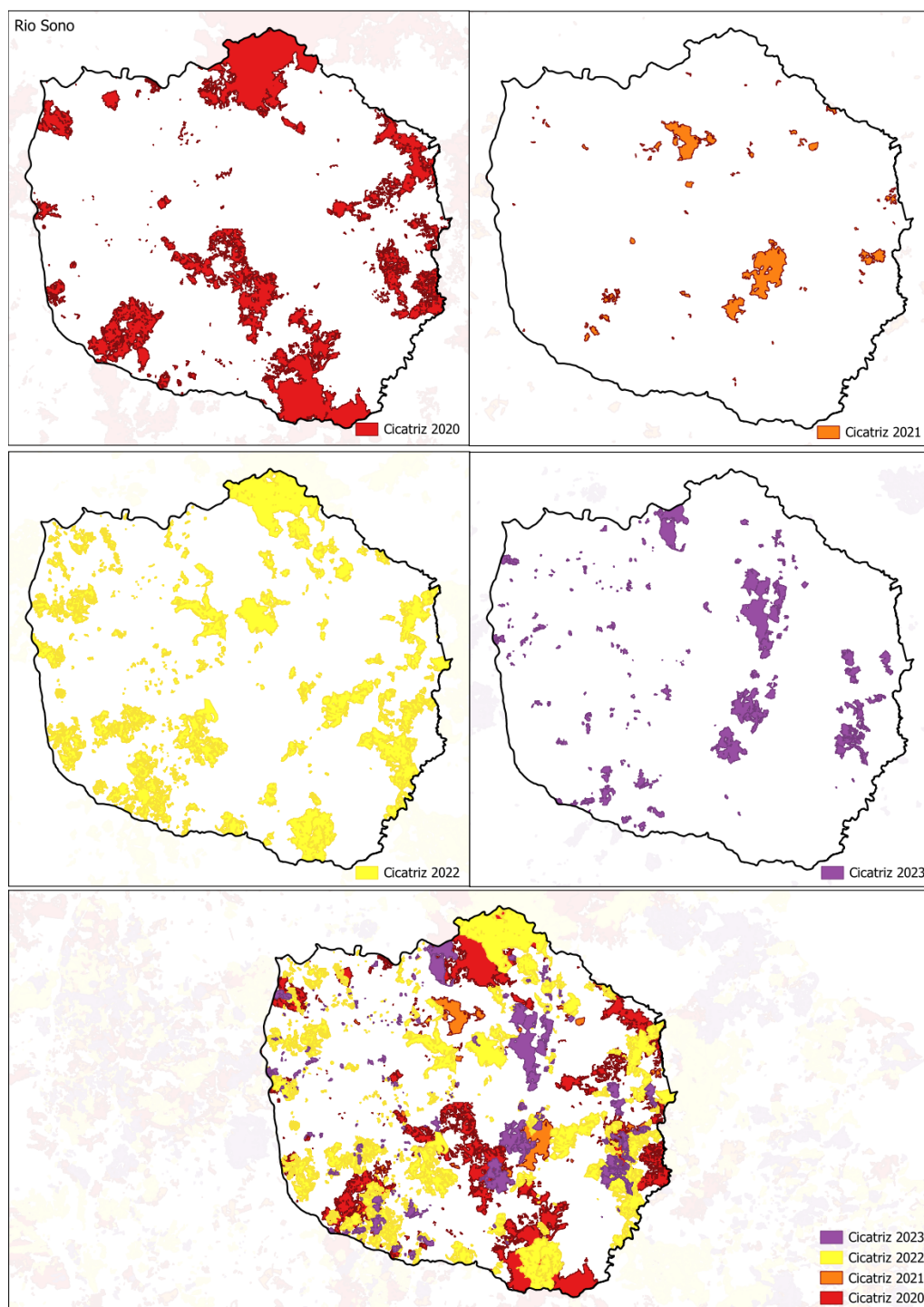


Figura 52 – Cicatrizes de incêndios para o município de Rio Sono por ano no período de 2020 a 2023.

Tabela 110 – Incêndios no município de Rio Sono por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Rio Sono								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	104.305,00	567	183,96	4,27	24794,60	0,11	2,24	11,69	9,46
2021	15.818,70	75	210,92	25,20	6122,74	2,32	16,64	78,64	62,00
2022	111.235,00	427	260,50	16,36	14974,80	0,10	5,58	73,84	68,26
2023	32.740,60	201	162,89	18,43	8166,36	1,00	5,25	58,95	53,69

6.14.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - RIO SONO

A análise dos dados referentes aos incêndios em Rio Sono entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho (Tabela 111), revela uma clara predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, mesmo que os pequenos e médios incêndios sejam mais frequentes. Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 96,89% da área total queimada (101.062,00 ha), embora representassem apenas 11,64% do número total de incêndios, com 66 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,41% da área queimada (2.512,59 ha) e representaram 34,57% das ocorrências, com 196 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 53,79% do total de incêndios com 305 ocorrências, impactaram apenas 0,70% da área queimada (730,43 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a predominar em termos de área queimada, com 94,25% do total (14.908,90 ha), mas representaram 36,00% do número total de incêndios, com 27 ocorrências. Incêndios de tamanho médio foram mais frequentes, representando 61,33% das ocorrências com 46 registros, e contribuíram com 5,71% da área queimada (903,07 ha). Pequenos incêndios, embora presentes em 2,67% das ocorrências com 2 registros, impactaram apenas 0,04% da área queimada (6,72 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 97,10% da área total queimada (108.014,00 ha) e 33,26% do número de incêndios, com 142 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,67% da área queimada (2.971,29 ha) e 44,26% das ocorrências, com 189 registros. Pequenos incêndios, que representaram 22,48% das ocorrências com 96 registros, impactaram apenas 0,22% da área queimada (249,01 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 94,88% da área total queimada (31.063,90 ha) e 32,34% do número de incêndios, com 65 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,76% da área queimada (1.559,92 ha) e 44,78% das ocorrências, com 90 registros. Pequenos incêndios, que foram responsáveis por 22,89% do total de incêndios com 46 ocorrências, impactaram apenas 0,36% da área queimada (116,80 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Rio Sono, com proporções superiores a 94% em todos os anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes, em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela esmagadora maioria da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto muito menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados sugerem que o foco principal das estratégias de prevenção e combate deve ser nos grandes incêndios, que causam a maior parte dos danos ambientais em Rio Sono.

Tabela 111 – Descrição Incêndios em Rio Sono por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	730,43	0,70	305	53,79	2512,59	2,41	196	34,57	101.062,00	96,89	66	11,64
2021	6,72	0,04	2	2,67	903,07	5,71	46	61,33	14.908,90	94,25	27	36,00
2022	249,01	0,22	96	22,48	2.971,29	2,67	189	44,26	108.014,00	97,10	142	33,26
2023	116,80	0,36	46	22,89	1.559,92	4,76	90	44,78	31.063,90	94,88	65	32,34

6.14.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - RIO SONO

A área artificial, com 304,52 ha e a área combustível totalizaram 641.931,14 ha geram uma área de IUF, com 302,10 ha (Tabela 112).

Tabela 112 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Rio Sono

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	304,52	641.931,14	302,10

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Rio Sono entre os anos de 2020 e 2023 revela uma atividade limitada de incêndios, com registros esporádicos e anos de completa ausência de incidentes (Tabela 113).

Em 2020, foram registrados 2 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 3,25 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 1,62 ha, e a mediana também ficou em 1,62 ha, indicando que os dois incêndios foram de tamanho similar. O maior incêndio registrado abrangeu 3,22 ha, enquanto o menor afetou 0,03 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 3,20 ha sugere uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios.

No ano de 2021, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. Em 2022, houve um único incêndio registrado na IUF, totalizando 2,46 ha queimados. Como foi um único evento, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 2,46 ha, com um IQR de 0,00 ha, indicando a ausência de variação nos tamanhos dos incêndios. Em 2023, assim como em 2021, não houve registros de incêndios dentro da IUF, mantendo a área queimada em 0,00 ha.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Rio Sono experimentou uma atividade de incêndios esporádica e de pequeno porte, com a maioria dos anos sem qualquer incidente registrado.

Tabela 113 – Incêndios em Rio Sono dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Rio Sono								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	3,25	2	1,62	1,62	3,22	0,03	0,03	3,22	3,20
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	2,46	1	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	0,00
2023	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A análise dos incêndios no município de Rio Sono e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 evidencia a diferença entre a área total queimada no município e a contribuição da IUF para esses totais, destacando as variações anuais na atividade de incêndios (Tabela 114). Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 3,25 ha, representando 1,07% da área da IUF. No mesmo ano, o município registrou 104.305,00 ha queimados, equivalentes a 16,44% da sua área total, demonstrando que, apesar da pequena extensão da IUF afetada, o restante do território municipal sofreu fortemente com os incêndios.

Em 2021, não houve registros de incêndios na IUF, enquanto o município apresentou 15.818,70 ha queimados, correspondentes a 2,49% da sua área total. Em 2022, a IUF voltou a registrar incêndios, totalizando 2,46 ha queimados (0,81% da sua área), ao passo que o município registrou 111.235,00 ha (17,53% da área municipal). Em 2023, novamente não houve registros de incêndios na IUF, embora o município tenha registrado 32.740,60 ha queimados, correspondentes a 5,16% da área total. No acumulado de 2020 a 2023, a IUF apresentou apenas 5,71 ha queimados, frente a 264.099,30 ha no município como um todo, confirmando sua contribuição mínima em termos relativos para a dinâmica dos incêndios.

Tabela 114 – Incêndios no município de Rio Sono e sua IUF por ano para o período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Rio Sono	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	3,25	1,07	104.305,00	16,44
2021	0,00	0,00	15.818,70	2,49
2022	2,46	0,81	111.235,00	17,53
2023	0,00	0,00	32.740,60	5,16
2020 á 2023	5,71 ha		264.099,30 ha	

A relação entre áreas queimadas apresentada na Tabela 115 reforça esse cenário: enquanto os incêndios registrados na IUF representam uma fração insignificante do total municipal (0,00%), a IUF em si corresponde a apenas 0,05% da área territorial de Rio Sono. Esse dado evidencia que a reduzida participação da IUF na dinâmica dos incêndios está diretamente relacionada à sua pequena representatividade no território municipal.

A distribuição dos incêndios por tipologia de uso do solo dentro da IUF (Tabela 116) mostra predominância nas formações savânicas (3,66 ha), seguidas pelas áreas de pastagem (1,91 ha). Foram ainda identificados registros pontuais em mosaico de usos (0,02 ha), áreas urbanizadas (0,09 ha) e outras áreas não vegetadas (0,03 ha). A ausência de registros em formações florestais, áreas alagáveis ou campestres sugere que os incêndios ocorreram preferencialmente em zonas antrópicas ou de uso agropecuário, refletindo a interação entre atividades humanas e a vulnerabilidade das formações savânicas na IUF.

Tabela 115 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Rio Sono

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,00	0,05

Tabela 116 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo –Rio Sono

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,00
	Formação Savânica	3,66
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,00
Agropecuária	Pastagem	1,91
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,02
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	0,09
	Outras Áreas não Vegetadas	0,03
	Mineração	0,00

6.14.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF- RIO SONO

A análise da regressão logística para a IUF de Rio Sono (Tabela 117) revela que incêndios de médio porte têm a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,53 e uma probabilidade de 44,27%. Esses valores indicam que incêndios médios são relativamente comuns na região, com o modelo preditivo apresentando confiabilidade moderada para a identificação desses eventos, provavelmente em função da interação entre fatores ambientais e a proximidade das atividades humanas.

Incêndios pequenos apresentam um ROC de 0,54 e uma probabilidade de 36,74%, evidenciando também uma ocorrência significativa, ainda que em menor proporção do que os médios. Já os incêndios grandes apresentam o menor valor entre as classes analisadas, com um ROC de 0,51 e probabilidade de 19,28%, o que sugere que esses eventos são menos frequentes na IUF de Rio Sono. Esses resultados reforçam a importância de direcionar as estratégias de manejo principalmente para incêndios médios e pequenos, que concentram maior risco de ocorrência e impacto sobre a interface urbano-florestal.

Tabela 117 – Dados da Regressão Logística para IUF Rio Sono por tamanho de área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,51	19,28
Médio	0,53	44,27
Pequeno	0,54	36,74

A análise do gráfico (Figura 53) mostra que a linha amarela, representando incêndios pequenos, apresenta uma tendência crescente à medida que a distância da IUF aumenta. Esse padrão sugere que incêndios de menor escala são mais frequentes em áreas mais afastadas da interface, possivelmente associados à menor intervenção humana e à predominância de condições naturais que favorecem esse tipo de ocorrência.

A linha vermelha, que indica a probabilidade de incêndios médios, revela uma tendência decrescente conforme aumenta a distância da IUF. Esse comportamento sugere que incêndios de porte médio se concentram mais nas áreas próximas à interface, onde fatores como ocupação humana e práticas de uso do solo podem contribuir para sua ocorrência.

Já a linha azul, representando incêndios grandes, mantém-se praticamente estável ao longo de toda a distância, com discreta tendência de queda. Essa estabilidade indica que, em Rio Sono, os incêndios de grande porte não apresentam forte dependência da proximidade à IUF, podendo ocorrer tanto em áreas próximas quanto em locais mais distantes.

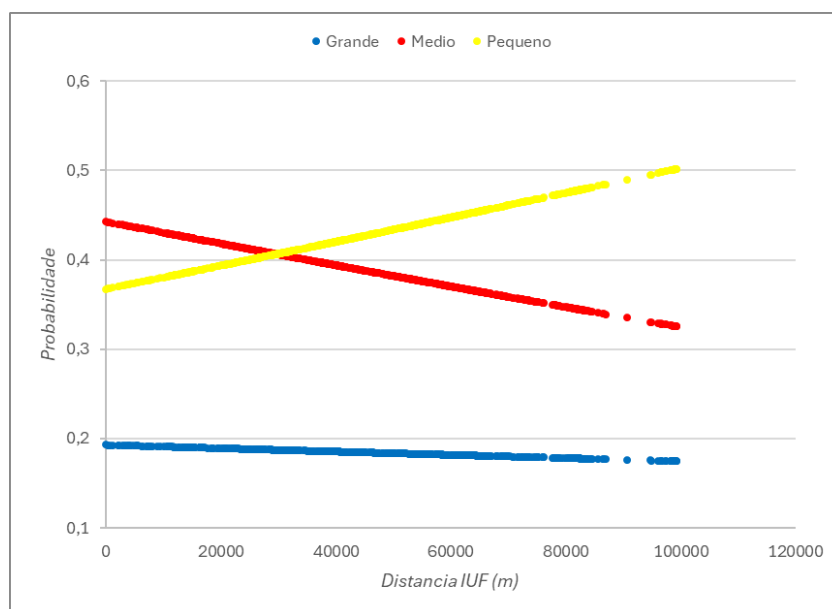


Figura 53 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Rio Sono

Esses resultados indicam que, em Rio Sono, a dinâmica dos incêndios demanda uma abordagem diferenciada. Em áreas próximas à IUF, deve-se priorizar o manejo de incêndios médios, que apresentam maior concentração, enquanto em áreas mais afastadas a ênfase deve recair sobre o monitoramento e prevenção de incêndios pequenos. Já os incêndios grandes, pela sua ocorrência mais estável, exigem vigilância contínua em todo o território, ainda que com menor prioridade relativa.

6.15. ARRAIAS

O município de Arraias, localizado no sudeste do Estado do Tocantins, possui uma rica história de fundação datada de 1º de agosto de 1740, sendo instalado oficialmente como município em 19 de setembro de 1914. Fundado por Luiz de Mascarenhas e Capitão Felipe Antônio Cardoso, Arraias é conhecida pelo seu gentílico, arraiano, e tem Nossa Senhora dos Remédios como padroeira, celebrada no dia 8 de setembro. Com uma área territorial de 5.803 km², situada a uma altitude média de 682 metros, Arraias integra o bioma do Cerrado, caracterizando-se por uma densidade demográfica de 1,8 hab./km² e uma população estimada de 10.502 habitantes em 2021.

Os aspectos sociais do município refletem um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,651, classificado como médio. Esse índice é desagregado em longevidade (0,829), educação (0,523) e renda (0,636). No entanto, os desafios socioeconômicos são evidentes, com 30% das famílias vivendo em pobreza extrema, 53% em pobreza absoluta e 81% em pobreza, conforme os dados de 2010. A taxa de urbanização do município é de 69,2%, com uma predominância de população parda, que somava 6.804 indivíduos em 2010.

O cenário econômico de Arraias apresenta um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 185.519,91 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 17.500,23. A economia local é diversificada, com destaque para os

setores de serviços (R\$ 110.170 mil), agropecuária (R\$ 35.787 mil) e indústria (R\$ 12.618 mil). Em 2021, havia 438 empresas registradas, sendo 39% do comércio e 41% de serviços. A produção agrícola inclui culturas como milho, mandioca e cana-de-açúcar, além de um significativo efetivo de rebanhos bovinos e aves. O mercado de trabalho formal contava com 990 empregos em 2019.

Na área da educação, Arraias contava em 2020 com 1.799 matrículas no ensino fundamental e 485 no ensino médio. A taxa de alfabetização era de 81,9% em 2010. Em termos de saúde, o município possuía quatro unidades básicas de saúde, um hospital geral e uma unidade de apoio-diagnose e terapia em 2021. O abastecimento de água e o esgotamento sanitário apresentam variabilidade, refletindo as condições de infraestrutura básica. Além disso, a arrecadação de impostos municipais em 2019 alcançou R\$ 1.852.025.

6.15.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE ARRAIAS

Como demonstrado na Tabela 118, em 2020, Arraias registrou 370 incêndios, resultando em uma área total queimada de 35.446,10 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 95,80 ha, enquanto a mediana ficou em 4,17 ha, indicando que a maioria dos incêndios envolveu áreas relativamente pequenas. O maior incêndio registrado no ano atingiu 12.458,60 ha, enquanto o menor foi praticamente insignificante em termos de área queimada. O intervalo interquartil (IQR) de 8,50 ha sugere uma concentração de incêndios menores, com poucas ocorrências de grande magnitude.

Em 2021, o número de incêndios caiu para 104, mas a área total queimada aumentou significativamente para 79.442,10 ha. A média de área por incêndio subiu para 763,87 ha, refletindo a ocorrência de incêndios de maior porte. A mediana também aumentou para 40,42 ha, indicando uma distribuição mais ampla dos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 24.633,80 ha, enquanto o menor novamente não apresentou relevância em termos de área. O IQR de 122,83 ha evidencia uma grande variação nos tamanhos dos incêndios, com uma distribuição consideravelmente dispersa.

Em 2022, o município registrou 244 incêndios, totalizando uma área queimada de 49.190,00 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 201,60 ha, enquanto a mediana ficou em 22,40 ha, sugerindo uma predominância de incêndios de porte médio. O maior incêndio registrado no ano atingiu 5.188,68 ha, e o menor foi de apenas 0,04 ha. O IQR de 82,41 ha reflete uma variação significativa entre os tamanhos dos incêndios, com uma maior concentração de eventos de médio porte.

Em 2023, foram registrados 160 incêndios, com uma área total queimada de 33.863,60 ha. A média de área por incêndio foi de 211,65 ha, enquanto a mediana caiu para 9,79 ha, indicando uma predominância de incêndios menores, mas com alguns eventos de maior magnitude. O maior incêndio registrado no ano cobriu 9.104,47 ha, enquanto o menor afetou 1,01 ha. O IQR de 51,15 ha sugere uma distribuição mais concentrada em incêndios de pequeno a médio porte, com algumas ocorrências notáveis de maior extensão.

O ano de 2021 destacou-se pela ocorrência de incêndios de grande porte, enquanto 2020 e 2023 tiveram uma maior frequência de eventos menores, a Figura 54 apresenta a distribuição geográfica desses eventos no município.

Tabela 118 – Incêndios no município de Arraias por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Arraias								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	35.446,10	370	95,80	4,17	12458,60	0,00	2,36	10,87	8,50
2021	79.442,10	104	763,87	40,42	24633,80	0,00	13,42	136,25	122,83
2022	49.190,00	244	201,60	22,40	5188,68	0,04	6,58	88,99	82,41
2023	33.863,60	160	211,65	9,79	9104,47	1,01	2,85	54,00	51,15

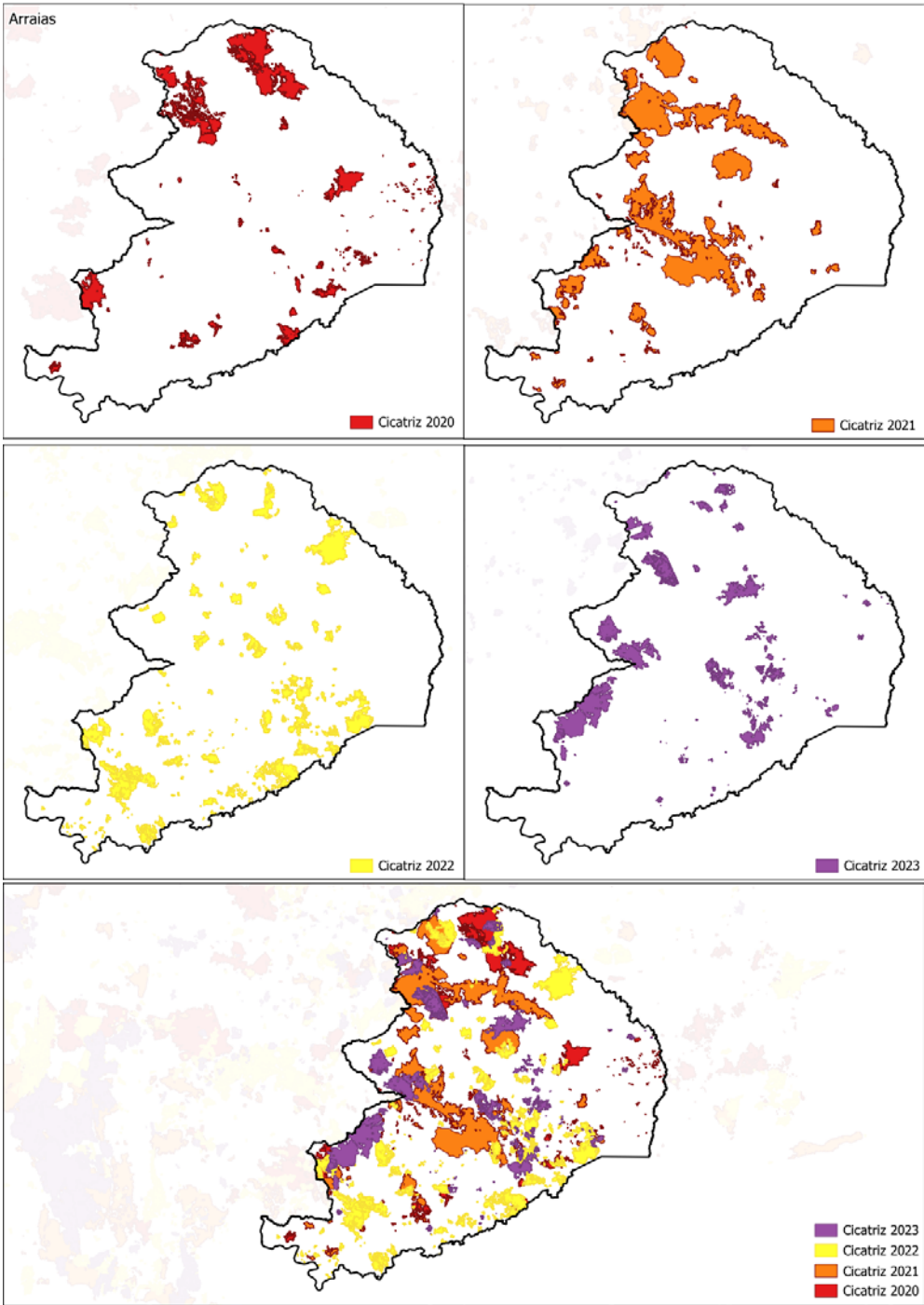


Figura 54 – Cicatrizes de incêndios para o município de Arraias por ano no período de 2020 a 2023.

6.15.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - ARRAIAS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Arraias entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho (Tabela 119), mostra uma predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, apesar de uma frequência maior de incêndios pequenos e médios. Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 94,32% da área total queimada (33.432,00 ha), embora representassem apenas 11,08% do número total de incêndios, com 41 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,21% da área queimada (1.492,42 ha) e representaram 33,78% das ocorrências, com 125 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 55,14% do total de incêndios com 204 ocorrências, impactaram apenas 1,47% da área queimada (521,70 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar em termos de área queimada, com 98,97% do total (78.622,60 ha), mas representaram 50,00% do número total de incêndios, com 52 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,01% da área queimada (801,50 ha) e 43,27% das ocorrências, com 45 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 6,73% das ocorrências com 7 registros, impactaram apenas 0,02% da área queimada (17,91 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,89% da área total queimada (47.170,40 ha) e 36,07% do número de incêndios, com 88 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,83% da área queimada (1.882,32 ha) e 45,08% das ocorrências, com 110 registros. Pequenos incêndios, que representaram 18,85% das ocorrências com 46 registros, impactaram apenas 0,28% da área queimada (137,33 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 97,05% da área total queimada (32.864,40 ha) e 28,13% do número de incêndios, com 45 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,51% da área queimada (849,57 ha) e 33,75% das ocorrências, com 54 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 38,13% do total de incêndios com 61 ocorrências, impactaram apenas 0,44% da área queimada (149,63 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Arraias, com proporções superiores a 94% na maioria dos anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela esmagadora maioria da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados sugerem que o foco principal das estratégias de prevenção e combate deve ser nos grandes incêndios, que causam a maior parte dos danos ambientais em Arraias.

Tabela 119 – Descrição Incêndios em Arraias por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	521,70	1,47	204	55,14	1492,42	4,21	125	33,78	33.432,00	94,32	41	11,08
2021	17,91	0,02	7	6,73	801,50	1,01	45	43,27	78.622,60	98,97	52	50,00
2022	137,33	0,28	46	18,85	1882,32	3,83	110	45,08	47.170,40	95,89	88	36,07
2023	149,63	0,44	61	38,13	849,57	2,51	54	33,75	32.864,40	97,05	45	28,13

6.15.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - ARRAIAS

A Tabela 120 que descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Arraias oferece uma visão detalhada das zonas de risco para incêndios, destacando a interação entre as áreas urbanas e as vastas áreas de vegetação suscetíveis a queimadas. Aqui, a área artificial tem 772,13 ha de extensão e a área combustível 590.457,02 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, cobre 745,75 ha.

Tabela 120 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Arraias

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	772,13	590.457,02	745,75

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Arraias, entre os anos de 2020 e 2023, demonstra variações significativas na frequência e na extensão dos incêndios, refletindo diferentes padrões de atividade ao longo dos anos (Tabela 121).

Em 2020, foram registrados 3 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 4,47 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 1,49 ha, enquanto a mediana ficou em 0,04 hectare, sugerindo que os incêndios foram pequenos, com um incêndio maior de 4,43 ha e os demais significativamente menores. O intervalo interquartil (IQR) de 2,22 ha reflete uma variação moderada entre os tamanhos dos incêndios.

No ano de 2021, a atividade de incêndios na IUF aumentou, com 6 incêndios registrados, totalizando uma área queimada de 70,83 ha. A média de área por incêndio foi de 11,81 ha, e a mediana ficou em 3,80 ha, indicando que alguns incêndios foram de maior porte, com o maior atingindo 52,18 ha. O IQR de 11,06 ha sugere uma considerável variação nos tamanhos dos incêndios, com uma concentração em torno de eventos menores, mas com a presença de um incêndio de grande magnitude.

Em 2022, a área queimada na IUF foi significativamente menor, totalizando apenas 1,57 ha distribuído em 2 incêndios. A média foi de 0,79 ha por incêndio, e a mediana também foi de 0,79 ha, indicando que os incêndios foram praticamente do mesmo tamanho. O maior incêndio registrado foi de 0,80 ha, e o menor de 0,77 ha, com um IQR de apenas 0,03 ha, refletindo a homogeneidade dos eventos em termos de área queimada.

Em 2023, houve 5 incêndios registrados na IUF, totalizando 23,40 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 4,68 ha, e a mediana ficou em 1,15 ha, indicando que houve uma maior variabilidade nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio registrado cobriu 19,28 ha, enquanto o menor foi de 0,00 ha (valor insignificante). O IQR de 2,96 ha reflete essa variabilidade.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Arraias experimentou uma atividade de incêndios bastante variável, tanto em frequência, quanto em tamanho. O ano de 2021 destacou-se com o maior número de incêndios e a maior área queimada, enquanto 2022 apresentou uma redução significativa nesses valores. O retorno da atividade em 2023, embora menos intensa que em 2021, indica a importância contínua de estratégias de prevenção e controle de incêndios na IUF para mitigar os riscos e impactos desses eventos.

Tabela 121 – Incêndios em Arraias dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Arraias								IQR (ha)
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	
2020	4,47	3	1,49	0,04	4,43	0,00	0,02	2,24	2,22
2021	70,83	6	11,81	3,80	52,18	0,00	0,00	11,06	11,06
2022	1,57	2	0,79	0,79	0,80	0,77	0,77	0,80	0,03
2023	23,40	5	4,68	1,15	19,28	0,00	0,00	2,97	2,96

A análise dos incêndios no município de Arraias e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 revela, com base nos dados da Tabela 122, uma variação significativa na área afetada dentro da IUF em comparação ao total do município.

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 4,47 ha, representando 0,60% da área da própria IUF. No mesmo ano, o município de Arraias registrou 35.446,10 ha queimados, correspondendo a 6,11% da área total do município. Isso sugere que, embora a IUF tenha sido impactada, a maior parte das áreas queimadas concentrou-se fora dessa zona.

No ano de 2021, a atividade de incêndios na IUF aumentou de forma expressiva, com 70,83 ha queimados, o que representou 9,50% da área da IUF. No município como um todo, foram registrados 79.442,10 ha queimados, equivalentes a 13,69% da área total municipal. Esse resultado evidencia que a IUF contribuiu de forma significativa para o total de áreas queimadas nesse ano, reforçando sua vulnerabilidade.

Em 2022, houve forte redução da área queimada na IUF, que foi de apenas 1,57 ha, representando 0,21% da área da IUF. O município, entretanto, registrou 49.190,00 ha queimados, equivalentes a 8,48% de sua área total. Essa discrepância mostra que os incêndios afetaram desproporcionalmente áreas externas à IUF.

Em 2023, a área queimada dentro da IUF voltou a crescer, alcançando 23,40 ha, o que representou 3,14% da área da IUF. Já o município registrou 33.863,60 ha queimados, correspondentes a 5,84% de sua área total. Embora menor que o pico de 2021, a contribuição da IUF para o total de áreas queimadas foi novamente significativa.

No período total de 2020 a 2023, a área queimada dentro da IUF foi de 100,27 ha, enquanto o município registrou 197.941,80 ha. Esses resultados demonstram que a IUF de Arraias, embora menor em escala, apresentou momentos de vulnerabilidade, com destaque para 2021, quando concentrou proporções relevantes de sua área queimada.

Tabela 122 – Incêndios no município de Arraias e sua IUF por ano

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Arraias	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	4,47	0,60	35.446,10	6,11
2021	70,83	9,50	79.442,10	13,69
2022	1,57	0,21	49.190,00	8,48
2023	23,40	3,14	33.863,60	5,84
2020 á 2023	100,27 ha		197.941,80 ha	

A relação entre áreas queimadas apresentada na Tabela 123 mostra que, no acumulado do período, os incêndios ocorridos na IUF de Arraias representaram apenas 0,05% do total queimado no município.

Em termos de extensão territorial, a área da IUF corresponde a 0,13% da área municipal. Esse descompasso evidencia que, embora a IUF seja pouco expressiva em termos de área relativa, sua vulnerabilidade não pode ser desconsiderada, pois episódios como o de 2021 revelam que, em determinados anos, a IUF pode concentrar uma fração significativa de sua área atingida por incêndios, ampliando sua relevância na dinâmica de risco local.

Tabela 123 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Arraias

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,05	0,13

A análise do uso do solo afetado por incêndios na IUF (Tabela 124) evidencia a predominância das classes formação savânica (43,87 ha) e pastagem (39,27 ha), que juntas representam a maior parte das áreas queimadas. Áreas de mineração (9,36 ha) e formação florestal (1,84 ha) também foram atingidas, além de pequenas parcelas de áreas urbanizadas (2,17 ha) e mosaicos de uso (1,71 ha). Essa distribuição revela que tanto ecossistemas naturais quanto áreas associadas a atividades humanas foram impactados, refletindo a complexidade dos incêndios em Arraias.

Tabela 124 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo –Arraias

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	1,84
	Formação Savânica	43,87
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,71
Agropecuária	Pastagem	39,27
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	1,71
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	2,17
	Outras Áreas não Vegetadas	1,34
	Mineração	9,36

6.15.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-ARRAIAS

Os resultados da regressão logística observados na Tabela 125 para a IUF de Arraias indicam que incêndios de médio porte têm uma probabilidade de ocorrência relativamente alta, com um ROC de 0,51 e uma probabilidade de 41,29%. Embora o modelo apresente desempenho apenas moderado, ele permite identificar que incêndios médios se destacam como os mais frequentes na área de estudo.

Incêndios pequenos apresentam um ROC de 0,52, com uma probabilidade de 39,33%, valores próximos aos observados para os incêndios médios, o que sugere que ambos os tipos ocorrem de forma recorrente e possuem relevância semelhante para a gestão da IUF de Arraias. Já os incêndios grandes têm um ROC de 0,52 e uma probabilidade de 19,53%, mostrando que são menos frequentes, mas ainda representam um risco considerável. Dessa forma, as estratégias de prevenção devem priorizar o monitoramento de incêndios médios e pequenos, sem negligenciar o potencial impacto dos grandes.

Tabela 125 – Dados da Regressão Logística para IUF Arraias por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,52	19,53
Médio	0,51	41,29
Pequeno	0,52	39,33

A análise do gráfico (Figura 55) evidencia comportamentos distintos na probabilidade de ocorrência de incêndios conforme a distância da IUF.

A linha amarela, que representa os incêndios pequenos, apresenta tendência levemente decrescente à medida que a distância aumenta. Isso indica que esses incêndios são relativamente mais comuns nas áreas próximas à IUF, possivelmente associados a ignições de baixa intensidade provocadas por atividades humanas. Ainda assim, a variação é discreta, sugerindo que incêndios pequenos podem ocorrer em diferentes contextos espaciais, mantendo certa estabilidade ao longo das distâncias.

A linha vermelha, correspondente aos incêndios de médio porte, revela uma tendência de crescimento gradual com o aumento da distância em relação à IUF. Esse comportamento sugere que esses incêndios encontram condições mais favoráveis em zonas intermediárias ou de transição, onde a continuidade da vegetação e a menor pressão de ações de controle possibilitam a propagação de queimadas de magnitude intermediária.

Já a linha azul, que representa os incêndios grandes, mostra um aumento consistente de probabilidade conforme se afasta da IUF. Esse padrão evidencia que áreas mais distantes, com menor influência de atividades urbanas e maior predominância de fatores naturais, como acúmulo de biomassa e ventos fortes, criam condições que favorecem a ocorrência e propagação de incêndios de grande escala.

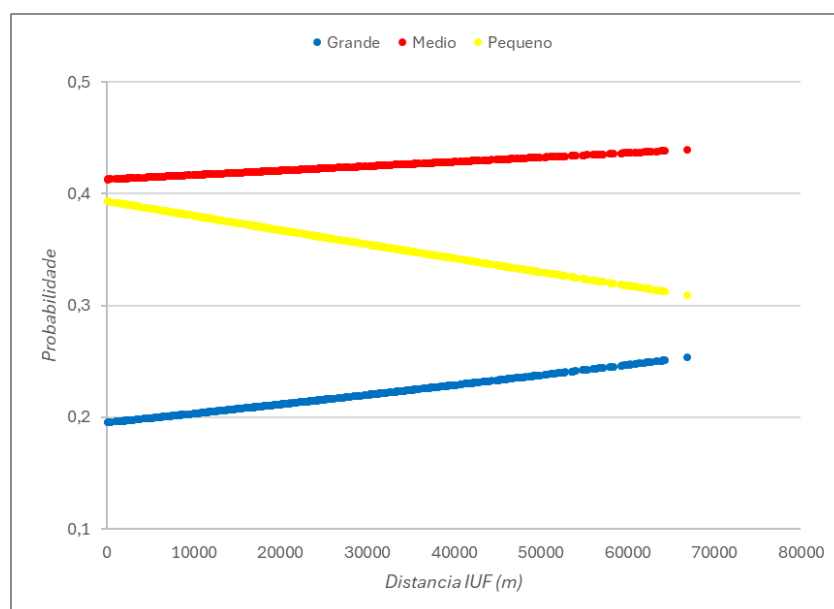


Figura 55 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Arraias

De forma integrada, os resultados sugerem que em Arraias os incêndios pequenos tendem a concentrar-se próximos à IUF, enquanto os médios e grandes tornam-se mais prováveis em áreas mais afastadas. Esse gradiente espacial reforça a necessidade de estratégias diferenciadas de manejo: controle

preventivo e rápido nas proximidades da interface, onde pequenos focos podem se iniciar com maior frequência, e monitoramento intensivo em áreas distantes, onde incêndios médios e grandes podem se expandir com maior intensidade.

6.16. TOCANTÍNIA

Tocantína, situado no Estado do Tocantins, foi fundado em 1860 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1954, tendo como fundador Frei Antônio de Canges. Com uma área territorial de 2.610 km² e inserido no bioma Cerrado, Tocantína apresenta uma densidade demográfica de 2,6 habitantes por km², segundo o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 7.688 habitantes, com uma taxa de urbanização de 43,9%, indicando uma predominância de áreas rurais e um crescimento urbano limitado.

Os indicadores sociais de Tocantína revelam desafios significativos, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,589, classificado como baixo em 2010. Esse índice é composto por subíndices de longevidade (0,782), educação (0,459) e renda (0,570), refletindo carências expressivas, especialmente nas áreas de educação e renda. A situação socioeconômica do município é marcada por elevados índices de pobreza, com 40% das famílias vivendo em pobreza extrema, 64% em pobreza absoluta e 85% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010. Esses números destacam a necessidade urgente de políticas públicas que visem à redução das desigualdades sociais e à promoção da inclusão econômica.

No campo econômico, Tocantína apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 71.895,46 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 9.623,27. A economia do município é sustentada principalmente pelo setor de serviços, que contribuiu com R\$ 57.425 mil ao PIB, seguido pela agropecuária, com R\$ 10.041 mil, e pela indústria, que teve uma participação menor, com R\$ 1.876 mil. Em 2021, Tocantína contava com 246 empresas, sendo que 49% delas atuavam no comércio. Embora o mercado de trabalho formal ainda seja limitado, registrou-se um saldo positivo de 13 empregos em 2021. Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Tocantína refletem tanto avanços quanto desafios. A taxa de alfabetização em 2010 era de 81%, apontando para a necessidade de melhorias no sistema educacional. Na área da saúde, o município registrou 155 nascimentos e 31 óbitos em 2019, dispondo de uma estrutura hospitalar básica. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.16.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE TOCANTÍNIA

A análise dos incêndios no município de Tocantína entre os anos de 2020 e 2023 registra frequência e tamanho variados (Tabela 126). Em 2020, Tocantína registrou 572 incêndios, totalizando uma área queimada de 74.383,90 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 130,04 ha, enquanto a mediana ficou em 5,45 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte. No entanto, houve ocorrências de grande magnitude, como o maior incêndio do ano, que abrangeu 14.487,70 ha. O menor incêndio, por sua vez, foi praticamente insignificante em termos de área, com apenas 0,01 hectare afetado. O intervalo interquartil (IQR) de 19,33 ha sugere uma concentração de incêndios menores, com algumas exceções de grande escala.

Em 2021, o número de incêndios caiu para 120, mas a área total queimada foi de 30.886,10 ha. A média de área por incêndio subiu para 257,38 ha, refletindo a presença de incêndios mais extensos. A mediana aumentou para 19,56 ha, sugerindo uma distribuição mais ampla dos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio do ano cobriu 6.668,72 ha, enquanto o menor afetou 1,15 ha. O IQR de 105,76 ha evidencia

uma variação significativa nas áreas queimadas, com uma distribuição mais dispersa dos tamanhos dos incêndios.

Em 2022, o município registrou 246 incêndios, resultando em uma área total queimada de 51.736,30 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 210,31 ha, e a mediana subiu para 25,71 ha, indicando uma predominância de incêndios de porte médio. O maior incêndio registrado no ano atingiu 10.636,60 ha, enquanto o menor afetou 0,21 ha. O IQR de 76,24 ha sugere uma variação considerável entre os incêndios, com uma distribuição relativamente ampla entre os diferentes tamanhos.

Em 2023, foram registrados 271 incêndios, com uma área total queimada de 37.193,40 ha. A média por incêndio foi de 137,25 ha, enquanto a mediana ficou em 8,69 ha, apontando para uma predominância de incêndios de menor porte, embora alguns eventos tenham sido significativamente grandes. O maior incêndio do ano abrangeu 8.130,07 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,03 ha. O IQR de 54,79 ha reflete uma distribuição concentrada em incêndios de pequeno a médio porte, com algumas ocorrências notáveis de maior extensão.

Ao longo dos quatro anos analisados, Tocantínia apresentou flutuações tanto na quantidade quanto na magnitude dos incêndios, na Figura 56 se observa a distribuição espacial deles. Enquanto 2020 teve uma maior quantidade de incêndios de menor porte, 2021 foi marcado por incêndios menos frequentes, mas de maior extensão. Já 2022 e 2023 apresentaram uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho. Esses dados são essenciais para o planejamento de estratégias de prevenção e combate, levando em consideração as diferentes características dos incêndios em cada período, buscando minimizar os danos causados por esses eventos.

Tabela 126 – Incêndios no município de Tocantínia por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Tocantínia								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	74.383,90	572	130,04	5,45	14487,70	0,01	2,53	21,86	19,33
2021	30.886,10	120	257,38	19,56	6668,72	1,15	9,52	115,28	105,76
2022	51.736,30	246	210,31	25,71	10636,60	0,21	7,07	83,31	76,24
2023	37.193,40	271	137,25	8,69	8130,07	0,03	3,29	58,07	54,79

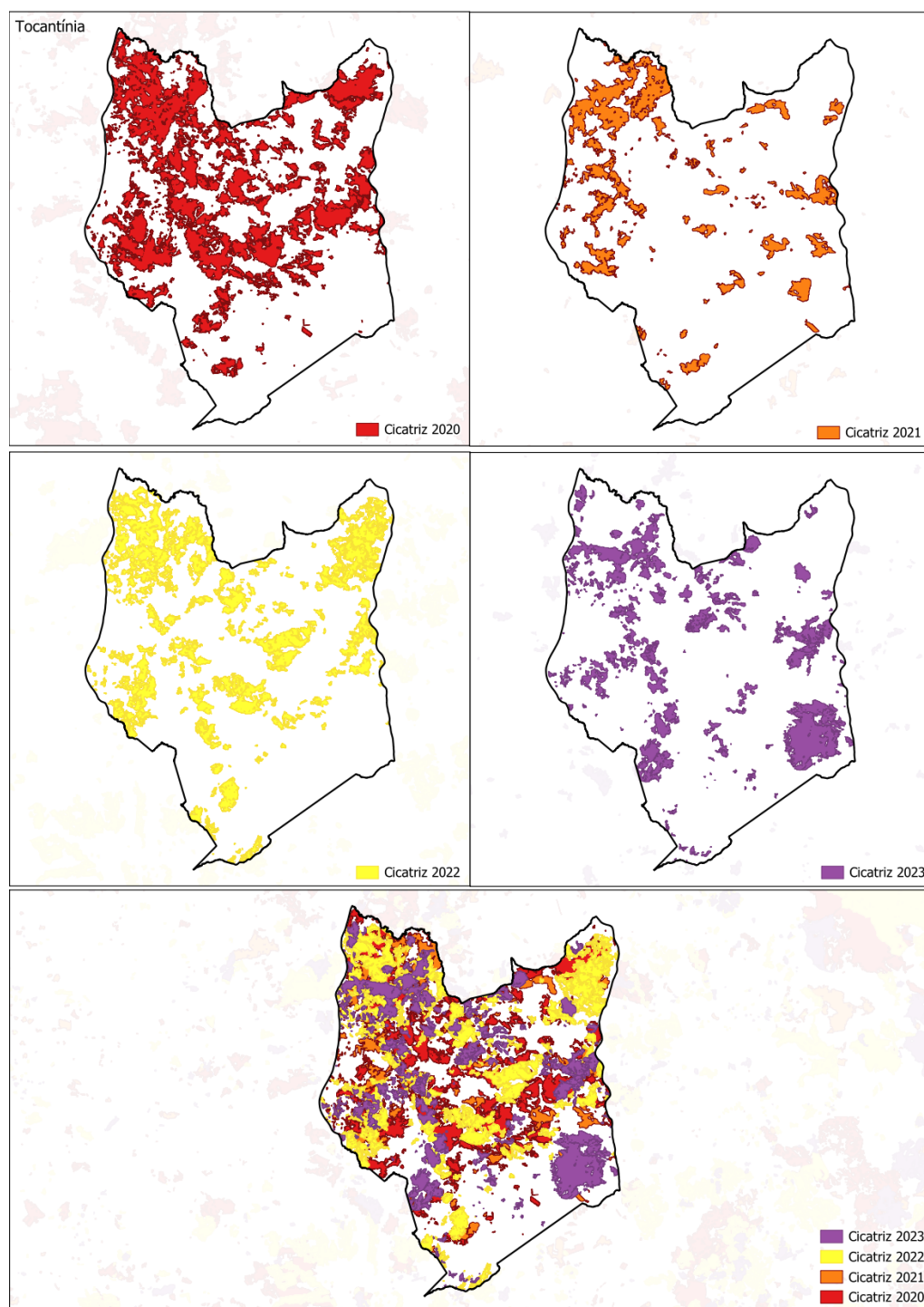


Figura 56 – Cicatrizes de incêndios para o município de Tocantínia por ano no período de 2020 a 2023.

6.16.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - TOCANTÍNIA

A análise dos dados referentes aos incêndios em Tocantínia entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho (Tabela 127), mostra uma clara predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, mesmo que os pequenos e médios incêndios sejam mais frequentes. Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,41% da área total queimada (70.968,70 ha), embora

representassem apenas 18,71% do número total de incêndios, com 107 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,67% da área queimada (2.727,22 ha) e representaram 34,62% das ocorrências, com 198 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 46,68% do total de incêndios com 267 ocorrências, impactaram apenas 0,92% da área queimada (687,96 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar em termos de área queimada, com 97,35% do total (30.066,20 ha), mas representaram 43,33% do número total de incêndios, com 52 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,58% da área queimada (796,87 ha) e 50,00% das ocorrências, com 60 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 6,67% das ocorrências com 8 registros, impactaram apenas 0,07% da área queimada (23,06 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 96,17% da área total queimada (49.752,40 ha) e 39,02% do número de incêndios, com 96 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,56% da área queimada (1.843,83 ha) e 40,65% das ocorrências, com 100 registros. Pequenos incêndios, que representaram 20,33% das ocorrências com 50 registros, impactaram apenas 0,27% da área queimada (140,08 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 95,71% da área total queimada (35.598,90 ha) e 29,52% do número de incêndios, com 80 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,59% da área queimada (1.336,56 ha) e 33,58% das ocorrências, com 91 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 36,90% do total de incêndios com 100 ocorrências, impactaram apenas 0,69% da área queimada (257,95 ha).

Tabela 127 – Descrição Incêndios em Tocantínia por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	687,96	0,92	267	46,68	2727,22	3,67	198	34,62	70.968,70	95,41	107	18,71
2021	23,06	0,07	8	6,67	796,87	2,58	60	50,00	30.066,20	97,35	52	43,33
2022	140,08	0,27	50	20,33	1.843,83	3,56	100	40,65	49.752,40	96,17	96	39,02
2023	257,95	0,69	100	36,90	1.336,56	3,59	91	33,58	35.598,90	95,71	80	29,52

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Tocantínia, com proporções superiores a 95% na maioria dos anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela esmagadora maioria da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados sugerem que o foco principal das estratégias de prevenção e combate deve ser nos grandes incêndios, que causam a maior parte dos danos ambientais em Tocantínia.

6.16.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - TOCANTÍNIA

A Tabela 128 descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Tocantínia oferece uma visão detalhada das zonas de risco para incêndios, destacando a interação entre as áreas urbanas e as extensas áreas de vegetação suscetíveis a queimadas. A área artificial abrange 422,43 ha e a área combustível é

substancialmente maior, totalizando 265.224,12 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF cobre 419,17 ha.

Tabela 128 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Tocantínia

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	422,43	265.224,12	419,17

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Tocantínia entre os anos de 2020 e 2023 revela uma variação tanto na frequência quanto na extensão dos incêndios, refletindo diferentes padrões de atividade ao longo dos anos (Tabela 129).

Em 2020, foram registrados 3 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 10,42 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 3,47 ha, e a mediana ficou em 2,78 ha, indicando uma variação moderada nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio registrado cobriu 6,18 ha, enquanto o menor afetou 1,46 hectare. O intervalo interquartil (IQR) de 2,36 ha sugere uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios.

No ano de 2021, houve 2 incêndios registrados na IUF, totalizando 4,00 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 2,00 ha, com a mediana também em 2,00 ha, refletindo uma consistência nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio abrangeu 3,65 ha, enquanto o menor foi de 0,35 ha. O IQR de 3,30 ha mostra uma variação significativa entre os dois eventos.

Em 2022, a área queimada na IUF foi de 7,05 ha, distribuída em 5 incêndios. A média de área por incêndio foi de 1,41 ha, e a mediana ficou em 1,23 ha, sugerindo que os incêndios foram menores e relativamente uniformes em tamanho. O maior incêndio registrado cobriu 3,43 ha, enquanto o menor afetou 0,10 ha. O IQR de 0,75 ha indica uma variação menor nos tamanhos dos incêndios.

Em 2023, foi registrado apenas um incêndio na IUF, totalizando 4,31 ha queimados. Como houve apenas um evento, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 4,31 ha, com um IQR de 0,00 ha, refletindo a ausência de variação nesse ano.

Tabela 129 – Incêndios em Tocantínia dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Tocantínia								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	10,42	3	3,47	2,78	6,18	1,46	2,12	4,48	2,36
2021	4,00	2	2,00	2,00	3,65	0,35	0,35	3,65	3,30
2022	7,05	5	1,41	1,23	3,43	0,10	0,77	1,52	0,75
2023	4,31	1	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	0,00

A análise dos incêndios no município de Tocantínia e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 (Tabela 130) revela uma variação significativa na proporção de áreas queimadas, tanto no município quanto na IUF, evidenciando impactos distintos ao longo do período.

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 10,42 ha, representando 2,48% da área da própria IUF. No município como um todo, a área queimada foi de 74.383,90 ha, o que correspondeu a 28,50% de sua extensão total. Esses resultados evidenciam que, embora a IUF tenha sido impactada, o maior peso dos incêndios concentrou-se fora da interface.

No ano de 2021, a área queimada na IUF reduziu-se para 4,00 ha, equivalendo a 0,95% da área da IUF. O município registrou 30.886,10 ha queimados, correspondendo a 11,83% de sua área total. Essa redução sugere um ano de menor intensidade de incêndios, tanto na IUF quanto no município.

Em 2022, a IUF foi mais impactada, com 7,05 ha queimados, o que correspondeu a 1,68% de sua área. No município, foram 51.736,30 ha atingidos, representando 19,82% da área total. Esse comportamento indica uma retomada da pressão do fogo na IUF e no município, após a queda registrada em 2021.

Em 2023, a IUF registrou 4,31 ha queimados (1,03% da sua área), enquanto o município contabilizou 37.193,40 ha queimados (14,25% da área municipal). Apesar da redução em relação a 2022, o fogo manteve-se como elemento de pressão constante na região.

No total do período (2020 a 2023), a área queimada dentro da IUF somou 25,78 ha, enquanto no município o acumulado chegou a 194.199,70 ha. Esses números revelam que a IUF, embora menos afetada em termos absolutos, manteve uma participação recorrente na dinâmica dos incêndios de Tocantínia.

Tabela 130 – Incêndios no município de Tocantínia e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Tocantínia	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	10,42	2,48	74.383,90	28,50
2021	4,00	0,95	30.886,10	11,83
2022	7,05	1,68	51.736,30	19,82
2023	4,31	1,03	37.193,40	14,25
2020 á 2023	25,78 ha		194.199,70 ha	

A relação entre os incêndios na IUF e no município mostra que, no acumulado do período, os incêndios ocorridos na IUF representaram apenas 0,01% do total registrado no município, enquanto a área da IUF corresponde a 0,16% da extensão territorial de Tocantínia. Esse descompasso evidencia que, proporcionalmente, a IUF foi menos afetada pelos incêndios do que o restante do município. Contudo, por se tratar de uma zona estratégica de transição entre áreas naturais e urbanas, mesmo valores reduzidos podem assumir relevância, sobretudo pelo potencial de ameaça direta a pessoas, bens e infraestrutura localizados na interface (Tabela 131).

Tabela 131 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Tocantínia

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
0,01	0,16

A análise do uso do solo nas áreas queimadas da IUF de Tocantínia mostra que a maior parte dos incêndios ocorreu em áreas de pastagem (12,05 ha) e em formações savânicas (8,87 ha), somando juntas mais de 80% da área queimada. Também foram afetadas áreas de formação florestal (0,20 ha) e campo alagado e área pantanosa (0,19 ha), ainda que em menor proporção. Entre as áreas não vegetadas, destacam-se a urbanizada (3,89 ha) e o mosaico de usos (0,58 ha).

Esse padrão indica que a pressão do fogo na IUF de Tocantínia está fortemente vinculada ao uso agropecuário, especialmente em áreas de pastagem, e à vegetação savânica, que apresenta elevada inflamabilidade. O registro de área queimada em zona urbanizada reforça a relevância de medidas preventivas específicas para a proteção da interface urbano-florestal, onde os riscos sociais e materiais se intensificam (Tabela 132).

Tabela 132 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo –Tocantínia

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,20
	Formação Savânica	8,87
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,19
	Formação Campestre	0,00
Agropecuária	Pastagem	12,05
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,58
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	3,89
	Outras Áreas não Vegetadas	0,00
	Mineração	0,00

6.16.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-TOCANTÍNIA

A análise dos dados de regressão logística para a IUF de Tocantínia (Tabela 133) mostra que incêndios pequenos têm a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,51 e uma probabilidade de 50,48%. Esses valores indicam que esse tipo de evento é bastante comum na região e, ainda que o modelo preditivo seja apenas moderadamente confiável, aponta para uma tendência consistente de ocorrência de incêndios de menor porte, possivelmente devido à fácil ignição em áreas com acúmulo de material combustível e influência de atividades humanas.

Incêndios médios apresentam um ROC de 0,53 e uma probabilidade de 40,51%, configurando-se como eventos também relevantes, embora menos frequentes que os pequenos. Já os incêndios grandes, com um ROC de 0,58 e uma probabilidade de 9,94%, são os menos comuns, mas o modelo demonstra maior precisão em sua identificação, sugerindo que, embora raros, esses eventos apresentam padrões de ocorrência mais bem definidos. Esses resultados reforçam a importância de direcionar as estratégias de prevenção e controle principalmente para incêndios pequenos e médios, sem negligenciar a necessidade de preparo para grandes incêndios, ainda que menos prováveis.

Tabela 133 – Dados da Regressão Logística para IUF Tocantínia por tamanho

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,58	9,94
Médio	0,53	40,51
Pequeno	0,51	50,48

A análise do gráfico (Figura 55) evidencia padrões distintos de probabilidade conforme a distância da IUF. A linha amarela, que representa os incêndios pequenos, apresenta uma leve tendência decrescente, sugerindo que esses eventos são mais frequentes em áreas próximas à interface, possivelmente associados à ação humana, mas mantêm uma distribuição relativamente constante ao longo das distâncias.

Os incêndios médios, representados pela linha vermelha, também mostram uma tendência de queda com o afastamento da IUF. Isso indica maior prevalência em áreas próximas à interface, onde a presença

humana favorece a ignição e propagação de incêndios de porte intermediário, reduzindo-se progressivamente em regiões mais distantes.

Por outro lado, a linha azul, que reflete os incêndios grandes, apresenta uma tendência ascendente à medida que a distância da IUF aumenta. Esse comportamento pode sugerir que, em áreas mais remotas, a vegetação menos manejada e condições ambientais específicas podem favorecer a propagação de incêndios de grande escala, em contextos onde o controle humano é menos presente.

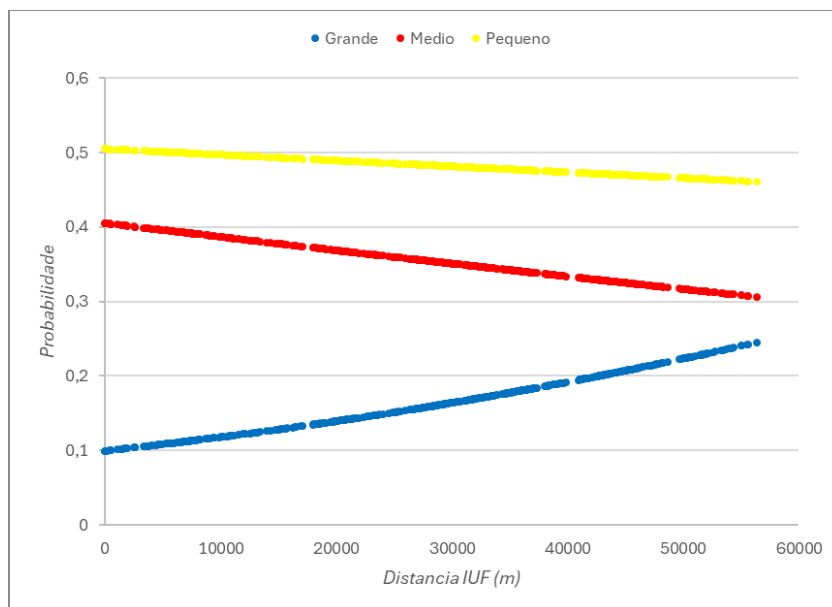


Figura 57 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Tocantínia

Esses padrões indicam que, em Tocantínia, as estratégias de prevenção e combate devem ser espacialmente diferenciadas: nas áreas próximas à IUF, a prioridade deve estar no controle de incêndios pequenos e médios, que apresentam maior probabilidade e afetam diretamente a interface urbano-florestal; enquanto em áreas mais afastadas, torna-se essencial o monitoramento contínuo e planos específicos de resposta a incêndios de grande porte, que, embora menos frequentes, podem ter efeitos de maior severidade.

6.17. PONTE ALTA DO TOCANTINS

Ponte Alta do Tocantins, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 1824 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1954, tendo como figura histórica José Benedito da Silva. Com uma área territorial de 6.543 km², o município está inserido no bioma Cerrado e apresenta uma densidade demográfica baixa, com apenas 0,7 habitantes por km², conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 3.727 habitantes, dos quais 69,3% vivem em áreas urbanas, destacando o predomínio das áreas rurais na composição populacional.

Os indicadores sociais de Ponte Alta do Tocantins revelam um desenvolvimento humano classificado como médio, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,607 em 2010. Este índice é composto por subíndices de longevidade (0,823), educação (0,463) e renda (0,586), apontando para desafios substanciais, especialmente na educação e na renda. A pobreza é uma questão significativa no município, com 30% das famílias vivendo em situação de pobreza extrema, 57% em pobreza absoluta e 83% com rendimentos de até um salário-mínimo, conforme os dados de 2010. Esses números destacam a necessidade de políticas públicas que promovam a inclusão social e a melhoria das condições de vida.

No âmbito econômico, Ponte Alta do Tocantins apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 135.482,42 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 51.358,01. A economia do município é fortemente dependente da agropecuária, que contribuiu com R\$ 92.993 mil para o PIB, seguida pelo setor de serviços, que adicionou R\$ 35.502 mil, e pela indústria, com R\$ 4.164 mil. Em 2021, o município contava com 232 empresas, sendo 58% delas atuantes no setor de serviços. Apesar de um cenário econômico desafiador, o mercado de trabalho formal registrou um saldo positivo de 5 empregos.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Ponte Alta do Tocantins refletem tanto avanços quanto desafios. A taxa de alfabetização em 2010 era de 75,5%, indicando a necessidade de maiores investimentos no setor educacional. Na área da saúde, o município registrou 44 nascimentos e 10 óbitos em 2019, com uma estrutura hospitalar básica para atender a população local. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios sendo atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.17.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE PONTE ALTA DO TOCANTINS

A análise dos incêndios no município de Ponte Alta do Tocantins entre os anos de 2020 e 2023 revela variações consideráveis, tanto na frequência, quanto na extensão dos eventos (Tabela 134). Em 2020, foram registrados 413 incêndios, resultando em uma área total queimada de 44.168,90 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 106,95 ha, enquanto a mediana ficou em 4,49 ha, sugerindo que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte. O maior incêndio registrado no ano atingiu 9.998,22 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,02 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 11,21 ha indica uma concentração de incêndios menores, com poucas exceções de grande magnitude.

No ano de 2021, o número de incêndios diminuiu para 124, mas a área total queimada foi de 42.197,80 ha. A média de área queimada por incêndio aumentou para 340,31 ha, refletindo a presença de incêndios mais extensos em relação ao ano anterior. A mediana subiu para 25,16 ha, sugerindo uma distribuição mais ampla dos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio do ano cobriu 5.639,15 ha, enquanto o menor afetou 1,14 ha. O IQR de 150,84 ha evidencia uma variação significativa nas áreas queimadas, com uma distribuição consideravelmente dispersa dos tamanhos dos incêndios.

Em 2022, o município registrou 297 incêndios, totalizando uma área queimada de 66.574,50 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 224,16 ha, e a mediana ficou em 25,06 ha, sugerindo uma predominância de incêndios de porte médio. O maior incêndio registrado no ano atingiu 12.445,30 ha, enquanto o menor afetou 0,17 ha. O IQR de 65,80 ha indica uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios, com uma distribuição relativamente ampla.

Em 2023, foram registrados 227 incêndios, com uma área total queimada de 38.938,40 ha. A média de área por incêndio foi de 171,54 ha, enquanto a mediana ficou em 13,30 ha, apontando para uma predominância de incêndios de menor porte, embora alguns eventos tenham sido significativamente grandes. O maior incêndio do ano abrangeu 4.950,88 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,23 ha. O IQR de 65,04 ha reflete uma distribuição concentrada em incêndios de pequeno a médio porte, com algumas ocorrências notáveis de maior extensão.

Ao longo dos quatro anos analisados, Ponte Alta do Tocantins apresentou flutuações tanto na quantidade quanto na magnitude dos incêndios. O ano de 2020 teve uma maior quantidade de incêndios menores, enquanto 2021 foi marcado por incêndios menos frequentes, mas de maior extensão. Já 2022 e 2023 apresentaram uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho (Figura 58).

Tabela 134 – Incêndios no município de Ponte Alta do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Ponte Alta do Tocantins								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	44.168,90	413	106,95	4,49	9998,22	0,02	2,30	13,52	11,21
2021	42.197,80	124	340,31	25,16	5639,15	1,14	12,42	163,26	150,84
2022	66.574,50	297	224,16	25,06	12445,30	0,17	10,15	75,95	65,80
2023	38.938,40	227	171,54	13,30	4950,88	0,23	4,00	69,04	65,04

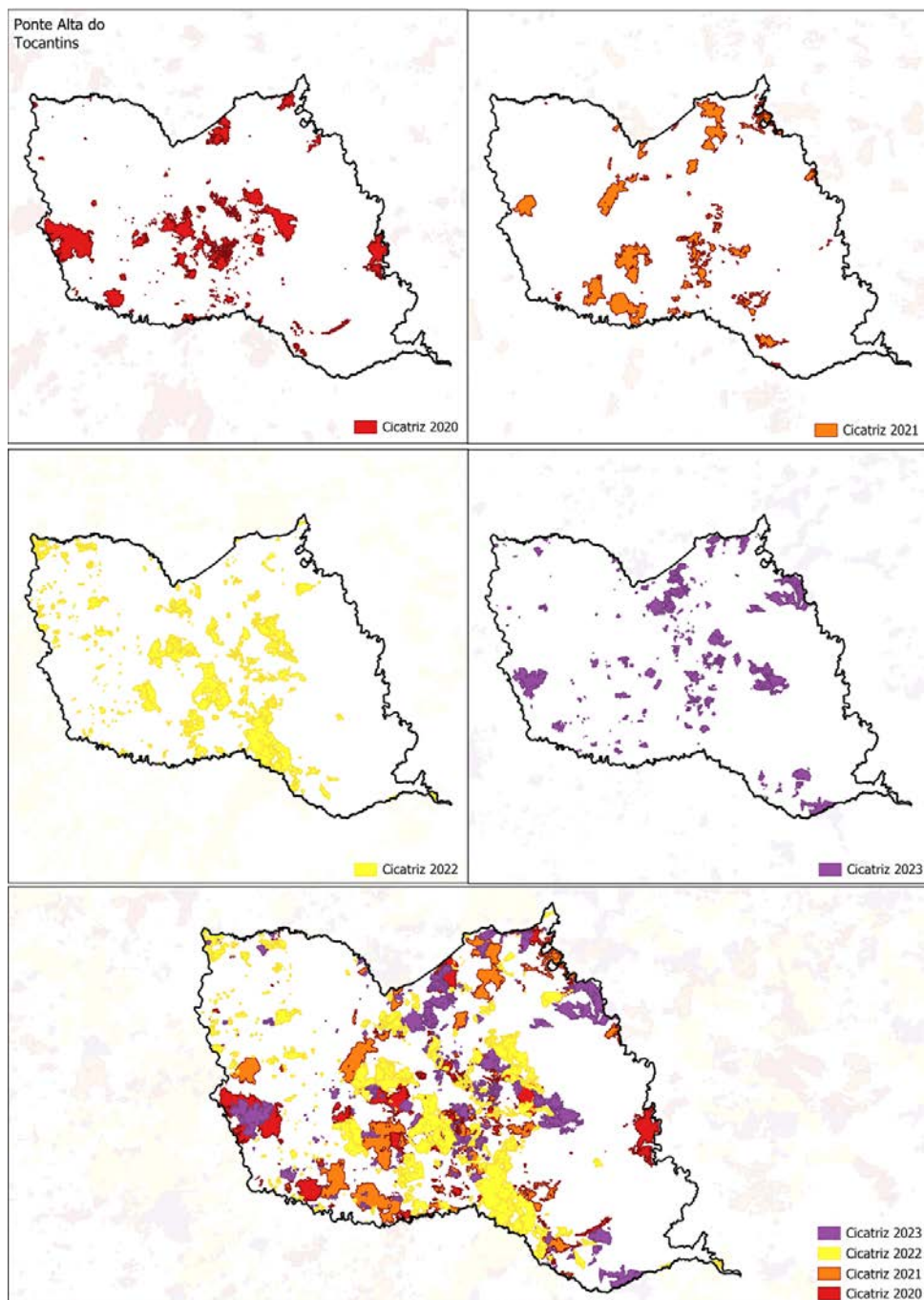


Figura 58 – Cicatrizes de incêndios para o município de Ponte Alta do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.

6.17.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - PONTE ALTA DO TOCANTINS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Ponte Alta do Tocantins entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho como observado nos dados da Tabela 135, destaca a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, ainda que os pequenos e médios incêndios sejam mais frequentes. Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 94,65% da área total queimada (41.804,40 ha), embora representassem apenas 13,56% do número total de incêndios, com 56 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,09% da área queimada (1.807,93 ha) e representaram 32,45% das ocorrências, com 134 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 54,00% do total de incêndios com 223 ocorrências, impactaram apenas 1,26% da área queimada (556,60 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar em termos de área queimada, com 97,67% do total (41.215,70 ha), mas representaram 44,35% do número total de incêndios, com 55 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,29% da área queimada (964,77 ha) e 50,00% das ocorrências, com 62 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 5,65% das ocorrências com 7 registros, impactaram apenas 0,04% da área queimada (17,33 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,45% da área total queimada (63.547,40 ha) e 35,35% do número de incêndios, com 105 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,39% da área queimada (2.921,03 ha) e 52,19% das ocorrências, com 155 registros. Pequenos incêndios, que representaram 12,46% das ocorrências com 37 registros, impactaram apenas 0,16% da área queimada (106,05 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 96,32% da área total queimada (37.506,10 ha) e 32,16% do número de incêndios, com 73 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,23% da área queimada (1.259,22 ha) e 37,44% das ocorrências, com 85 registros. Pequenos incêndios, que foram responsáveis por 30,40% do total de incêndios com 69 ocorrências, impactaram apenas 0,44% da área queimada (173,06 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Ponte Alta do Tocantins, com proporções superiores a 94% na maioria dos anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes, em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela maior parte da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados sugerem que o foco principal das estratégias de prevenção e combate deve ser nos grandes incêndios, que causam a maior parte dos danos ambientais em Ponte Alta do Tocantins.

Tabela 135 – Descrição Incêndios em Ponte Alta do Tocantins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	556,60	1,26	223	54,00	1807,93	4,09	134	32,45	41.804,40	94,65	56	13,56
2021	17,33	0,04	7	5,65	964,77	2,29	62	50,00	41.215,70	97,67	55	44,35
2022	106,05	0,16	37	12,46	2.921,03	4,39	155	52,19	63.547,40	95,45	105	35,35
2023	173,06	0,44	69	30,40	1.259,22	3,23	85	37,44	37.506,10	96,32	73	32,16

6.17.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - PONTE ALTA DO TOCANTINS

Na Tabela 136 onde consta os dados que descrevem a área artificial abrangendo 487,56 ha. Em contraste, a área combustível, que representa as zonas de vegetação, é substancialmente maior, totalizando 666.819,17 ha. Dentro desse contexto, a área da IUF, que é a zona de transição crítica entre áreas urbanas e vegetais, cobre 455,33 ha.

Tabela 136 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Ponte Alta do Tocantins

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	487,56	666.819,17	455,33

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Ponte Alta do Tocantins entre os anos de 2020 e 2023 revela uma variação significativa na atividade de incêndios, com anos de ausência completa e anos com registros limitados, os dados estão na Tabela 137.

Em 2020, foi registrado um único incêndio dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 4,58 ha. Como houve apenas um evento, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 4,58 ha, com um intervalo interquartil (IQR) de 0,00 ha, refletindo a ausência de variação nesse ano.

Nos anos de 2021 e 2022, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha em ambos os anos.

Em 2023, a atividade de incêndios voltou a ser registrada na IUF, com 3 incêndios que totalizaram 6,22 ha queimados. A média de área afetada por incêndio foi de 2,07 ha, e a mediana ficou em 1,27 hectare, indicando uma variação moderada nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio registrado cobriu 4,02 ha, enquanto o menor afetou 0,93 ha. O IQR de 1,55 hectare reflete essa variabilidade nos tamanhos dos incêndios.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Ponte Alta do Tocantins experimentou uma atividade de incêndios limitada, com a maioria dos anos sem qualquer incidente registrado e uma leve retomada da atividade em 2023. A ausência de incêndios em 2021 e 2022 reflete uma proteção eficaz da área, mas a presença de incêndios em 2023 sugere a necessidade contínua de estratégias de prevenção para garantir a proteção da IUF e minimizar os impactos potenciais dos incêndios na região.

Tabela 137 – Incêndios em Ponte Alta do Tocantins dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Ponte Alta do Tocantins								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	4,58	1	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	0,00
2021	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	6,22	3	2,07	1,27	4,02	0,93	1,10	2,65	1,55

A análise dos incêndios no município de Ponte Alta do Tocantins e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 (Tabela 138) revela uma contribuição relativamente reduzida da IUF para o total de áreas queimadas no município, ainda que com variações anuais relevantes.

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 4,58 ha, o que correspondeu a 1,01% da área total da IUF. No mesmo ano, o município registrou 44.168,90 ha queimados, representando 6,75% de sua área

total. Esses valores indicam que, embora a IUF tenha sido afetada, a maior parte dos incêndios ocorreu em outras áreas do município.

Nos anos de 2021 e 2022, a IUF não apresentou registros de incêndios, mantendo-se com área queimada nula (0,00 ha), ainda que o município tenha acumulado 42.197,80 ha queimados em 2021 (6,45% de sua área) e 66.574,50 ha em 2022 (10,18%). Esses resultados reforçam que a IUF permaneceu relativamente protegida durante esse período, em contraste com o avanço dos incêndios no território municipal.

Em 2023, a IUF voltou a registrar incêndios, com 6,22 ha queimados, correspondendo a 1,37% de sua área. Já o município apresentou 38.938,40 ha queimados, equivalentes a 5,95% de sua área total. Embora a participação da IUF no total queimado municipal tenha sido pequena, esse resultado mostra que a zona de interface não esteve imune às pressões do fogo.

No período acumulado de 2020 a 2023, a IUF registrou 10,80 ha queimados, enquanto o município totalizou 191.879,60 ha. Apesar da baixa representatividade em termos absolutos, os dados evidenciam que a IUF esteve sujeita a eventos pontuais de incêndio, reforçando sua vulnerabilidade como zona crítica de interação entre ambientes naturais e ocupações humanas.

Tabela 138 – Incêndios no município de Ponte Alta e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Ponte Alta do Tocantins	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	4,58	1,01	44.168,90	6,75
2021	0,00	0,00	42.197,80	6,45
2022	0,00	0,00	66.574,50	10,18
2023	6,22	1,37	38.938,40	5,95
2020 á 2023	10,80 ha		191.879,60 ha	

Tabela 139 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Ponte Alta do Tocantins

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,01	0,07

A relação apresentada na Tabela 138 mostra que, no acumulado, os incêndios ocorridos na IUF corresponderam a apenas 0,01% do total registrado no município. Em termos territoriais, a área da IUF representa 0,07% da área municipal. Esse descompasso revela que a baixa contribuição da IUF para o total de áreas queimadas pode estar diretamente relacionada à sua pequena representatividade espacial, o que reforça a necessidade de atenção proporcional ao risco que ela concentra, especialmente em anos de maior pressão antrópica.

Quanto à distribuição por tipologia de uso do solo (Tabela 139), observa-se que a maior parte da área queimada na IUF concentrou-se em formação savânica (5,82 ha) e formação florestal (1,13 ha). Áreas de pastagem também foram impactadas (2,03 ha), reforçando o peso do uso agropecuário na dinâmica dos incêndios. Em menor escala, ocorreram queimadas em formação campestre (0,91 ha), área urbanizada (0,25 ha) e outras áreas não vegetadas (0,65 ha). Esses resultados indicam que os incêndios na IUF de Ponte Alta atingem tanto ambientes naturais quanto espaços antrópicos, revelando a natureza multifacetada da pressão do fogo nesse território.

Tabela 140 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Ponte Alta do Tocantins

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	1,13
	Formação Savânica	5,82
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,01
	Formação Campestre	0,91
Agropecuária	Pastagem	2,03
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,00
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	0,25
	Outras Áreas não Vegetadas	0,65
	Mineração	0,00

6.17.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF- PONTE ALTA DO TOCANTINS

Os resultados da regressão logística para a IUF de Ponte Alta do Tocantins (Tabela 141) indicam que incêndios de médio porte apresentam a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,55 e uma probabilidade de 52,15%. Esses valores sugerem que esse tipo de incêndio é o mais frequente na região, e que o modelo preditivo, embora apenas moderadamente confiável, fornece subsídios relevantes para a compreensão da dinâmica do fogo. A elevada probabilidade pode estar associada à interação entre vegetação contínua e atividades humanas próximas à interface, que aumentam as chances de ignição e propagação.

Incêndios pequenos, com um ROC de 0,52 e probabilidade de 31,31%, também apresentam relevância, embora em menor proporção em relação aos médios. Já os incêndios grandes, com ROC de 0,54 e probabilidade de 17,57%, são menos comuns, mas mantêm importância estratégica para a gestão do fogo na região. Esses resultados sugerem que as estratégias de gestão de incêndios na IUF de Ponte Alta do Tocantins devem priorizar medidas de prevenção voltadas para incêndios médios, sem negligenciar o monitoramento de pequenos e grandes eventos.

Tabela 141 – Dados da Regressão Logística para IUF Ponte Alta do Tocantins por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,54	17,57
Médio	0,55	52,15
Pequeno	0,52	31,31

Na análise do gráfico (Figura 59), observa-se que a linha amarela, que representa os incêndios pequenos, apresenta tendência crescente com o aumento da distância da IUF. Esse comportamento indica que incêndios menores se tornam mais prováveis em áreas afastadas da interface, que podem estar relacionados à práticas agropecuárias ou à menor fiscalização em zonas mais remotas.

A linha vermelha, representando os incêndios médios, mostra queda progressiva à medida que a distância aumenta. A alta probabilidade inicial, próxima à IUF, pode estar associada à maior

concentração de atividades humanas. A diminuição ao longo da distância pode sugerir que a influência antrópica se reduz em áreas mais isoladas, resultando em menor ocorrência desses incêndios.

Por fim, a linha azul, que representa os incêndios grandes, indica tendência ascendente, ainda que menos acentuada, em áreas distantes da IUF. Esse padrão sugere que, em regiões mais remotas e menos manejadas, a maior disponibilidade de biomassa e condições naturais, como vento e seca, favorecem a propagação de incêndios de maior escala.

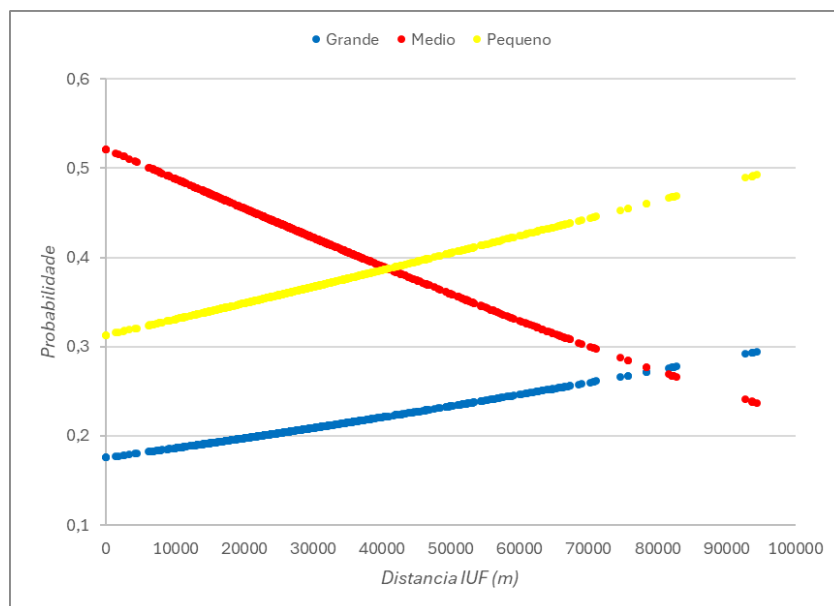


Figura 59 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Ponte Alta do Tocantins

Esses padrões demonstram a necessidade de um planejamento diferenciado de manejo do fogo em Ponte Alta do Tocantins. Nas áreas próximas à IUF, o foco deve estar na prevenção de incêndios de porte médio, enquanto em zonas mais afastadas a ênfase deve ser colocada na vigilância de incêndios pequenos e grandes. Essa abordagem garante o uso mais eficiente dos recursos e a mitigação dos riscos de incêndio em diferentes contextos espaciais do município.

6.18. ALMAS

Almas, foi fundado em 14 de novembro de 1958 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1959, tendo Manoel Rodrigues de Araújo como seu fundador. Com uma área territorial de 4.007 km², o município está inserido no bioma Cerrado e apresenta uma densidade demográfica de 1,9 habitantes por km², conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 6.905 habitantes, com uma taxa de urbanização de 79,2%, refletindo uma predominância da população vivendo em áreas urbanas.

Os indicadores sociais de Almas mostram um desenvolvimento humano médio, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,636 registrado em 2010. Este índice é composto por subíndices de longevidade (0,796), educação (0,524) e renda (0,616), indicando a necessidade de melhorias, especialmente na educação e na renda. A pobreza é um desafio significativo no município, com 30% das famílias vivendo em situação de pobreza extrema, 57% em pobreza absoluta e 85% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010. Esses números evidenciam a

importância de políticas públicas voltadas para a redução das desigualdades sociais e a promoção da inclusão econômica.

Em termos econômicos, Almas apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 151.995,04 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 21.314,69. A economia do município é diversificada, com a agropecuária representando o setor mais forte, contribuindo com R\$ 79.923 mil ao PIB, seguida pelo setor de serviços com R\$ 62.800 mil, e pela indústria, que adicionou R\$ 4.165 mil. Em 2021, o município contava com 351 empresas, das quais 50% atuavam no comércio. Apesar das dificuldades econômicas, o mercado de trabalho formal registrou um saldo positivo de 28 empregos.

Os serviços públicos e a infraestrutura urbana de Almas também apresentam desafios e avanços. A taxa de alfabetização era de 80,9% em 2010, indicando a necessidade de melhorias no setor educacional. Na área da saúde, o município registrou 97 nascimentos e 50 óbitos em 2019, com uma estrutura hospitalar que atende à população local. O saneamento básico é majoritariamente adequado, com a maioria dos domicílios sendo atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.18.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE ALMAS

A análise dos incêndios no município de Almas entre os anos de 2020 e 2023 segue os dados da Tabela 142. Em 2020, Almas registrou 326 incêndios, resultando em uma área total queimada de 41.746,40 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 128,06 ha, enquanto a mediana ficou em 3,87 ha, indicando que a maioria dos incêndios envolveu áreas relativamente pequenas. O maior incêndio registrado nesse ano cobriu 13.336,10 ha, enquanto o menor afetou 0,27 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 10,45 ha sugere uma concentração de incêndios menores, com algumas exceções de maior porte.

Em 2021, o número de incêndios caiu para 136, mas a área total queimada foi de 29.564,00 ha. A média de área queimada por incêndio aumentou para 209,68 ha, refletindo a ocorrência de incêndios mais extensos. A mediana subiu para 11,58 ha, sugerindo uma maior diversidade nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio do ano atingiu 4.229,11 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,13 ha. O IQR de 34,59 ha evidencia uma variação significativa nos tamanhos dos incêndios, com uma distribuição mais ampla dos eventos.

Em 2022, o município registrou 218 incêndios, totalizando uma área queimada de 70.525,90 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 323,51 ha, e a mediana ficou em 18,76 ha, sugerindo que, embora ainda houvesse incêndios menores, houve uma maior incidência de eventos de grande porte. O maior incêndio registrado no ano cobriu 24.377,10 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,06 ha. O IQR de 62,86 ha indica uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios, com uma distribuição relativamente ampla entre os diferentes eventos.

Em 2023, foram registrados 150 incêndios, com uma área total queimada de 17.601,40 ha. A média de área por incêndio foi de 117,34 ha, enquanto a mediana ficou em 4,42 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores, embora alguns tenham sido significativamente grandes. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 3.471,07 ha, enquanto o menor afetou 0,18 ha. O IQR de 20,35 ha reflete uma distribuição concentrada em incêndios de pequeno a médio porte, com algumas ocorrências notáveis de maior extensão.

Ao longo dos quatro anos analisados, Almas apresentou flutuações tanto na quantidade quanto na magnitude dos incêndios, como observado na Figura 60. O ano de 2020 foi marcado por uma maior quantidade de incêndios menores, enquanto 2022 se destacou pela ocorrência de grandes incêndios. Já 2021 e 2023 apresentaram uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho.

Tabela 142 – Incêndios no município de Almas por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Almas								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	41.746,40	326	128,06	3,87	13336,10	0,27	2,22	12,67	10,45
2021	29.564,00	136	209,68	11,58	4229,11	0,13	7,22	41,81	34,59
2022	70.525,90	218	323,51	18,76	24377,10	0,06	6,15	69,01	62,86
2023	17.601,40	150	117,34	4,42	3471,07	0,18	1,75	22,10	20,35

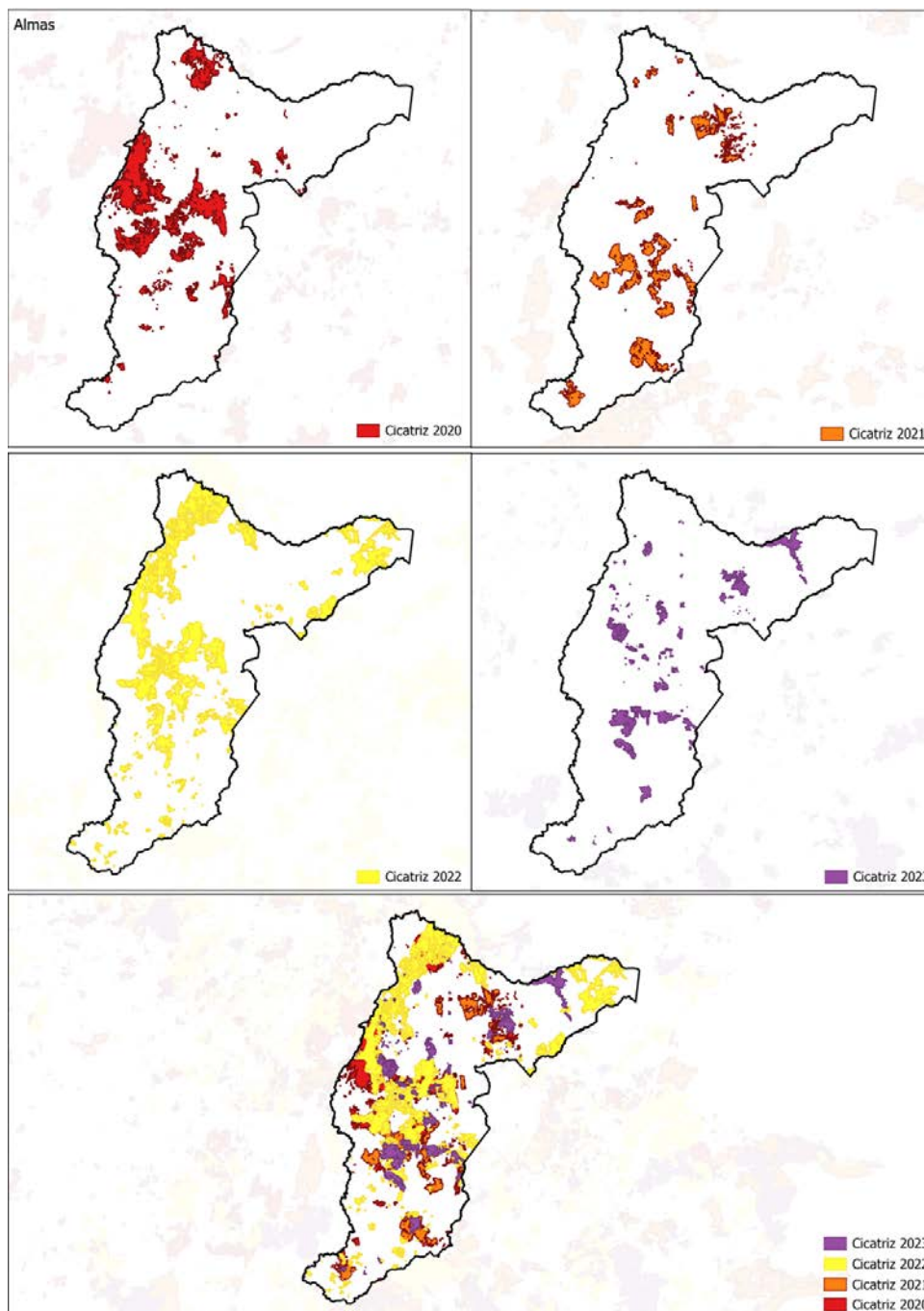


Figura 60 – Cicatrizes de incêndios para o município de Almas por ano no período de 2020 a 2023.

6.18.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - ALMAS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Almas entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho (Tabela 143), revela uma predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, embora os pequenos e médios incêndios sejam mais frequentes. Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,53% da área total queimada (39.879,30 ha), embora representassem apenas 11,35% do número total de incêndios, com 37 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,29% da área queimada (1.375,40 ha) e representaram 29,14% das ocorrências, com 95 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 59,51% do total de incêndios com 194 ocorrências, impactaram apenas 1,18% da área queimada (491,71 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar em termos de área queimada, com 96,09% do total (28.408,10 ha), mas representaram 27,21% do número total de incêndios, com 37 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,83% da área queimada (1.132,61 ha) e 64,71% das ocorrências, com 88 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 8,09% das ocorrências com 11 registros, impactaram apenas 0,08% da área queimada (23,41 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 97,44% da área total queimada (68.717,30 ha) e 33,49% do número de incêndios, com 73 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,40% da área queimada (1.689,80 ha) e 44,95% das ocorrências, com 98 registros. Pequenos incêndios, que representaram 21,56% das ocorrências com 47 registros, impactaram apenas 0,17% da área queimada (118,79 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 95,07% da área total queimada (16.733,90 ha) e 19,33% do número de incêndios, com 29 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,07% da área queimada (717,19 ha) e 28,67% das ocorrências, com 43 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 52,00% do total de incêndios com 78 ocorrências, impactaram apenas 0,85% da área queimada (150,24 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Almas, com proporções superiores a 95% na maioria dos anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela maior parte da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados sugerem que o foco principal das estratégias de prevenção e combate deve ser nos grandes incêndios, que causam a maior parte dos danos ambientais em Almas.

Tabela 143 – Descrição Incêndios em Almas por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	491,71	1,18	194	59,51	1.375,40	3,29	95	29,14	39.879,30	95,53	37	11,35
2021	23,41	0,08	11	8,09	1.132,61	3,83	88	64,71	28.408,10	96,09	37	27,21
2022	118,79	0,17	47	21,56	1.689,80	2,40	98	44,95	68.717,30	97,44	73	33,49
2023	150,24	0,85	78	52,00	717,19	4,07	43	28,67	16.733,90	95,07	29	19,33

6.18.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - ALMAS

A área artificial conta com 819,00 ha, a área combustível 410.321,72 ha e a IUF cobre 744,87 ha nesse município (Tabela 144).

Tabela 144 – Informações das áreas do Buffer e IUF - Almas

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	819,00	410.321,72	744,87

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Almas, entre os anos de 2020 e 2023 (Tabela 145), revela uma variação na frequência e na extensão dos incêndios, com alguns anos apresentando maior atividade e outros com incidências limitadas.

Em 2020, foram registrados 3 incêndios dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 21,03 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 7,01 ha, e a mediana ficou em 8,21 ha, indicando que os incêndios foram relativamente significativos em tamanho. O maior incêndio registrado cobriu 12,82 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,01 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 6,41 ha sugere uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios.

No ano de 2021, a atividade de incêndios na IUF aumentou, com 6 incêndios registrados, totalizando 24,80 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 4,13 ha, com a mediana em 2,97 ha, refletindo uma maior variabilidade nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio atingiu 11,41 ha, enquanto o menor foi de 0,06 ha. O IQR de 6,96 ha indica uma variação significativa nos tamanhos dos incêndios.

Em 2022, houve 4 incêndios registrados na IUF, totalizando 25,57 ha queimados. A média foi de 6,39 ha por incêndio, com a mediana em 6,97 ha, sugerindo que os incêndios foram novamente de tamanho moderado. O maior incêndio cobriu 11,63 ha, enquanto o menor foi insignificante, aproximadamente 0,00 hectare. O IQR de 6,52 ha reflete a consistência nos tamanhos dos incêndios.

Em 2023, apenas um incêndio foi registrado na IUF, totalizando 0,75 ha queimados. Como houve apenas um evento, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 0,75 ha, com um IQR de 0,00 ha, refletindo a ausência de variação nesse ano.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Almas experimentou uma atividade de incêndios variada, com alguns anos de maior intensidade e outros de atividade limitada. A variabilidade nos tamanhos dos incêndios e a redução significativa em 2023 indicam a necessidade de manter e ajustar as estratégias de prevenção para proteger a IUF e minimizar os impactos dos incêndios na região.

Tabela 145 – Incêndios em Almas dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Almas								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	21,03	3	7,01	8,21	12,82	0,01	4,11	10,51	6,41
2021	24,80	6	4,13	2,97	11,41	0,06	0,22	7,18	6,96
2022	25,57	4	6,39	6,97	11,63	0,00	3,13	9,66	6,52
2023	0,75	1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00

A análise dos incêndios no município de Almas e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 (Tabela 146) revela variações importantes tanto na frequência quanto na intensidade dos

eventos, evidenciando diferentes níveis de contribuição da IUF para o total de áreas queimadas no município.

Em 2020, a área queimada dentro da IUF foi de 21,03 ha, correspondendo a 2,82% de sua área total. No município como um todo, foram registrados 41.746,40 ha queimados, o que representou 10,42% da área municipal. Esse resultado mostra que, apesar da contribuição modesta da IUF, o município enfrentou um impacto significativo dos incêndios.

No ano de 2021, a área queimada na IUF aumentou para 24,80 ha (3,33%), enquanto no município foram queimados 29.564,00 ha, equivalentes a 7,38% da área total. Observa-se, portanto, uma maior intensidade dos incêndios na zona de interface, contrastando com a redução relativa da área queimada em nível municipal.

Em 2022, a área queimada na IUF foi de 25,57 ha (3,43%), mantendo uma proporção semelhante à do ano anterior. Entretanto, o município registrou 70.525,90 ha queimados, representando 17,60% de sua área total, o que indica que a maior parte da pressão dos incêndios ocorreu fora da zona de interface.

Já em 2023, a atividade de incêndios foi consideravelmente menor, com apenas 0,75 ha queimados na IUF (0,10%), em contraste com 17.601,40 ha no município (4,39%). Esse resultado reflete um ano de menor ocorrência de incêndios tanto na IUF quanto no território municipal como um todo.

No acumulado de 2020 a 2023, a IUF somou 72,15 ha queimados frente a 159.437,70 ha no município. Apesar de sua contribuição ter sido modesta no conjunto, a recorrência de queimadas em anos como 2020, 2021 e 2022 indica que a IUF, embora menos afetada em termos absolutos, não está totalmente protegida e pode apresentar episódios de impacto pontual que justificam atenção preventiva.

Tabela 146 – Incêndios no município de Almas e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Almas	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	21,03	2,82	41.746,40	10,42
2021	24,80	3,33	29.564,00	7,38
2022	25,57	3,43	70.525,90	17,60
2023	0,75	0,10	17.601,40	4,39
2020 á 2023	72,15 ha		159.437,70 ha	

A relação apresentada na Tabela 147 indica que, no acumulado do período, os incêndios registrados na IUF corresponderam a apenas 0,05% do total de áreas queimadas no município, enquanto a IUF representa 0,19% da área territorial de Almas. Essa discrepância mostra que, proporcionalmente, a IUF não é a principal responsável pelas áreas queimadas, mas ainda assim desempenha papel estratégico por se localizar justamente na transição entre áreas naturais e ocupadas.

No que se refere ao uso e cobertura do solo (Tabela 148), observa-se que a maior parte dos incêndios dentro da IUF ocorreu em áreas de pastagem (40,49 ha), seguidas por formação savânica (16,66 ha). Outras classes impactadas incluem áreas urbanizadas (5,30 ha), lavouras temporárias (4,29 ha), formação campestre (1,68 ha) e mosaico de usos (1,56 ha). Incêndios em formações florestais foram limitados (0,47 ha), enquanto as formações alagáveis e áreas não vegetadas também registraram valores residuais.

Tabela 147 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município - Almas

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,05	0,19

Tabela 148 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Almas

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,47
	Formação Savânica	16,66
	Floresta Alagável	0,15
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	1,68
Agropecuária	Pastagem	40,49
	Lavoura Temporária	4,29
	Mosaico de Usos	1,56
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	5,30
	Outras Áreas não Vegetadas	1,55
	Mineração	0,00

Esse padrão evidencia que a IUF de Almas é especialmente vulnerável em áreas antrópicas e de uso agropecuário, o que sugere a necessidade de políticas de manejo preventivo voltadas ao ordenamento do uso do solo e ao controle do fogo em pastagens e áreas de transição savânica. Além disso, a presença de áreas urbanizadas entre as classes impactadas reforça a relevância da interface como zona de risco direto para a população.

6.18.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-ALMAS

A análise dos dados de regressão logística para a IUF de Almas revela que incêndios pequenos têm a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,54 e uma probabilidade de 50,88%. Esses resultados indicam que incêndios de menor porte são relativamente comuns na região, e o modelo preditivo, com um ROC acima de 0,5, demonstra desempenho satisfatório para esse tipo de evento. A alta frequência de incêndios pequenos pode estar associada à disponibilidade de material combustível de fácil ignição e às condições climáticas locais.

Incêndios de médio porte apresentam um ROC de 0,50, exatamente no limite de confiabilidade, com probabilidade de 40,12%. Esse resultado sugere uma ocorrência relevante, mas cuja previsão pelo modelo deve ser interpretada com cautela, dado o baixo poder discriminatório. Já os incêndios grandes, com um ROC de 0,57 e probabilidade de 9,87%, são menos frequentes, mas o modelo se mostra relativamente eficaz em identificá-los. Esses achados reforçam a necessidade de estratégias de prevenção voltadas especialmente para incêndios pequenos e médios, considerando sua maior probabilidade de ocorrência na IUF de Almas (Tabela 149).

Tabela 149 – Dados da Regressão Logística para IUF Almas por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,57	9,87
Médio	0,50	40,12
Pequeno	0,54	50,88

A análise do gráfico (Figura 61) revela padrões distintos de distribuição da probabilidade de ocorrência de incêndios em função da distância da IUF. A linha amarela, que representa os incêndios pequenos, apresenta maior probabilidade nas áreas próximas à interface, com um leve declínio à medida que a distância aumenta. Isso indica que esses incêndios tendem a ocorrer em áreas onde há maior interação entre vegetação e atividades humanas, como práticas agropecuárias ou uso do solo de caráter intensivo.

A linha vermelha, correspondente aos incêndios médios, mostra um comportamento quase estável, com uma ligeira diminuição ao longo da distância da IUF. Esse padrão sugere que incêndios de médio porte não estão fortemente condicionados pela proximidade da interface urbano-florestal, podendo estar mais relacionados a características locais, como a continuidade da vegetação e a frequência de atividades de uso do fogo.

Por outro lado, a linha azul, representando os incêndios grandes, indica uma tendência ascendente com o aumento da distância da IUF. Esse comportamento sugere que áreas mais remotas, menos sujeitas à intervenção humana direta, oferecem condições ambientais mais favoráveis à propagação de incêndios de grande escala, devido ao acúmulo de biomassa e à menor presença de medidas de contenção.

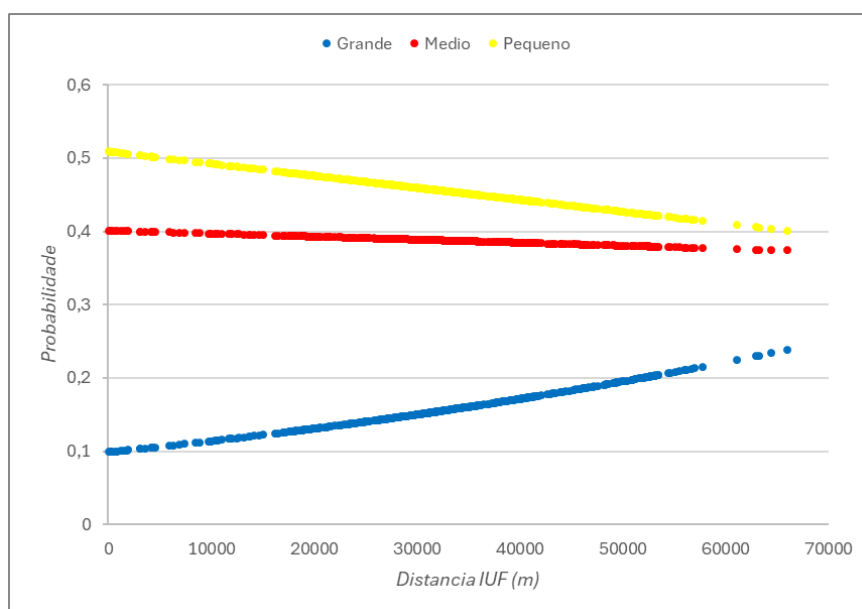


Figura 61 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho – Almas

Em síntese, os resultados para Almas apontam que a proximidade da IUF influencia principalmente a ocorrência de incêndios pequenos, enquanto os grandes tendem a se concentrar em regiões mais afastadas, onde as condições naturais favorecem sua propagação. Já os incêndios médios apresentam uma ocorrência relativamente estável, sugerindo que fatores múltiplos, e não apenas a distância, explicam sua distribuição espacial.

6.19. CONCEIÇÃO DO TOCANTINS

Conceição do Tocantins, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 7 de agosto de 1963 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1964, sob a liderança de Dom Luiz de Mascarenhas. Com uma área territorial de 2.531 km² e inserido no bioma Cerrado, o município apresenta uma baixa densidade demográfica de 1,7 habitantes por km², conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 4.070 habitantes, com uma taxa de urbanização de 69,6%, o que reflete uma predominância da população vivendo em áreas urbanas.

Em questões sociais há um desenvolvimento humano classificado como baixo, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,592 em 2010. Esse índice, composto por subíndices de longevidade (0,739), educação (0,478) e renda (0,588). A pobreza é uma realidade preocupante no município, com 30% das famílias vivendo em situação de pobreza extrema, 57% em pobreza absoluta e 86% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010.

Em termos econômicos, Conceição do Tocantins apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 52.034,61 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 12.617,51. A economia local é sustentada principalmente pelo setor de serviços, que contribuiu com R\$ 40.595 mil para o PIB, seguido pela agropecuária, que adicionou R\$ 6.254 mil, e pela indústria, com uma participação menor de R\$ 1.583 mil. Em 2021, o município contava com 159 empresas, das quais 48% atuavam no comércio. No entanto, o mercado de trabalho formal ainda enfrenta dificuldades, com um saldo negativo de 4 empregos. A taxa de alfabetização era de 79,8% em 2010. Na área da saúde, o município registrou 62 nascimentos e 23 óbitos em 2019, contando com uma estrutura hospitalar básica. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios sendo atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.19.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO TOCANTINS

Em 2020, Conceição do Tocantins registrou 67 incêndios, resultando em uma área total queimada de 17.806,90 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 265,78 ha, enquanto a mediana ficou em 3,92 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 12.978,30 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,03 ha. O intervalo interquartil (IQR) de 14,68 ha sugere uma concentração de incêndios menores, com poucas ocorrências de grande magnitude.

No ano de 2021, o número de incêndios aumentou para 92, e a área total queimada foi de 62.335,40 ha. A média de área queimada por incêndio subiu para 677,56 ha, refletindo a presença de incêndios significativamente mais extensos. A mediana também aumentou para 27,47 ha, sugerindo uma maior diversidade nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio do ano cobriu 23.500,00 ha, enquanto o menor afetou 0,43 ha. O IQR de 117,51 ha evidencia uma variação substancial nas áreas queimadas, com uma distribuição mais dispersa dos tamanhos dos incêndios.

Em 2022, o município registrou 231 incêndios, totalizando uma área queimada de 41.544,70 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 179,85 ha, e a mediana ficou em 18,01 ha, sugerindo uma predominância de incêndios de porte médio. O maior incêndio registrado no ano atingiu 10.783,00 ha, enquanto o menor afetou 0,56 ha. O IQR de 47,86 ha indica uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios, com uma distribuição relativamente ampla entre os diferentes eventos.

Em 2023, foram registrados 162 incêndios, com uma área total queimada de 23.192,40 ha. A média de área por incêndio foi de 143,16 ha, enquanto a mediana ficou em 8,79 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores, embora alguns tenham sido significativamente grandes. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 5.796,73 ha, enquanto o menor foi insignificante em termos de

área. O IQR de 35,53 ha reflete uma distribuição concentrada em incêndios de pequeno a médio porte, com algumas ocorrências notáveis de maior extensão, a Tabela 150 elenca esses dados.

Ao longo dos quatro anos analisados, Conceição do Tocantins apresentou flutuações tanto na quantidade quanto na magnitude dos incêndios (Figura 62). O ano de 2021 destacou-se pela ocorrência de grandes incêndios, enquanto 2020 teve uma maior quantidade de incêndios menores. Já 2022 e 2023 apresentaram uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho.

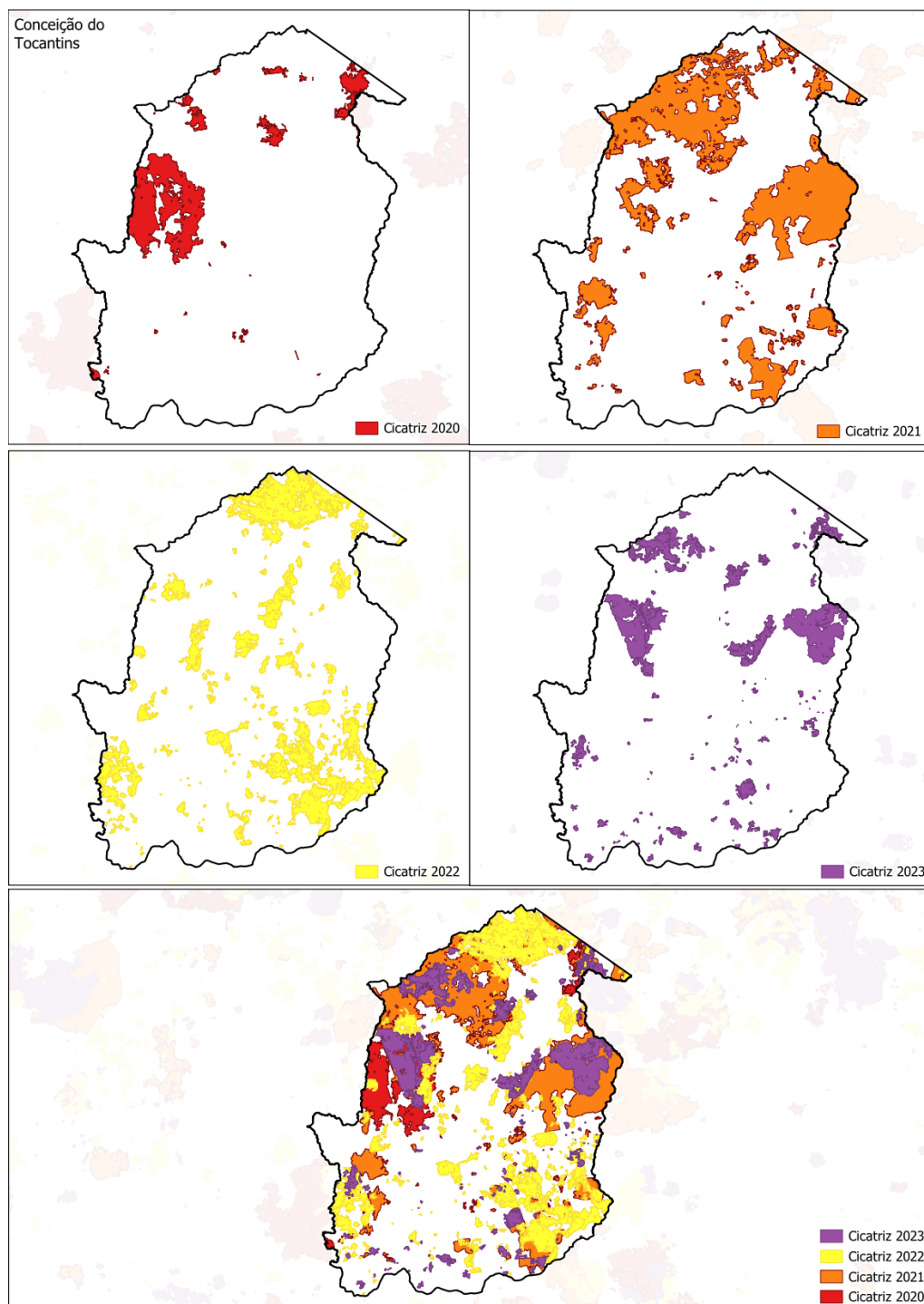


Figura 62 – Cicatrizes de incêndios para o município de Conceição do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.

Tabela 150 – Incêndios no município de Conceição do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Conceição do Tocantins								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	17.806,90	67	265,78	3,92	12.978,30	0,03	2,12	16,80	14,68
2021	62.335,40	92	677,56	27,47	23.500,00	0,43	6,09	123,60	117,51
2022	41.544,70	231	179,85	18,01	10783,00	0,56	7,32	55,18	47,86
2023	23.192,40	162	143,16	8,79	5796,73	0,00	2,73	38,27	35,53

6.19.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - CONCEIÇÃO DO TOCANTINS

A análise dos dados referentes aos incêndios em Conceição do Tocantins entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, destaca a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, embora os pequenos e médios incêndios sejam mais frequentes (Tabela 151). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 98,14% da área total queimada (17.476,10 ha), embora representassem apenas 16,42% do número total de incêndios, com 11 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,38% da área queimada (245,64 ha) e representaram 25,37% das ocorrências, com 17 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 58,21% do total de incêndios com 39 ocorrências, impactaram apenas 0,48% da área queimada (85,13 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar em termos de área queimada, com 98,93% do total (61.671,00 ha), mas representaram 41,30% do número total de incêndios, com 38 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 1,00% da área queimada (620,68 ha) e 40,22% das ocorrências, com 37 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 18,48% das ocorrências com 17 registros, impactaram apenas 0,07% da área queimada (43,74 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,21% da área total queimada (39.553,90 ha) e 32,47% do número de incêndios, com 75 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,48% da área queimada (1.859,34 ha) e 50,65% das ocorrências, com 117 registros. Pequenos incêndios, que representaram 16,88% das ocorrências com 39 registros, impactaram apenas 0,32% da área queimada (131,51 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 95,31% da área total queimada (22.105,60 ha) e 23,46% do número de incêndios, com 38 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 4,10% da área queimada (950,12 ha) e 37,65% das ocorrências, com 61 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 38,89% do total de incêndios com 63 ocorrências, impactaram apenas 0,59% da área queimada (136,67 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Conceição do Tocantins, com proporções superiores a 95% na maioria dos anos. Esses incêndios, apesar de serem menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela maior parte da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada. Esses dados sugerem que o foco principal das estratégias de prevenção e combate deve ser nos grandes incêndios, que causam a maior parte dos danos ambientais em Conceição do Tocantins.

Tabela 151 – Descrição Incêndios em Conceição do Tocantins por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	85,13	0,48	39	58,21	245,64	1,38	17	25,37	17.476,10	98,14	11	16,42
2021	43,74	0,07	17	18,48	620,68	1,00	37	40,22	61.671,00	98,93	38	41,30
2022	131,51	0,32	39	16,88	1859,34	4,48	117	50,65	39.553,90	95,21	75	32,47
2023	136,67	0,59	63	38,89	950,12	4,10	61	37,65	22.105,60	95,31	38	23,46

6.19.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - CONCEIÇÃO DO TOCANTINS

Como demonstra a Tabela 152 que descreve as áreas do Buffer e da IUF no município de Conceição do Tocantins a área artificial conta com 252,09 ha, a área combustível totaliza 258.626,90 ha e a área da IUF cobre também 252,09 ha.

Tabela 152 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Conceição do Tocantins

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	252,09	258.626,90	252,09

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Conceição do Tocantins entre os anos de 2020 e 2023 revela variações significativas na extensão e frequência dos incêndios, com alguns anos apresentando maior atividade e outros com incidentes isolados (Tabela 153).

Em 2020, foi registrado um único incêndio dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 3,26 ha. Como houve apenas um evento, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 3,26 ha, com um intervalo interquartil (IQR) de 0,00 ha, refletindo a ausência de variação nesse ano. No ano de 2021, a atividade de incêndios aumentou, com 4 incêndios registrados, totalizando 20,94 ha queimados. A média de área por incêndio foi de 5,24 ha, com a mediana ligeiramente maior, em 5,52 ha, indicando que os incêndios foram de tamanho moderado a grande. O maior incêndio atingiu 8,10 ha, enquanto o menor foi de 1,81 ha. O IQR de 3,91 ha sugere uma variação moderada nos tamanhos dos incêndios. Em 2022, houve apenas um incêndio registrado na IUF, com uma área total queimada de apenas 0,09 ha. Como foi um único evento, todas as medidas (média, mediana, maior e menor área) foram de 0,09 ha, com um IQR de aproximadamente 0,00 ha, refletindo novamente a ausência de variação.

Em 2023, um único incêndio foi registrado, totalizando 11,90 ha queimados. Como houve apenas um incêndio, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 11,90 ha, com um IQR de 0,00 ha, indicando um evento isolado, porém significativo em termos de área afetada.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Conceição do Tocantins experimentou uma atividade de incêndios variável, com anos de menor intensidade e outros com eventos mais significativos. A maior atividade em 2021, seguida por anos com incidentes isolados, sugere a importância de manter e ajustar continuamente as estratégias de prevenção para garantir a proteção da IUF e minimizar os impactos dos incêndios na região.

Tabela 153 – Incêndios em Conceição do Tocantins dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Conceição do Tocantins								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	3,26	1	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	0,00
2021	20,94	4	5,24	5,52	8,10	1,81	3,28	7,19	3,91
2022	0,09	1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,00
2023	11,90	1	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90	0,00

A análise dos incêndios no município de Conceição do Tocantins e em sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 (Tabela 154) evidencia variações expressivas na proporção da área da IUF atingida, refletindo diferentes níveis de impacto ao longo do período.

Em 2020, a área queimada na IUF foi de 3,26 ha, o que correspondeu a 1,29% de sua extensão. No mesmo ano, o município registrou 17.806,90 ha queimados, equivalente a 7,04% de sua área total. Esse contraste indica que, embora a IUF tenha sido afetada, a maior parte dos incêndios ocorreu fora dessa zona crítica.

No ano de 2021, a IUF registrou 20,94 ha queimados, representando 8,31% de sua área. O município, por sua vez, teve 62.335,40 ha atingidos, o que correspondeu a 24,63% de sua área total. Esse foi o ano de maior pressão sobre a IUF, refletindo uma contribuição relevante para o total de áreas queimadas.

Em 2022, a área queimada na IUF caiu drasticamente para apenas 0,09 ha, equivalendo a 0,04% de sua extensão. Já o município teve 41.544,70 ha queimados, correspondendo a 16,42% de sua área total. Essa disparidade mostra que, nesse ano, a atividade de incêndios se concentrou fora da IUF.

Em 2023, a IUF voltou a registrar maior impacto, com 11,90 ha queimados, representando 4,72% de sua área. O município, no mesmo ano, contabilizou 23.192,40 ha queimados, ou 9,16% de sua área total. Embora a contribuição da IUF tenha sido menor em termos absolutos, sua proporção relativa voltou a ganhar relevância.

No acumulado de 2020 a 2023, a IUF somou 36,20 ha queimados, frente a 144.879,40 ha registrados no município. Fica evidente que, embora a contribuição absoluta da IUF tenha sido pequena, ela apresentou anos pontuais de maior relevância relativa, como 2021 e 2023.

Tabela 154 – Incêndios no município de Conceição do Tocantins e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Conceição do Tocantins	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	3,26	1,29	17.806,90	7,04
2021	20,94	8,31	62.335,40	24,63
2022	0,09	0,04	41.544,70	16,42
2023	11,90	4,72	23.192,40	9,16
2020 á 2023	36,20 ha		144.879,40 ha	

A relação apresentada na Tabela 155 mostra que, no acumulado, os incêndios na IUF corresponderam a 0,02% do total registrado no município. Em termos territoriais, a IUF representa 0,10% da área municipal. Esse contraste sugere que, embora a representatividade espacial da IUF seja limitada, a proporção de incêndios ocorridos em seu interior não é desprezível, reforçando a necessidade de atenção especial às áreas de interface, onde há maior interação entre vegetação e ocupação humana.

Tabela 155 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Conceição do Tocantins

Área de Incêndios: IUF/Município (%)	Área Total: IUF/Município (%)
0,02	0,10

A análise por tipo de uso do solo (Tabela 156) mostra que a maior parte da área queimada na IUF ocorreu em formações savânicas (21,46 ha), seguidas pelas áreas de pastagem (7,69 ha) e por setores urbanizados (6,04 ha). Em menor escala, foram registrados incêndios em formações florestais (1,01 ha). Esse padrão indica que a IUF de Conceição do Tocantins combina áreas naturais de alta suscetibilidade, como savanas, com usos agropecuários e urbanos, o que aumenta a complexidade do manejo do fogo.

Tabela 156 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Conceição do Tocantins

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	1,01
	Formação Savânica	21,46
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,00
Agropecuária	Pastagem	7,69
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,00
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	6,04
	Outras Áreas não Vegetadas	0,00
	Mineração	0,00

6.19.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF- CONCEIÇÃO DO TOCANTINS

A análise dos dados de regressão logística para a IUF de Conceição do Tocantins (Tabela 157) indica que incêndios de médio porte apresentam a maior probabilidade de ocorrência, com um ROC de 0,57 e probabilidade de 57,28%. Esses valores demonstram que incêndios médios são relativamente comuns na região e que o modelo preditivo possui boa confiabilidade, possivelmente em função da combinação entre atividades humanas e características da vegetação que favorecem a propagação de eventos dessa magnitude.

Incêndios grandes registraram um ROC de 0,52 e probabilidade de 30,25%, apontando para uma ocorrência moderada e previsibilidade aceitável. Já os incêndios pequenos tiveram um ROC de 0,60, indicando boa precisão do modelo, embora a probabilidade de ocorrência seja menor, de apenas 15,57%. Esses resultados reforçam a necessidade de estratégias de manejo voltadas principalmente para o controle de incêndios médios, dada sua predominância, sem desconsiderar medidas específicas para os grandes e pequenos.

Tabela 157 – Dados da Regressão Logística para IUF Conceição do Tocantins por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,52	30,25
Médio	0,57	57,28
Pequeno	0,60	15,57

A análise do gráfico (Figura 63) revela padrões distintos em função da distância à IUF. A linha amarela, que representa os incêndios pequenos, aumenta de forma nítida à medida que cresce a distância da interface, sugerindo maior ocorrência em áreas mais remotas.

A linha vermelha (incêndios médios) mostra declínio acentuado com o afastamento da IUF, indicando que esses eventos se concentram nas zonas próximas à interface, onde as pressões e usos humanos são mais intensos.

Já a linha azul (incêndios grandes) apresenta leve tendência de queda com a distância — ou seja, são um pouco mais prováveis nas proximidades da IUF e tornam-se menos frequentes à medida que nos afastamos, embora o gradiente seja bem mais suave do que o observado para os incêndios médios.

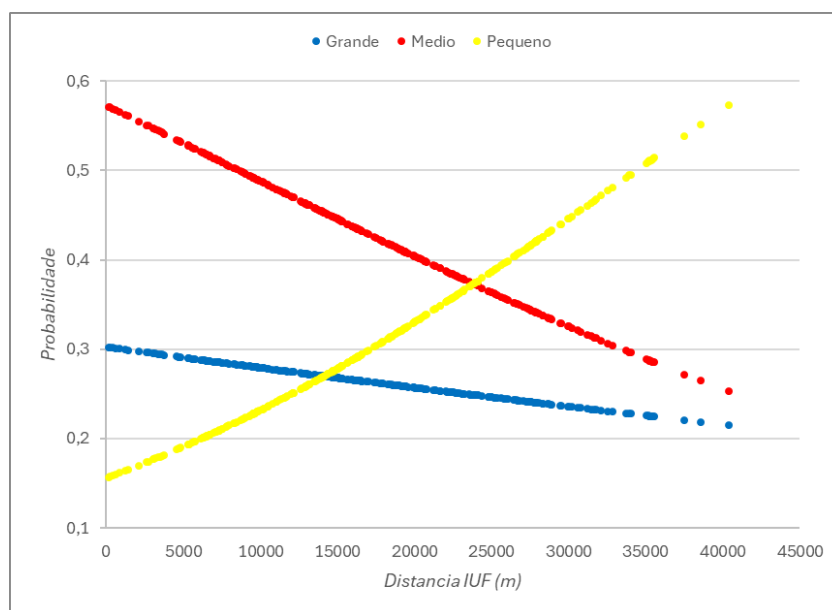


Figura 63 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Conceição do Tocantins

Em síntese, em Conceição do Tocantins, incêndios médios predominam perto da IUF, enquanto incêndios pequenos tornam-se mais comuns longe da interface; os grandes são relativamente menos frequentes e ligeiramente mais associados às faixas próximas da IUF. Isso recomenda foco no controle de incêndios médios e grandes nas bordas urbano-florestais e vigilância preventiva para incêndios pequenos nas áreas mais afastada.

6.20. MONTE DO CARMO

Monte do Carmo, localizado no Estado do Tocantins, foi fundado em 1741 e oficialmente instalado como município em 1º de janeiro de 1964, sob a liderança de Manoel de Souza Ferreira. Com uma área territorial de 3.601 km² e inserido no bioma Cerrado, o município apresenta uma baixa densidade demográfica, com apenas 1,9 habitantes por km², conforme o censo de 2010. A população estimada em 2021 era de 8.182 habitantes, com uma taxa de urbanização de 42,9%, destacando a predominância de áreas rurais na composição populacional.

Os indicadores sociais de Monte do Carmo revelam um desenvolvimento humano classificado como médio, com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,622 em 2010. Esse índice

é composto por subíndices de longevidade (0,808), educação (0,489) e renda (0,608). A pobreza é uma questão premente no município, com 29% das famílias vivendo em situação de pobreza extrema, 56% em pobreza absoluta e 87% com rendimentos de até um salário-mínimo, segundo os dados de 2010. Com um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 178.179,42 mil em 2018, com um PIB per capita de R\$ 22.764,71. A economia do município é fortemente influenciada pela agropecuária, que contribuiu com R\$ 71.236 mil para o PIB, seguida pelo setor de serviços com R\$ 66.562 mil e pela indústria, que adicionou R\$ 35.832 mil. Em 2021, Monte do Carmo contava com 230 empresas, das quais 37% atuavam no comércio. Embora o mercado de trabalho formal seja limitado, registrou-se um saldo positivo de 7 empregos em 2021.

A taxa de alfabetização era de 82,8% em 2010, o que demonstra a necessidade de melhorias contínuas no sistema educacional. Na área da saúde, o município registrou 63 nascimentos e 30 óbitos em 2019, contando com uma estrutura hospitalar básica. O saneamento básico é predominantemente adequado, com a maioria dos domicílios sendo atendidos por redes de distribuição de água e esgotamento sanitário.

6.20.1. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS NO MUNICÍPIO DE MONTE DO CARMO

A análise dos incêndios no município de Monte do Carmo entre os anos de 2020 e 2023 tem os dados demonstrado na Tabela 158. Em 2020, Monte do Carmo registrou 275 incêndios, que resultaram em uma área total queimada de 30.294,10 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 110,16 ha, enquanto a mediana ficou em 4,30 ha, indicando que a maioria dos incêndios foi de pequeno porte. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 7.935,50 ha, enquanto o menor foi praticamente insignificante em termos de área queimada. O intervalo interquartil (IQR) de 9,76 ha sugere uma concentração de incêndios menores, com algumas exceções de maior magnitude.

No ano de 2021, o número de incêndios diminuiu para 72, mas a área total queimada foi de 20.735,40 ha. A média de área queimada por incêndio aumentou para 287,99 ha, refletindo a ocorrência de incêndios mais extensos, mesmo com a redução na quantidade de eventos. A mediana subiu para 17,53 ha, sugerindo uma maior diversidade nos tamanhos dos incêndios. O maior incêndio do ano cobriu 7.810,31 ha, enquanto o menor afetou 0,47 ha. O IQR de 82,14 ha evidencia uma variação significativa nas áreas queimadas, com uma distribuição mais ampla dos eventos.

Em 2022, o município registrou 257 incêndios, totalizando uma área queimada de 67.046,60 ha. A média de área afetada por incêndio foi de 260,88 ha, e a mediana ficou em 26,39 ha, sugerindo uma predominância de incêndios de porte médio. O maior incêndio registrado no ano atingiu 24.318,40 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,02 ha. O IQR de 81,69 ha indica uma variação considerável entre os tamanhos dos incêndios, com uma distribuição relativamente ampla entre os diferentes eventos.

Em 2023, foram registrados 159 incêndios, com uma área total queimada de 12.429,10 ha. A média de área por incêndio foi de 78,17 ha, enquanto a mediana ficou em 7,68 ha, apontando para uma predominância de incêndios menores, embora alguns tenham sido significativamente grandes. O maior incêndio registrado no ano abrangeu 6.007,42 ha, enquanto o menor afetou apenas 0,04 ha. O IQR de 19,37 ha reflete uma distribuição concentrada em incêndios de pequeno a médio porte, com algumas ocorrências notáveis de maior extensão.

A Figura 64 demonstra a distribuição dos incêndios no município: o ano de 2020 foi marcado por uma maior quantidade de incêndios menores, enquanto 2021 e 2022 se destacaram pela ocorrência de grandes incêndios. Já 2023 apresentou uma combinação de incêndios moderados em termos de frequência e tamanho. Esses dados são fundamentais para o planejamento de estratégias de prevenção e combate,

considerando as diferentes características dos incêndios em cada período e buscando minimizar os danos causados por esses eventos no município.

Tabela 158 – Incêndios no município de Monte do Carmo por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios Monte do Carmo								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	30.294,10	275	110,16	4,30	7935,50	0,00	2,34	12,11	9,76
2021	20.735,40	72	287,99	17,53	7810,31	0,47	7,58	89,72	82,14
2022	67.046,60	257	260,88	26,39	24318,40	0,02	8,43	90,12	81,69
2023	12.429,10	159	78,17	7,68	6007,42	0,04	2,26	21,63	19,37

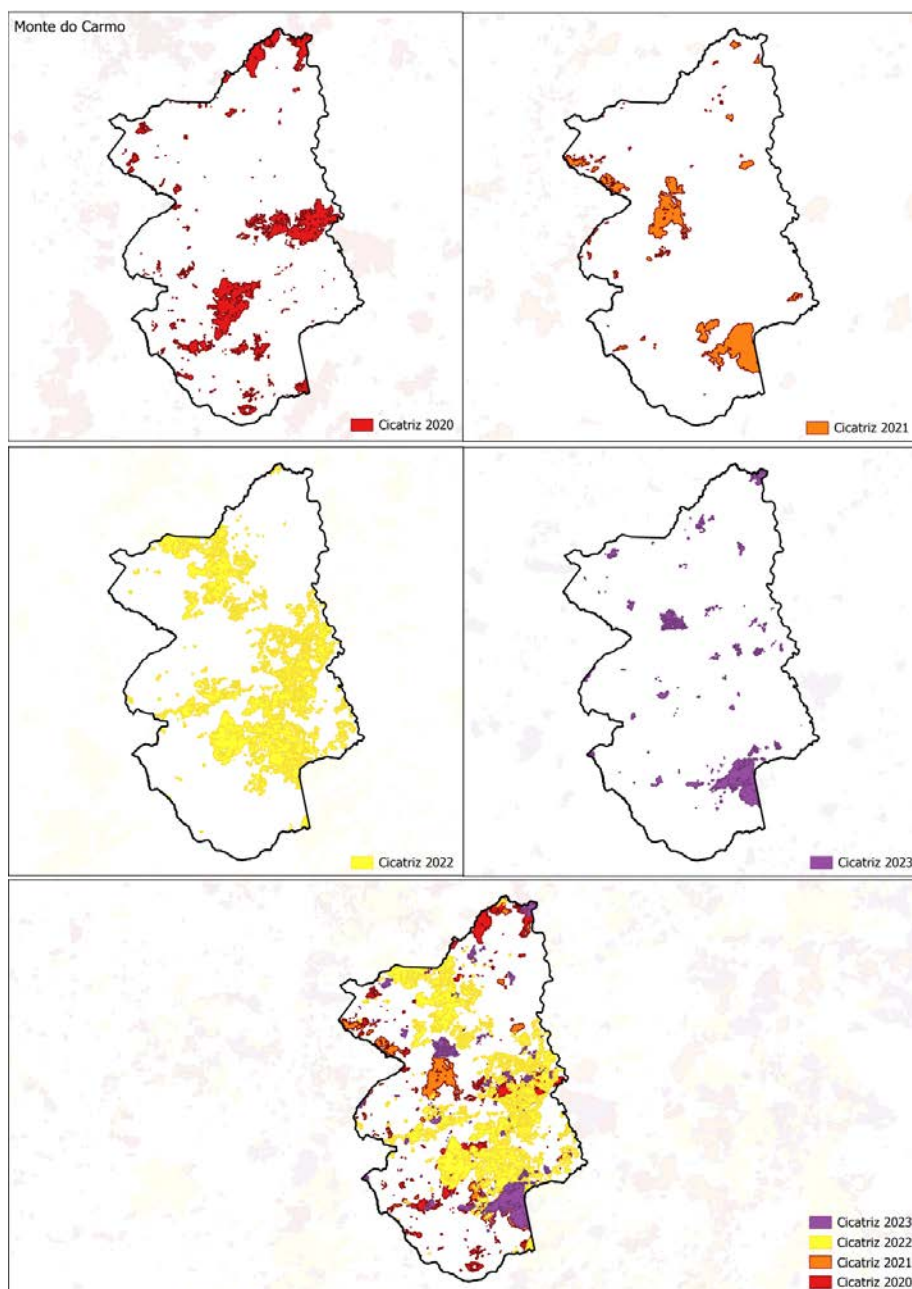


Figura 64 – Cicatrizes de incêndios para o município de Monte do Carmo por ano no período de 2020 a 2023.

6.20.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS - MONTE DO CARMO

A análise dos dados referentes aos incêndios em Monte do Carmo entre os anos de 2020 e 2023, categorizados por tamanho, revela a predominância dos grandes incêndios em termos de área queimada, embora os pequenos e médios incêndios sejam mais frequentes (Tabela 159). Em 2020, os grandes incêndios foram responsáveis por 95,02% da área total queimada (28.785,10 ha), embora representassem apenas 13,09% do número total de incêndios, com 36 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,79% da área queimada (1.148,14 ha) e representaram 33,82% das ocorrências, com 93 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 53,09% do total de incêndios com 146 ocorrências, impactaram apenas 1,19% da área queimada (360,94 ha).

Em 2021, os grandes incêndios continuaram a dominar em termos de área queimada, com 97,14% do total (20.141,60 ha), mas representaram 33,33% do número total de incêndios, com 24 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 2,74% da área queimada (567,76 ha) e 55,56% das ocorrências, com 40 registros. Pequenos incêndios, embora presentes em 11,11% das ocorrências com 8 registros, impactaram apenas 0,13% da área queimada (26,10 ha).

No ano de 2022, os grandes incêndios foram responsáveis por 96,70% da área total queimada (64.831,70 ha) e 38,52% do número de incêndios, com 99 ocorrências. Incêndios de tamanho médio contribuíram com 3,20% da área queimada (2.147,79 ha) e 43,97% das ocorrências, com 113 registros. Pequenos incêndios, que representaram 17,51% das ocorrências com 45 registros, impactaram apenas 0,10% da área queimada (67,14 ha).

Em 2023, os grandes incêndios continuaram a ter um impacto significativo, representando 91,04% da área total queimada (11.315,50 ha) e 15,72% do número de incêndios, com 25 ocorrências. Os incêndios de tamanho médio contribuíram com 7,64% da área queimada (950,05 ha) e 40,25% das ocorrências, com 64 registros. Pequenos incêndios, que foram os mais frequentes, representando 44,03% do total de incêndios com 70 ocorrências, impactaram apenas 1,32% da área queimada (163,49 ha).

Ao comparar os tamanhos dos incêndios ao longo dos anos de 2020 a 2023, observa-se que os grandes incêndios dominaram consistentemente a área total queimada em Monte do Carmo, com proporções superiores a 91% na maioria dos anos. Esses incêndios, embora menos frequentes em comparação com os incêndios médios e pequenos, são responsáveis pela maior parte da devastação. Os incêndios de tamanho médio, embora significativos em número, tiveram um impacto menor na área total queimada, enquanto os pequenos incêndios, apesar de serem frequentemente mais numerosos, tiveram um impacto mínimo na área total queimada.

Tabela 159 – Descrição Incêndios em Monte do Carmo por tamanho e ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Pequenos Incêndios				Médios Incêndios				Grandes Incêndios			
	Área		Quantidade		Área		Quantidade		Área		Quantidade	
	ha	%	und	%	ha	%	und	%	ha	%	und	%
2020	360,94	1,19	146	53,09	1148,14	3,79	93	33,82	28.785,10	95,02	36	13,09
2021	26,10	0,13	8	11,11	567,76	2,74	40	55,56	20.141,60	97,14	24	33,33
2022	67,14	0,10	45	17,51	2.147,79	3,20	113	43,97	64.831,70	96,70	99	38,52
2023	163,49	1,32	70	44,03	950,05	7,64	64	40,25	11.315,50	91,04	25	15,72

6.20.3. DIAGNOSTICO DOS INCÊNDIOS NA IUF - MONTE DO CARMO

Com a área artificial abrangendo 359,15 ha, a área combustível, é substancialmente maior, totalizando 367.297,69 ha e a IUF cobrindo 355,58 ha (Tabela 160).

Tabela 160 – Informações das áreas do Buffer e IUF – Monte do Carmo

IUF	Área Artificial (ha)	Área Combustível (ha)	Área IUF (ha)
200x200	359,15	367.297,69	355,58

A análise dos incêndios ocorridos dentro da IUF em Monte do Carmo entre os anos de 2020 e 2023 revela uma atividade limitada de incêndios, com alguns anos apresentando registros mínimos e outros sem qualquer incidente.

Em 2020, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em uma área queimada de 0,00 ha. Isso indica que a área de interface foi completamente preservada durante esse ano.

No ano de 2021, houve um único incêndio registrado dentro da IUF, totalizando uma área queimada de 1,50 ha. Como foi um único evento, a média, mediana, maior e menor área afetada foram todas de 1,50 ha, com um intervalo interquartil (IQR) de 0,00 ha, refletindo a ausência de variação.

Em 2022, novamente foi registrado um único incêndio na IUF, com uma área total queimada de 2,46 ha. Assim como em 2021, todas as medidas (média, mediana, maior e menor área) foram de 2,46 ha, com um IQR de 0,00 hectare, indicando consistência na ausência de variação entre os incidentes.

Em 2023, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando novamente em uma área queimada de 0,00 ha.

Esses dados mostram que, ao longo dos anos analisados, a IUF em Monte do Carmo experimentou uma atividade de incêndios muito limitada, com apenas dois anos apresentando incidentes isolados e de pequeno porte (Tabela 161).

Tabela 161 – Incêndios em Monte do Carmo dentro da IUF (200x200) no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF Monte do Carmo								
	Total (ha)	Quant (uni)	Média (ha)	Mediana (ha)	Maior (ha)	Menor (ha)	Q1 (ha)	Q3 (ha)	IQR (ha)
2020	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	1,50	1	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,00
2022	2,46	1	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	0,00
2023	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A análise dos incêndios no município de Monte do Carmo e especificamente dentro de sua IUF entre os anos de 2020 e 2023 revela que a contribuição da IUF para o total de áreas queimadas foi bastante reduzida, com registros ocasionais e de pequena escala (Tabela 162).

Em 2020, não houve registros de incêndios dentro da IUF, resultando em área queimada de 0,00 ha. Já o município de Monte do Carmo apresentou 30.294,10 ha queimados, equivalendo a 3,16% da área total municipal, o que demonstra que, embora o território como um todo tenha enfrentado uma pressão considerável do fogo, a IUF permaneceu preservada.

No ano de 2021, a IUF registrou 1,50 ha queimados, representando 0,42% de sua área, enquanto o município totalizou 20.735,40 ha atingidos (2,16% da área municipal). Esse dado evidencia que, apesar do incêndio de pequena magnitude dentro da interface, a maior parte da atividade de fogo concentrou-se fora dela.

Em 2022, a área queimada na IUF foi de 2,46 ha, correspondente a 0,69% de sua extensão. Nesse mesmo ano, o município registrou 67.046,60 ha queimados, equivalentes a 6,99% de sua área total. Embora

ainda modesta, essa participação foi a maior da série histórica, revelando um leve aumento na vulnerabilidade da zona de interface.

Em 2023, novamente não houve registros de incêndios na IUF, permanecendo a área queimada em 0,00 ha. No entanto, o município registrou 12.429,10 ha queimados, equivalentes a 1,30% de sua área, reforçando o contraste entre a baixa exposição da interface e os impactos mais amplos no território municipal. No acumulado de 2020 a 2023, a IUF totalizou apenas 3,96 ha queimados, enquanto o município como um todo registrou 130.505,20 ha atingidos pelo fogo.

Tabela 162 – Incêndios no município de Monte do Carmo e sua IUF por ano no período de 2020 a 2023.

Ano	Incêndios IUF		Incêndios Monte do Carmo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2020	0,00	0,00	30.294,10	3,16
2021	1,50	0,42	20.735,40	2,16
2022	2,46	0,69	67.046,60	6,99
2023	0,00	0,00	12.429,10	1,30
2020 á 2023	3,96 ha		130.505,20 ha	

A relação apresentada na Tabela 163 reforça esse cenário: os incêndios ocorridos na IUF representaram 0,00% em termos relativos no acumulado do período, enquanto a área da IUF corresponde a apenas 0,10% do território de Monte do Carmo. Esse contraste revela que a baixa representatividade espacial da IUF no município reduz, naturalmente, sua contribuição para os totais de áreas queimadas, tornando os impactos diretos sobre essa zona de interface pontuais e pouco expressivos.

Tabela 163 – Relação % áreas: incêndios IUF/incêndios município x total IUF/total município – Monte do Carmo

Area de Incêndios: IUF/Município (%)	Area Total: IUF/Município (%)
0,00	0,10

A análise da distribuição dos incêndios na IUF por tipo de uso do solo (Tabela 164) mostra que a maior parte das ocorrências esteve associada a áreas de pastagem (3,32 ha), seguidas por formações savânicas (0,62 ha). Em menor proporção, foram registradas ocorrências em formação florestal (0,01 ha) e em áreas de mosaico de usos (0,01 ha). As demais categorias não apresentaram registros. Esse padrão sugere que a pressão do fogo na IUF de Monte do Carmo está mais relacionada a áreas destinadas à agropecuária, especialmente pastagens, refletindo a influência de práticas antrópicas locais.

Tabela 164 – Incêndios na IUF por tipo de uso do solo – Monte do Carmo

Nível 1	Nível 2	ha
Floresta	Formação Florestal	0,01
	Formação Savânica	0,62
	Floresta Alagável	0,00
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00
	Formação Campestre	0,00
Agropecuária	Pastagem	3,32
	Lavoura Temporária	0,00
	Mosaico de Usos	0,01
	Silvicultura	0,00
Área não Vegetada	Área Urbanizada	0,00
	Outras Áreas não Vegetadas	0,00
	Mineração	0,00

6.20.4. RELAÇÃO PROBABILÍSTICA ENTRE OS TAMANHOS DOS INCÊNDIOS E SUAS DISTÂNCIAS DA IUF-MONTE DO CARMO

Os resultados da regressão logística para a IUF de Monte do Carmo (Tabela 165) indicam que incêndios de médio porte possuem a maior probabilidade de ocorrência, com ROC de 0,56 e probabilidade de 49,89%. Isso sugere que esses eventos são relativamente comuns na região e que o modelo apresenta boa confiabilidade para identificá-los. A elevada frequência de incêndios médios pode estar associada à interação entre a presença de vegetação suscetível e atividades humanas que favorecem a ignição em áreas próximas à interface.

Incêndios grandes apresentam ROC de 0,57 e probabilidade de 37,59%, apontando para uma ocorrência significativa, ainda que menos expressiva do que os médios. Já os incêndios pequenos, embora tenham o ROC mais alto (0,61), indicativo de maior capacidade preditiva do modelo, apresentam probabilidade de apenas 17,05%, revelando que são menos frequentes no município. Esses resultados evidenciam a necessidade de estratégias de manejo voltadas especialmente para incêndios médios e grandes, que concentram a maior parte do risco na IUF de Monte do Carmo.

Tabela 165 – Dados da Regressão Logística para IUF Monte do Carmo por tamanho da área ardida.

Incêndios	Buffer (200x200)	
	ROC	Probabilidade de ocorrer na IUF (%)
Grande	0,57	37,59
Médio	0,56	49,89
Pequeno	0,61	17,05

A análise do gráfico (Figura 65) mostra padrões distintos de probabilidade em função da distância da IUF. A linha vermelha, representando os incêndios médios, inicia-se com probabilidade acima de 0,4 nas áreas mais próximas da interface, mas apresenta queda progressiva à medida que a distância aumenta, estabilizando-se abaixo de 0,3 em regiões mais afastadas. Esse padrão reforça que os incêndios de porte médio estão mais associados a áreas sob maior influência antrópica.

A linha amarela, que representa os incêndios pequenos, segue tendência oposta: inicia-se em torno de 0,3 próximo à IUF, mas cresce de forma consistente ao longo da distância, ultrapassando a probabilidade dos médios e alcançando valores próximos a 0,6 em áreas mais remotas. Isso sugere que incêndios menores tornam-se mais frequentes em regiões afastadas, possivelmente relacionados a condições ambientais naturais e menor controle humano.

Já a linha azul, correspondente aos incêndios grandes, inicia com probabilidade ligeiramente acima de 0,3, mas apresenta queda gradual com o aumento da distância, estabilizando-se próxima a 0,2. Esse comportamento indica que incêndios de grande porte são relativamente mais prováveis nas proximidades da IUF.

Em síntese, o padrão observado em Monte do Carmo revela que incêndios médios predominam próximos à IUF, incêndios pequenos se tornam mais frequentes em áreas mais distantes e os grandes apresentam maior probabilidade em áreas de contato imediato com a interface. Essas tendências reforçam a necessidade de políticas de prevenção diferenciadas, priorizando o controle de incêndios médios na zona de interface e medidas específicas para monitoramento de pequenos incêndios em regiões remotas.

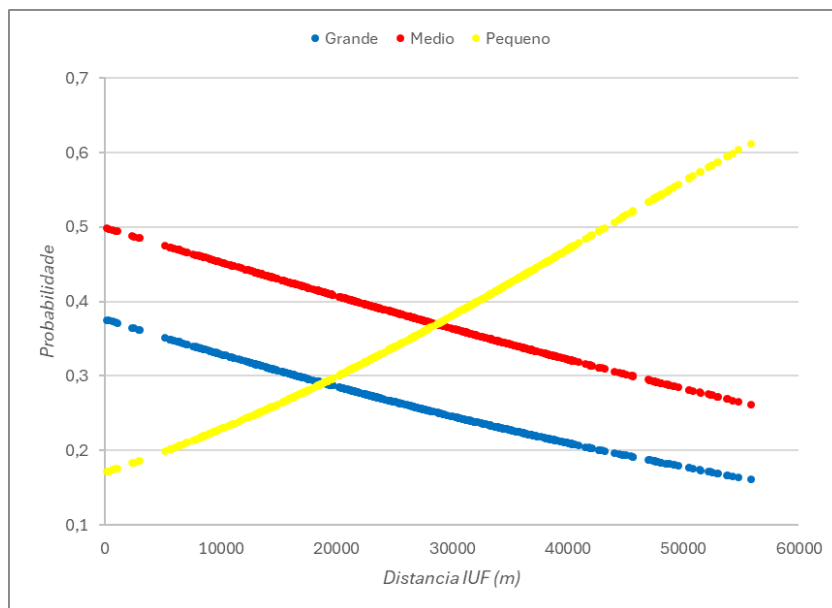


Figura 65 – Curva de Probabilidade de incêndios pela distância separados por tamanho - Monte do Carmo

6.21. TOCANTINS

A análise da distribuição espacial das cicatrizes de incêndios no estado do Tocantins, baseada no mapa de cicatrizes para os anos de 2020 a 2023 (Figuras 66 e 67), revela padrões distintos de ocorrência ao longo do território. Notavelmente, as regiões central e sul, abrangendo municípios como Palmas, Porto Nacional, Gurupi e Lagoa da Confusão, exibem uma alta concentração de cicatrizes de incêndio. Essas áreas, destacadas pelas cores vermelha e laranja que indicam os incêndios de 2020 e 2021, refletem a frequência elevada e a intensidade dos incêndios, possivelmente vinculadas às práticas agrícolas predominantes, como a queima para manejo de pastagens ou a outras atividades humanas. A repetição de cicatrizes em anos consecutivos sugere que essas regiões enfrentam desafios contínuos no manejo de incêndios, indicando uma necessidade urgente de aprimorar as estratégias de prevenção e resposta a incêndios.

Além disso, o mapa evidencia uma significativa sobreposição de cicatrizes nas regiões leste e nordeste de Tocantins, incluindo municípios como Araguaína, Conceição do Tocantins e Lizarda. As cores amarelas e roxas, representando os anos de 2022 e 2023, apontam para uma persistência dos incêndios, sinalizando, não apenas a continuidade das práticas de queima, mas também condições climáticas que favorecem a propagação do fogo. A intensidade e a recorrência dos incêndios nesta área podem estar relacionadas à combinação de fatores como: a expansão da fronteira agrícola, o uso inadequado do fogo e as condições ambientais que favorecem a ignição e a propagação dos incêndios. A análise das cicatrizes revela um padrão preocupante de vulnerabilidade, onde a interação entre atividades humanas e o ambiente natural aumenta significativamente o risco de incêndios descontrolados.

No extremo norte do estado, a menor densidade de cicatrizes sugere que essas áreas estão menos sujeitas a grandes incêndios, possivelmente devido a uma combinação de fatores naturais, como uma maior umidade. No entanto, áreas isoladas ainda exibem cicatrizes, indicando que os incêndios não são inexistentes e que o risco persiste, mesmo que em menor escala. Por fim, a região sudoeste, abrangendo municípios como Formoso do Araguaia e Paranã, apresenta uma concentração moderada de cicatrizes de incêndio, especialmente visível nos anos mais recentes. Esta observação pode ser indicativa que as práticas locais ou as condições ambientais tornaram estas áreas mais suscetíveis a incêndios.

A análise detalhada das cicatrizes ao longo dos anos e a distribuição geográfica dos incêndios evidenciam a complexidade do problema no estado do Tocantins. Mesmo com a falha metodológica observada no ano de 2021, que dificultou a definição de cicatrizes, o número de queimas identificadas é considerável. A variação na concentração de cicatrizes sugere que os incêndios florestais no estado são influenciados por uma multiplicidade de fatores, incluindo práticas agrícolas, características climáticas regionais e variações no uso da terra. O padrão observado no mapa sublinha a importância de intervenções direcionadas que considerem essas variáveis para desenvolver estratégias eficazes de mitigação e adaptação, a fim de reduzir a frequência e a gravidade dos incêndios no estado, protegendo tanto os ecossistemas naturais quanto as populações locais.

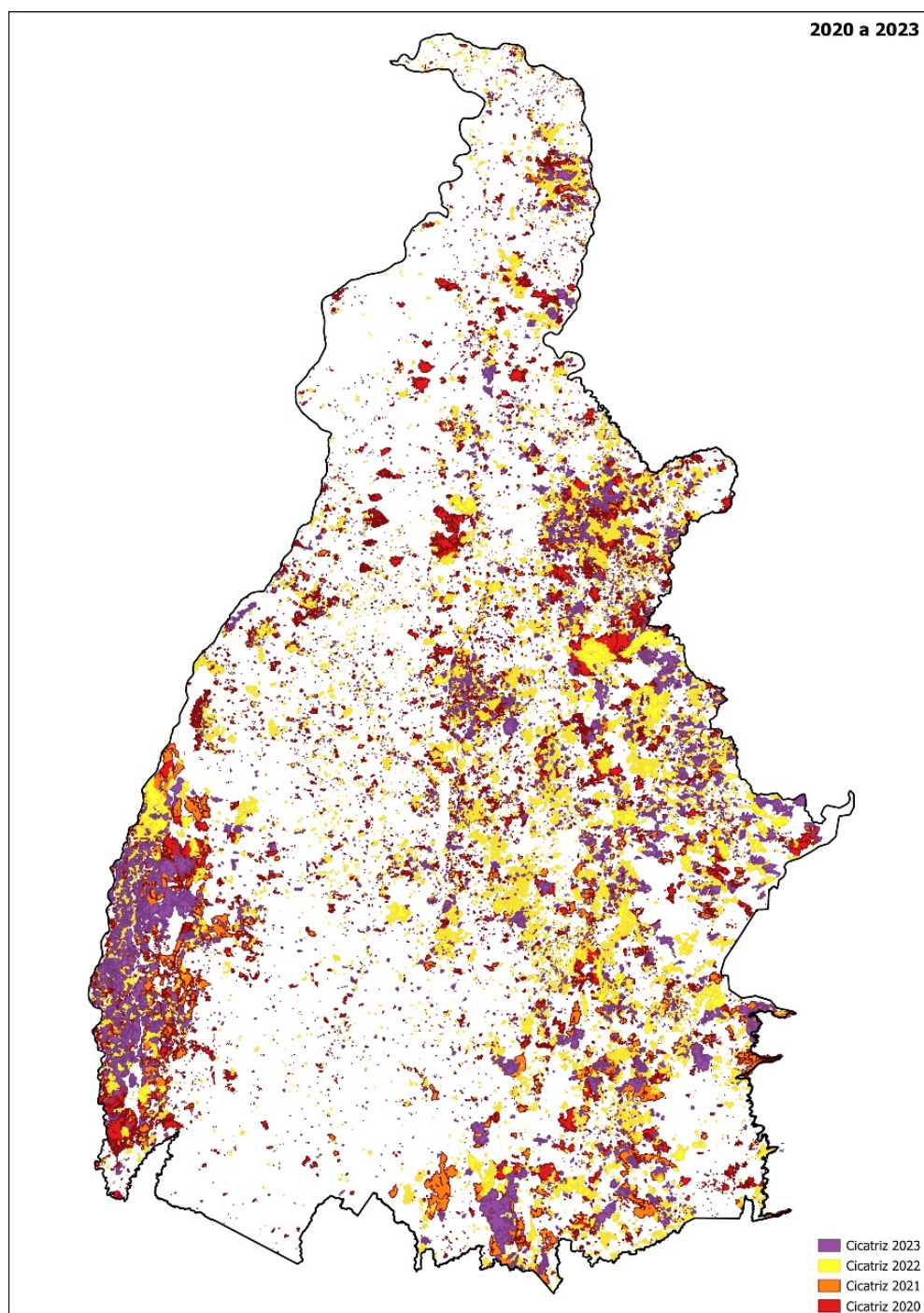


Figura 66 – Cicatrizes de incêndios para o estado do Tocantins acumulado 2020 a 2023

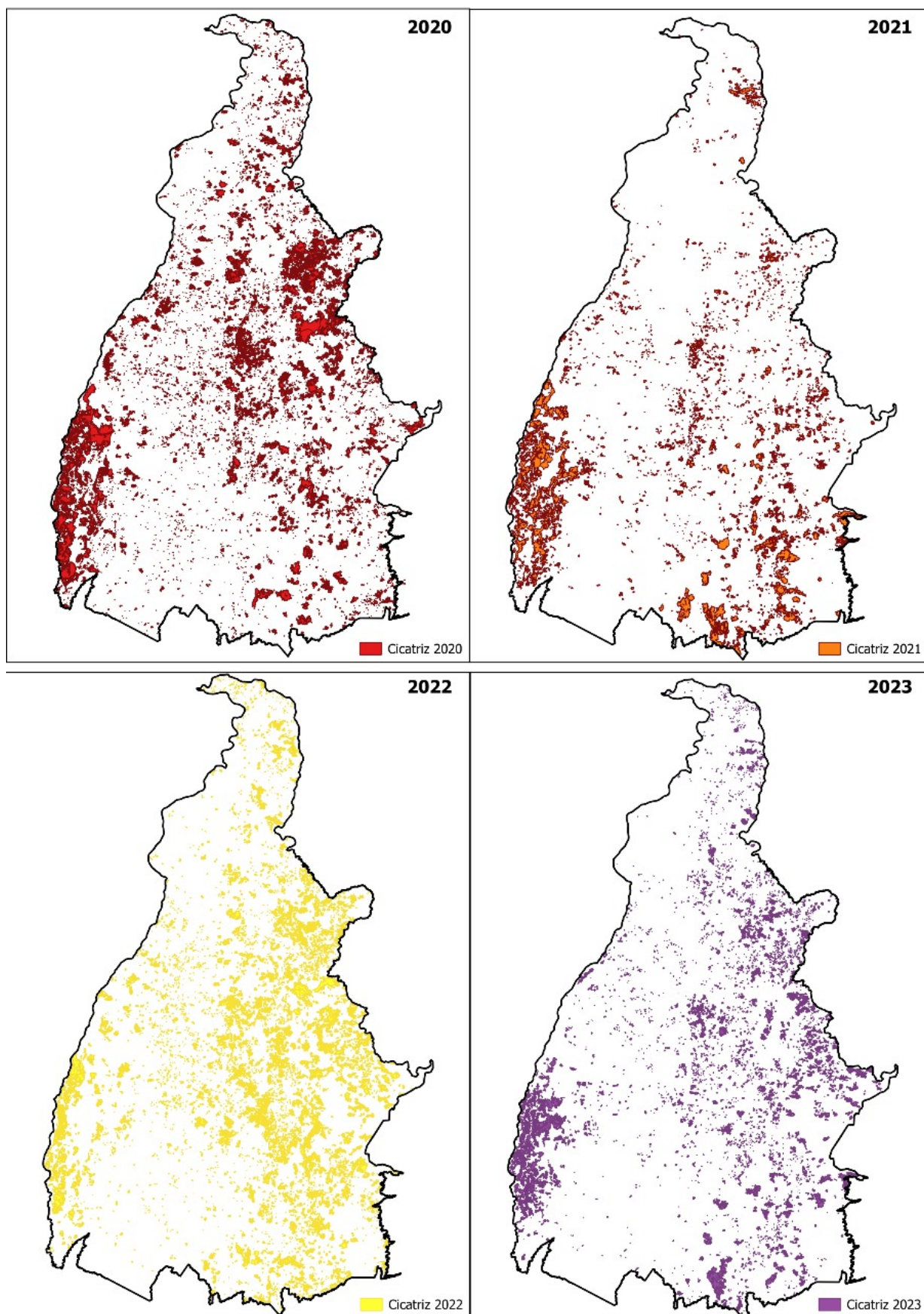


Figura 67 – Cicatrizes de incêndios para o estado do Tocantins por ano no período de 2020 a 2023.

A análise dos municípios com base nos dados apresentados revela importantes aspectos populacionais, de densidade demográfica, atividades econômicas predominantes e a relação entre as áreas afetadas por incêndios, dentro da IUF e na totalidade dos municípios. Palmas é o município mais populoso, com 313.349 habitantes e a maior densidade demográfica de 102,5 hab./km², refletindo um perfil altamente urbanizado com predominância do setor de serviços. Em contraste, Mateiros apresenta a menor população, com 2.773 habitantes, e a densidade demográfica mais baixa, de apenas 0,2 hab./km², caracterizando-se por uma predominância rural. Os municípios de Porto Nacional e Araguaína destacam-se por suas altas taxas de urbanização, 97,7% e 95,0% respectivamente, ambos com o setor de serviços como atividade econômica principal. Por outro lado, Paranã e Arraias possuem taxas de urbanização bem mais baixas, de 45,7% e 38,5%, respectivamente, com a agropecuária como a principal atividade econômica. Essa variação nas taxas de urbanização e nos tipos de atividades econômicas influencia diretamente as estratégias de gestão territorial e de controle de incêndios, sendo fundamentais para definir abordagens específicas.

A análise comparativa das áreas afetadas por incêndios revela contrastes marcantes entre os municípios do Tocantins, tanto em termos absolutos quanto na relevância relativa das IUF. Lagoa da Confusão apresenta o maior território impactado por incêndios, totalizando 882.619 ha queimados, o que equivale a 83,49% da área total do município. Esse dado expressivo evidencia a altíssima vulnerabilidade desse território à propagação do fogo em escala regional, reforçando a associação direta com a matriz agropecuária extensiva, marcada por grandes áreas contínuas de pastagens e uso intensivo do fogo como prática de manejo. O fato de a IUF praticamente não ter registrado queimadas nesse período sugere que a pressão principal do fogo se concentra em áreas produtivas abertas, onde a presença humana se dá de forma difusa e voltada sobretudo à exploração rural, e não nas interfaces urbano-florestais.

Em contraposição, Palmas se destaca por registrar a maior área queimada dentro da IUF, com 3.450,62 ha, correspondentes a 4,76% do total queimado no município. Ainda que esse percentual seja modesto diante da magnitude observada em municípios agropecuários, ele revela que a capital concentra um risco diferenciado: as queimadas ocorrem precisamente nas bordas urbanas, onde a interação entre a vegetação remanescente e a ocupação urbana potencializa os impactos sobre a população e a infraestrutura. Esse cenário torna Palmas um caso emblemático para políticas de microgestão da IUF, já que a extensão relativamente restrita da interface não reduz a severidade de seus efeitos sobre o espaço urbano.

Em contraste, Mateiros não apresentou registros de incêndios dentro da IUF no período analisado, mantendo-se com 0,00 ha queimados na interface. Esse resultado pode indicar menor pressão antrópica direta sobre a borda urbana, reflexo de um município com baixa densidade populacional e menor adensamento urbano. No entanto, a ausência de registros não elimina a necessidade de atenção, uma vez que a proximidade com áreas de elevada suscetibilidade, como o Parque Nacional do Jalapão, implica riscos potenciais de fogo que, embora não tenham se manifestado na interface no período estudado, permanecem latentes.

Outro aspecto relevante refere-se à frequência dos eventos. Goiatins apresentou o maior número de ocorrências, com 2.345 registros, seguido por Lagoa da Confusão, com 2.048 eventos. Esses números, mesmo quando associados a áreas queimadas menores em termos proporcionais, revelam uma dinâmica de ignições recorrentes, frequentemente ligadas a práticas de manejo agropecuário ou a fatores ambientais que favorecem a multiplicidade de focos. A alta frequência, quando associada à extensão territorial, como no caso de Lagoa da Confusão, reforça o duplo desafio enfrentado: de um lado, a necessidade de políticas estruturais para o manejo do solo em escala regional; de outro, a urgência de mecanismos de monitoramento e resposta rápida que possam lidar com a repetição de focos ao longo de cada estação seca.

Assim, a comparação entre esses municípios ilustra diferentes “arquétipos” de risco: Lagoa da Confusão representa o perfil de impacto territorial massivo, porém pouco concentrado na IUF; Palmas exemplifica o perfil de risco localizado na interface urbano-florestal, com efeitos diretos sobre a população; Mateiros reflete o perfil de baixa pressão atual sobre a IUF, mas risco latente pela vizinhança com áreas protegidas; e Goiatins, por sua vez, destaca-se como território de alta frequência de ignições, ainda que com áreas proporcionais mais modestas, exigindo estratégias de monitoramento contínuo. Essa diversidade reforça a necessidade de políticas públicas adaptadas a diferentes contextos municipais, reconhecendo que o risco de incêndios na IUF não se traduz apenas em termos de área queimada, mas também em padrões de frequência, localização e vulnerabilidade social.

Observa-se que os municípios com maior grau de urbanização concentram proporcionalmente mais queimadas dentro de suas áreas de IUF, ainda que a extensão territorial dessas interfaces seja relativamente pequena. Gurupi (7,83%), Paraíso do Tocantins (5,45%) e Palmas (4,76%) ilustram esse padrão, em que a borda urbana desempenha papel central na dinâmica do fogo. Nesses casos, o fogo não se espalha por vastas áreas agrícolas, mas se manifesta de maneira concentrada nas franjas entre a cidade e a vegetação, onde a presença de combustíveis finos, resíduos urbanos, loteamentos irregulares e fragmentos florestais próximos à ocupação humana ampliam o risco. O dado ganha ainda mais relevância quando se considera que a “Área Total (%)” da IUF em relação ao município é bastante limitada (ex.: apenas 2,64% em Gurupi e 2,62% em Paraíso). Em outras palavras, mesmo ocupando uma fração reduzida do território, a interface urbano-florestal se torna desproporcionalmente significativa no contexto do fogo, revelando vulnerabilidade social direta e necessidade de microgestão intensiva.

Já em municípios de baixa densidade populacional e com economia centrada na agropecuária extensiva, como Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia, a situação se inverte. Nessas localidades, o fogo abrange áreas imensas do território (Lagoa da Confusão com 882.619 ha queimados, equivalendo a 83,49% do município), mas a IUF quase não participa desse total ($\approx 0\%$). O padrão indica que a dinâmica do fogo nesses municípios se conecta menos às interfaces com áreas urbanizadas e mais à lógica produtiva rural, marcada pelo uso sistemático do fogo como ferramenta de manejo de pastagens e abertura de áreas. Nessas condições, a pressão sobre a IUF é mínima, mas a magnitude do fogo em áreas contínuas representa uma ameaça de caráter regional, com repercussões ambientais amplas, como perda de biodiversidade, degradação de solos e emissão de carbono.

Esses contrastes evidenciam a existência de “arquétipos” distintos de risco. Nos centros urbanos, o risco está concentrado e altamente associado à vulnerabilidade social, dado que pequenas proporções de queima na IUF podem afetar diretamente populações numerosas. Já nos municípios agropecuários, o risco é difuso e ambientalmente massivo, afetando vastas extensões territoriais, mas com menor repercussão direta sobre a infraestrutura urbana. Essa distinção sugere que a gestão do fogo no Tocantins deve ser calibrada de acordo com o perfil de cada território: nos polos urbanos, priorizar estratégias de prevenção localizada e gestão de faixas críticas de interface; nos polos agropecuários extensivos, adotar políticas estruturais voltadas ao manejo rural sustentável, incentivo a alternativas ao uso do fogo e monitoramento sistemático de áreas abertas.

Portanto, a leitura integrada dos dados não apenas confirma que os fatores demográficos e econômicos influenciam diretamente a proporção de queimadas na IUF, mas também reforça que a vulnerabilidade deve ser entendida em duas dimensões complementares: a vulnerabilidade social concentrada (quando incêndios atingem a IUF em municípios densamente urbanizados) e a vulnerabilidade ambiental difusa (quando incêndios atingem maciçamente áreas agropecuárias em municípios rurais). Essa diferenciação é fundamental para orientar políticas públicas específicas, evitando a aplicação de soluções homogêneas em realidades profundamente distintas (Tabela 166).

Tabela 166 – Resumo informações municípios

Municípios	Informações Municípios					Dados Interface Urbano Florestal - IUF			Dados Municípios		Área: IUF x Município	
	População (und)	Densidade Demográfica (hab./km²)	Taxa de Urbanização (%)	Sector Económico Principal	Área Total (km²)	Área Total (ha)	Área Incêndios (ha)	Quantidade (unit)	Área Incêndios (ha)	Quantidade (unit)	Area de Incêndios (%)	Area Total (%)
Palmas	313.349	102,5	97,1	Serviços	2.218	15.214,14	3.450,62	376	72.564,91	840	4,76	6,86
Araguaína	186.245	37,6	95,0	Serviços	4.000	7.612,17	572,93	109	34.679,65	285	1,65	1,90
Gurupi	88.428	41,6	97,7	Serviços	1.839	4.850,70	278,92	46	3.562,81	109	7,83	2,64
Porto Nacional	53.618	11,1	86,3	Serviços	4.531	7.835,93	1.521,08	213	90.614,4	1105	1,68	1,73
Paraíso do Tocantins	52.521	34,4	95,6	Serviços e Comércio	1.292	3.391,45	244,27	57	4.483,26	141	5,45	2,62
Lagoa da Confusão	13.989	1,0	62,0	Agropecuária	10.563	1.517,45	27,18	6	882.619,0	2048	0,00	0,14
Formoso do Araguaia	18.358	1,4	72,4	Agropecuária	13.432	1.151,12	12,34	4	64.7061,0	1651	0,00	0,09
Paranã	10.426	0,9	45,7	Agropecuária	11.217	700,10	109,52	12	457.618,7	1190	0,02	0,06
Pium	7.830	0,7	56,5	Agropecuária	10.004	346,60	17,85	4	444.379,5	890	0,00	0,03
Goiatins	13.169	1,9	41,0	Serviços	6.415	495,91	35,04	9	300.163,4	2345	0,01	0,08
Lizarda	3.727	0,7	69,3	Serviços	5.717	233,09	6,51	3	300.064,3	1539	0,00	0,04
Mateiros	2.773	0,2	63,7	Agropecuária	9.589	171,36	0,00	0	292.226,1	1194	0,00	0,02
Rio Sono	6.498	1,0	38,5	Serviços	6.346	302,10	5,71	3	264.099,3	1270	0,00	0,05
Arraias	10.502	4,6	65,9	Agropecuária	5.803	745,75	100,27	16	197.941,8	878	0,05	0,13
Tocantínia	7.688	2,6	43,9	Serviços	2.610	419,17	25,78	11	194.199,7	1209	0,01	0,16
Ponte Alta do Tocantins	3.727	0,7	69,3	Agropecuária	6.543	455,33	10,80	4	191.879,6	1061	0,01	0,07
Almas	6.905	1,9	79,2	Agropecuária	4.007	744,87	72,15	14	159.437,7	830	0,05	0,19
Conceição do Tocantins	4.070	1,7	69,6	Serviços	2.531	252,09	36,2	7	144.879,4	552	0,02	0,10
Monte do Carmo	8.182	1,9	42,9	Agropecuária	3.601	355,58	3,96	2	130.505,2	763	0,00	0,10

A análise dos dados de probabilidade de ocorrência de incêndios (Tabela 167) revela que diferentes padrões de risco se repetem em grupos de municípios, com valores de ROC consistentemente acima de 0,50, o que indica confiabilidade razoável nos modelos utilizados. Em locais como Paraíso do Tocantins, Pium, Goiatins, Lizarda, Conceição do Tocantins (ROC entre 0,52 e 0,60) e Monte do Carmo (ROC 0,56–0,61), os incêndios médios apresentam probabilidade mais elevada junto à interface e declinam com a distância, enquanto os pequenos aumentam nas franjas mais afastadas e os grandes tendem a diminuir. Essa configuração, considerada o arquétipo mais clássico de IUF, sugere que o fogo de médio porte é alimentado pela interação entre usos humanos e vegetação nas áreas de transição, enquanto pequenos focos proliferam em áreas periféricas menos controladas.

Já em cidades com forte borda urbana, como Palmas, Araguaína e Porto Nacional, os modelos também apresentam ROC satisfatórios (0,52–0,57), reforçando a validade dos resultados. Nesses municípios, observa-se que os incêndios pequenos se concentram próximos à interface e diminuem com o afastamento — em Palmas, com 47,78% de probabilidade (ROC 0,55); em Araguaína, 30,26% (ROC 0,49); e em Porto Nacional, 40,92% (ROC 0,54). Esse comportamento é compatível com ignições antrópicas e combustíveis finos presentes junto ao tecido urbano. Em Palmas e Porto Nacional, os incêndios grandes, ao contrário, aumentam com a distância (13,86% e 18,56%, respectivamente), evidenciando risco maior nas franjas externas, onde o manejo é menos intensivo.

Outros perfis chamam atenção. Em Paranã (ROC 0,60–0,65), a probabilidade de incêndios grandes é de 46,38%, acompanhada por uma elevada ocorrência de médios (51,49%), ambos em declínio com a distância. Entretanto, os pequenos, com apenas 11,09%, mostram tendência de aumento ao se afastar da interface — um comportamento singular que pode estar associado à dispersão de ignições em áreas rurais. Em Lagoa da Confusão (ROC 0,51–0,67), os incêndios grandes também apresentam probabilidade muito alta (44,90%) e declinam com a distância, seguidos de médios relativamente estáveis (35,51%) e pequenos em crescimento (25,43%), padrão que concentra risco elevado na interface, mas mantém potencial de propagação para áreas mais afastadas.

Por fim, em municípios como Formoso do Araguaia, Arraias, Rio Sono e Tocantínia, observa-se relativa estabilidade nas curvas (ROC entre 0,50 e 0,59), em que a distância não altera significativamente as probabilidades de diferentes tamanhos de incêndios. Nesses casos, embora os modelos confirmem sua validade estatística, o gradiente espacial em relação à IUF não é o fator determinante. Assim, o manejo deve priorizar variáveis locais — relevo, vento, acessos, uso do solo e continuidade da vegetação — como condicionantes centrais da dinâmica do fogo.

Tabela 167 – Probabilidade de incêndios nas IUF no período de 2020 a 2023.

Municípios	Incêndios Grandes			Incêndios Médios			Incêndios Pequenos		
	ROC	Prob. (%)	Curva ao se afastar da IUF	ROC	Prob. (%)	Curva ao se afastar da IUF	ROC	Prob. (%)	Curva ao se afastar da IUF
Palmas	0,56	13,86	↑	0,53	38,42	↑	0,55	47,78	↓
Araguaína	0,57	30,15	↓	0,55	40,17	↑	0,49	30,26	↓
Gurupi	0,51	28,60	↓	0,57	43,99	↓	0,58	27,80	↑
Porto Nacional	0,54	18,56	↑	0,52	40,66	↑	0,54	40,92	↓
Paraíso do Tocantins	0,52	15,21	↓	0,52	48,03	↓	0,53	37,12	↑
Lagoa da Confusão	0,67	44,90	↓	0,51	35,51	↔	0,61	25,43	↑
Formoso do Araguaia	0,52	20,37	↔	0,52	33,49	↑	0,50	46,25	↔
Paraná	0,60	46,38	↓	0,56	51,49	↓	0,65	11,09	↑
Pium	0,61	31,68	↓	0,59	46,95	↓	0,65	24,19	↑
Goiatins	0,57	17,64	↓	0,57	45,66	↓	0,59	37,95	↑
Lizarda	0,55	21,80	↓	0,59	43,49	↓	0,61	36,37	↑
Mateiros	0,53	28,68	↓	0,57	27,03	↑	0,55	45,29	↓
Rio Sono	0,51	19,28	↔	0,53	44,27	↓	0,54	36,74	↑
Arraias	0,52	19,53	↔	0,51	41,29	↔	0,52	39,33	↓
Tocantínia	0,58	9,94	↑	0,53	40,51	↓	0,51	50,48	↔
Ponte Alta do Tocantins	0,54	17,57	↑	0,55	52,15	↓	0,52	31,31	↑
Almas	0,57	9,87	↓	0,50	40,12	↔	0,54	50,88	↑
Conceição do Tocantins	0,52	30,25	↓	0,57	57,28	↓	0,60	15,57	↑
Monte do Carmo	0,57	37,59	↓	0,56	49,89	↓	0,61	17,05	↑

A tipologia do uso do solo nas áreas de IUF queimadas (Tabela 168) ajuda a compreender esses padrões. Municípios como Gurupi, Pium, Goiatins, Monte do Carmo e Almas apresentaram mais de 60% das queimadas associadas a áreas agropecuárias, o que reforça a relação entre atividades rurais e o aumento da probabilidade de incêndios pequenos nas franjas, mais afastados da interface. Por outro lado, municípios como Rio Sono, Ponte Alta, Conceição, Arraias e Palmas tiveram predominância florestal nas áreas queimadas de IUF, mas com respostas distintas nas curvas de probabilidade: em alguns, pequenos aumentaram com a distância; em outros, diminuíram. Isso indica que a assinatura florestal, por si só, não determina o comportamento do fogo, sendo modulada pela interação com a matriz urbana e agropecuária. Já em Palmas e Porto Nacional, destaca-se a elevada participação de áreas não vegetadas na IUF queimada (30,80% e 34,10%), revelando forte interação entre o tecido urbano e o fogo, e corroborando o padrão de incêndios pequenos concentrados próximos à interface.

Tabela 168 – Tipologia do uso do solo nas áreas de IUF queimadas.

Municípios	Floresta		Vegetação Herbácea e Arbustiva		Agropecuária		Área Não Vegetada		Total
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)
Palmas	1.251,59	36,27	17,10	0,50	1.118,98	32,43	1062,94	30,80	3.450,62
Araguaína	142,03	24,79	1,13	0,20	264,03	46,08	165,74	28,93	572,93
Gurupi	45,02	16,14	0,33	0,12	201,92	72,39	31,65	11,35	278,92
Porto Nacional	447,81	29,44	14,48	0,95	540,07	35,51	518,72	34,10	1.521,08
Paraíso do Tocantins	80,31	32,88	3,65	1,50	111,22	45,53	49,09	20,10	244,27
Lagoa da Confusão	3,46	12,73	0,00	0,00	18,87	69,43	4,85	17,84	27,18
Formoso do Araguaia	1,00	8,10	0,14	1,13	8,03	65,07	3,17	25,69	12,34
Paranã	56,73	51,80	0,13	0,12	37,83	34,54	14,83	13,54	109,52
Pium	3,02	16,92	0,06	0,34	13,73	76,92	1,04	5,83	17,85
Goiatins	5,76	16,44	0,95	2,71	22,71	64,81	5,62	16,04	35,04
Lizarda	2,06	31,64	1,15	17,67	0,20	3,07	3,10	47,62	6,51
Mateiros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rio Sono	3,66	64,10	0,00	0,00	1,93	33,80	0,12	2,10	5,71
Arraias	45,71	45,59	0,71	0,71	40,98	40,87	12,87	12,84	100,27
Tocantínia	9,07	35,18	0,19	0,74	12,63	48,99	3,89	15,09	25,78
Ponte Alta do Tocantins	6,95	64,35	0,92	8,52	2,03	18,80	0,90	8,33	10,80
Almas	17,28	23,95	1,68	2,33	46,34	64,23	6,85	9,49	72,15
Conceição do Tocantins	22,47	62,07	0,00	0,00	7,69	21,24	6,04	16,69	36,20
Monte do Carmo	0,63	15,91	0,00	0,00	3,33	84,09	0,00	0,00	3,96

De forma integrada, os resultados mostram que a vulnerabilidade das IUFs não depende apenas da sua extensão territorial, mas da interação entre padrão de ocupação, uso do solo e a distância em relação ao núcleo urbano. Nos polos urbanos, como Gurupi, Paraíso e Palmas, a IUF respondeu por frações acima da média do total queimado municipal, variando entre 4,7% e 7,8%, indicando relevância significativa. Em Porto Nacional e Araguaína, esse peso foi menor, em torno de 1,6% a 1,7%, mas ainda presente. Em contrapartida, em municípios rurais, como Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia e Pium, a participação da IUF foi praticamente nula, embora as áreas municipais tenham registrado centenas de milhares de hectares queimados.

Os gradientes espaciais também ajudam a diferenciar perfis de risco. Municípios de borda urbana (Palmas, Araguaína, Porto Nacional) apresentam incêndios pequenos mais concentrados próximos à interface, refletindo ignições humanas, enquanto incêndios médios aumentam com a distância, e os grandes, em alguns casos, ganham força nas franjas externas. Já nos municípios com perfil agropecuário, incêndios médios concentram-se junto à IUF e declinam à medida que se afastam, ao passo que incêndios pequenos ganham força em áreas periféricas. Nos casos em que grandes incêndios são dominantes e decrescentes, como em Paranã e Lagoa da Confusão, políticas de resposta rápida são essenciais para reduzir a progressão.

Os padrões de uso do solo corroboram essa diferenciação. Nas IUFs dominadas por agropecuária, como Gurupi, Pium e Monte do Carmo, há coerência entre a predominância de queimadas nessas áreas e o aumento da probabilidade de incêndios pequenos em zonas afastadas, sinalizando ignições difusas em áreas rurais. Já IUFs com maior contribuição florestal, como Conceição, Rio Sono e Ponte Alta,

apresentam respostas variadas, mostrando que a interação entre cobertura vegetal, urbanização e matriz agropecuária é determinante.

6.22. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em conclusão, a análise da distribuição e comportamento dos incêndios no estado do Tocantins revela a complexidade e a variabilidade dos fatores que influenciam a ocorrência de queimadas em diferentes municípios. Fatores como a densidade populacional, a taxa de urbanização e as atividades econômicas predominantes se mostraram determinantes no padrão de distribuição das cicatrizes de incêndios e na sua relação com as áreas de IUF. Municípios mais urbanizados, como Palmas e Porto Nacional, concentram maior proporção de áreas queimadas no interior da IUF, refletindo a forte interação entre a ocupação urbana e a vegetação. Já regiões de vocação agropecuária, como Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia, registram extensões massivas de queimadas em escala municipal, mas a participação da IUF nesse total é mínima, sinalizando que o fogo se espalha sobretudo em áreas abertas de pastagem e lavoura. Entre esses extremos, surgem municípios de perfil intermediário, como Tocantínia, Lizarda ou Monte do Carmo, onde as IUFs são espacialmente pequenas, mas apresentam elevada exposição ao contato urbano-combustível e maior potencial de dano associado a incêndios de médio e pequeno porte, que tendem a se concentrar próximos às áreas habitadas.

Esse panorama permite identificar perfis municipais distintos: centros urbanos (Palmas, Gurupi, Paraíso, Porto Nacional, Araguaína), onde a IUF responde por frações significativas do total queimado e os incêndios pequenos e médios se concentram próximos à interface, demandando estratégias de microgestão como faixas de proteção, limpeza de combustíveis e fiscalização em loteamentos; municípios agropecuários extensivos (Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Paranã, Pium), em que os incêndios abrangem vastas extensões territoriais, mas a IUF pouco aparece nas estatísticas, sugerindo que o foco deve estar em políticas de uso do solo rural e prevenção em grandes áreas contínuas de pastagem; e municípios mistos ou estáveis (Tocantínia, Goiatins, Lizarda, Rio Sono, Arraias, Ponte Alta, Almas, Conceição do Tocantins, Monte do Carmo), que exibem valores absolutos menores, mas percentuais relativos significativos e padrões diferenciados de probabilidade. Nesses territórios, o risco concentra-se em incêndios de médio porte próximos à IUF e em eventos pequenos nas franjas mais afastadas, exigindo tanto vigilância comunitária quanto monitoramento ambiental sistemático.

Além da extensão, o uso do solo nas áreas queimadas da IUF reforça esses perfis. Em polos urbanos, como Palmas e Porto Nacional, até 30% da área queimada é composta por “área não vegetada” ou bordas urbanas, sinalizando ignições de origem antrópica associadas ao tecido urbano. Já em municípios de perfil agropecuário, como Gurupi, Pium e Monte do Carmo, a queima concentra-se em pastagens e mosaicos de uso, coerente com práticas de manejo tradicional do fogo. Nos municípios mistos, como Rio Sono, Conceição e Ponte Alta, a participação de áreas florestais na queima da IUF é maior, indicando fragilidade ecológica e necessidade de manejo diferenciado em função da continuidade da vegetação.

A avaliação dos dados reforça, assim, a necessidade de abordagens diferenciadas para o gerenciamento de incêndios, considerando as especificidades de cada perfil municipal. O uso inadequado do fogo para manejo de áreas rurais, aliado às condições ambientais propícias, como a expansão da fronteira agrícola e fatores climáticos, tem agravado a situação. As mudanças climáticas, por sua vez, tendem a intensificar secas prolongadas e ondas de calor, aumentando a probabilidade de grandes incêndios em municípios com extensas áreas de pastagem ou vegetação contínua, como Lagoa da Confusão e Paranã. Já em municípios urbanos mais populosos, como Palmas e Araguaína, os impactos tendem a se refletir não apenas no risco de incêndio, mas também em efeitos indiretos sobre a saúde pública, devido à fumaça

concentrada sobre áreas densamente habitadas. Em contrapartida, municípios mistos combinam interfaces pequenas com alta exposição ao contato urbano-combustível e menor capacidade institucional de prevenção e resposta.

Contudo, um ponto de atenção específico se encontra nas áreas de IUF, onde a proximidade entre áreas vegetadas e estruturas urbanas eleva o risco de incêndios causarem danos significativos a vidas humanas e propriedades. A falta de planejamento e de monitoramento adequado dessas áreas eleva a exposição e o potencial de dano, exigindo intervenções específicas e constantes. É importante reconhecer também algumas limitações e condicionantes dos resultados: a consolidação das cicatrizes de incêndios em shapefiles acumulados por período pode suavizar flutuações anuais e, em alguns casos, sobrepor eventos de diferentes magnitudes, o que exige cautela na leitura de padrões muito localizados. Ainda assim, a consistência dos resultados gerais confere robustez às tendências observadas.

Por fim, as disparidades socioeconômicas entre os municípios revelam que, em territórios rurais com menor infraestrutura e recursos institucionais, a capacidade de resposta ao fogo é mais limitada, elevando o risco de perdas humanas e materiais diante de eventos de maior severidade. Portanto, a implementação de estratégias de mitigação adaptadas às particularidades dos municípios tocantinenses é crucial para conter a escalada de incêndios. A combinação de ações preventivas, como o fortalecimento das práticas agrícolas sustentáveis, e uma resposta rápida e coordenada às ocorrências pode garantir a proteção dos ecossistemas e das populações locais, minimizando os impactos ambientais, econômicos e sociais das queimadas no estado.

No contexto das IUF, é necessário adotar medidas de controle mais rígidas, como a delimitação de faixas de segurança, a remoção de combustíveis vegetais em áreas críticas e a conscientização dos moradores locais sobre os riscos associados a práticas inadequadas de uso do solo. Assim, a gestão integrada das áreas de interface torna-se indispensável para mitigar os danos e promover um desenvolvimento urbano mais seguro e resiliente. Essas leituras permitem não apenas compreender as dinâmicas atuais, mas também estabelecer um direcionamento por perfis municipais — centros urbanos, fronteira agropecuária, intermediários e casos especiais.

No próximo capítulo, será apresentada uma proposta normativa que visa fornecer ao poder público diretrizes claras e eficazes para a delimitação e monitoramento das áreas de interface urbano-florestal nos municípios do estado do Tocantins. Essa normativa, elaborada com base nos dados e análises apresentados até o momento, busca integrar práticas de gestão territorial sustentável com medidas de prevenção e controle de incêndios, levando em consideração as especificidades regionais. Além disso, serão sugeridas ações concretas, como a criação de faixas de segurança, a implementação de sistemas de monitoramento contínuo e a educação ambiental direcionada às comunidades locais. Este conjunto de propostas tem como objetivo fornecer uma base sólida para políticas públicas mais efetivas, capazes de mitigar os riscos associados aos incêndios na IUF e garantir a proteção tanto dos ecossistemas quanto das áreas urbanas em expansão.

7.

O PODER PÚBLICO E A GESTÃO DO RISCO DE INCÊNDIO EM INTERFACE URBANO FLORESTAL NO TOCANTINS

7.1. REFLEXÕES INICIAIS

Este capítulo tem como objetivo propor um conjunto de ações específicas para a prevenção e gestão do risco de incêndios florestais na Interface Urbano-Florestal (IUF) no estado do Tocantins. A redação está estruturada como uma cartilha técnica aplicada, com sugestões para a definição de políticas públicas e novas legislações adaptadas ao contexto regional, fundamentadas nos resultados obtidos nesta tese.

Os resultados discutidos no Capítulo 6 demonstram uma relação direta entre a configuração espacial da IUF, as características sociais, econômicas e ambientais de cada município e a ocorrência de incêndios nesses territórios. Essa relação reforça a necessidade de um planejamento territorial integrado e contextualizado, capaz de considerar as peculiaridades locais e a crescente pressão do desenvolvimento urbano sobre áreas florestais. O estudo também evidenciou a ausência de critérios padronizados para definição da IUF, além da falta de integração entre ações preventivas e práticas de gestão ativa de combustíveis.

Além disso, persistem desafios de envolvimento das comunidades. De forma complementar, evidencia-se a necessidade de integrar tecnologias — como o sensoriamento remoto — e operacionalizar índices de perigo de incêndio calibrados ao contexto local, de modo a qualificar tanto a prevenção quanto a resposta.

Cabe ressaltar que as análises apontaram três grandes perfis municipais, com comportamentos distintos em relação aos incêndios na IUF:

- Centros urbanos, onde o peso da IUF no total queimado é expressivo;
- Municípios agropecuários extensivos, em que as queimadas são massivas em escala municipal, mas quase não atingem a IUF;
- Municípios mistos, nos quais a IUF é espacialmente pequena, mas revela maior exposição ao contato urbano-combustível e demanda capacidade local de prevenção e resposta.

Essas evidências reforçam que a gestão do risco na IUF no Tocantins não pode ser uniforme, mas deve considerar as diferentes realidades municipais, desde centros urbanos densos até territórios rurais extensivos e municípios intermediários.

7.2. PROPOSTA DE REGULAMENTAÇÃO ESPECÍFICA

Apresenta-se, a seguir, uma proposta de regulamentação estadual para o Tocantins, fundamentada na comparação de instrumentos internacionais: de um lado, o projeto de lei chileno que define e disciplina a IUF; de outro, estratégias normativas de países europeus (p.ex., Portugal e França). A proposta está estruturada em seções que tratam da delimitação da IUF, do ordenamento do uso do solo, da gestão de combustíveis e de medidas de prevenção, preparação e resposta. Numa primeira abordagem as medidas mais onerosas ao erário público devem ser concentradas na zona de IUF. Trata-se de uma zona de elevada importância não só para a segurança da população, mas também para a proteção dos bens. Com a avaliação e ajustes metodológicos, a aplicação dessas ações pode ser gradualmente expandida para outras áreas, alcançando todo o território tocantinense e suas comunidades.

Para fins desta proposta, a “designação de IUF” refere-se à faixa territorial sobre a qual incidem obrigações de prevenção, gestão de combustíveis e preparação/resposta. Prioriza-se, nesta etapa, a IUF do tipo interface (borda urbano-vegetal contígua) — a mesma delimitada no Cap. 5 pelos buffers de 200 m sobre área artificial e 200 m sobre área combustível. Para áreas do tipo intermix (ocupação dispersa imersa em combustível) e situações oclusas (continuidade efetiva interrompida por barreiras físicas relevantes), estabelecem-se diretrizes operacionais e princípios de aplicação, a serem detalhados por ato infralegal municipal/estadual sem necessidade de recomputar os resultados apresentados.

7.2.1. DESIGNAÇÃO DA ÁREA DE INTERFACE URBANO-FLORESTAL (IUF) E ENQUADRAMENTO TIPOLOGICO

Com base nos testes conduzidos no município de Palmas, descritos no Capítulo 5, o limite de 200mx200m de buffers das áreas artificiais e combustíveis foi adotado como a configuração mais adequada para definir a IUF, a imagem da IUF em relação ao município de Palmas – TO pode ser visualizada no anexo I, e a mesma IUF com mapa aproximado à zona urbana no anexo II deste trabalho. Esse limite equilibra a abrangência necessária para capturar as interações relevantes entre áreas urbanas e vegetadas, como já demonstrado no citado capítulo. A delimitação de 200x200 m mostrou-se eficaz para identificar zonas onde a interação entre a ocupação humana e a vegetação intensifica o risco de incêndios, exigindo uma gestão mais precisa e direcionada.

O limite de 200×200 m é adotado como Faixa de Gestão IUF – tipo interface no Tocantins. Essa faixa recai sobre a borda contígua entre ocupação urbana e combustível vegetal e serve de base para as obrigações de planejamento do uso do solo, gestão de combustíveis e preparação/resposta nas áreas sob maior exposição ao contato urbano-combustível.

Para efeito de aplicação regulatória, distinguem-se: (a) Interface (contígua) — faixa 200×200 m definida no Cap. 5; (b) Intermix (dispersa) — núcleos/aglomerados edificados imersos em combustível, sem borda urbana contínua; (c) Situações oclusas — trechos em que a continuidade de combustível entre o urbano e a vegetação é interrompida por barreiras físicas eficazes (ex.: vias largas pavimentadas, corpos d’água permanentes), nas quais as obrigações podem ser graduadas. Essa distinção é relevante porque cada tipologia implica diferentes padrões de exposição e demanda obrigações regulatórias graduadas.

Até a publicação dos cadastros locais de intermix e oclusas pelos municípios, aplicam-se por analogia as mesmas obrigações da Faixa de Gestão IUF – tipo interface aos aglomerados residenciais identificáveis e às linhas de urbanização (estradas vicinais/linhas de comunicação) que apresentem contato direto com combustível, priorizando escolas, postos de saúde e demais infraestruturas sensíveis.

A adoção desse limite como designação normativa clarifica o objeto da regra (a faixa sob obrigações) e permite replicação imediata, a começar pelos cinco municípios mais populosos, ao mesmo tempo em

que abre caminho para detalhamento de intermix e oclusas via atos complementares municipais/estaduais

7.2.2. USO DA TERMINOLOGIA "INCÊNDIO RURAL"

É importante destacar que a adoção da terminologia "incêndio rural" reflete uma abordagem mais abrangente e adaptada ao contexto da IUF. Essa mudança, já implementada em Portugal, permite incluir áreas agrícolas, pastagens e zonas de interface nas estratégias de prevenção e combate, ampliando o escopo das políticas públicas. No Tocantins, a adoção do termo pode facilitar a integração de práticas de gestão de combustíveis em zonas de transição, promovendo uma melhor compreensão do risco e incentivando uma abordagem mais integrada na gestão territorial.

7.2.3. PLANEJAMENTO E USO DO SOLO

Inspirado no modelo francês, é recomendado que o estado do Tocantins elabore planos locais de prevenção de riscos que classifiquem áreas propensas a incêndios e definam parâmetros para o uso do solo nessas regiões. O planejamento deve incluir zonas de amortecimento entre áreas residenciais e vegetadas, onde será obrigatória a criação de espaços de proteção (defensáveis). Espaços de proteção (defensáveis) referem-se a áreas ao redor de edificações em que a vegetação é gerida de forma a reduzir o risco de transmissão do fogo. Isso inclui a conversão e gestão de vegetação altamente inflamável, a manutenção de uma faixa gerida ao redor das construções — 0–2 m com materiais não combustíveis e sem cobertura orgânica do solo, e 2–5 m com vegetação de baixa inflamabilidade, baixa e espaçada —, além da implantação de estruturas de proteção adequadas (por exemplo, descontinuidades/ barreiras devidamente especificadas). Essas ações tornam as edificações mais seguras e menos vulneráveis a incêndios.

Os planos de prevenção e riscos devem incluir:

1. Identificação de áreas críticas dentro da IUF: Identificar locais com maior incidência de incêndios e avaliar fatores de risco, como tipos de vegetação e proximidade a áreas urbanas, realizando mapeamento de material combustível.
2. Mapeamento de infraestruturas críticas e estratégias : Determinar as infraestruturas críticas (hospitais, escolas, etc.) que precisam de proteção extra.
3. Diretrizes para o uso do solo: Estabelecer regras claras sobre a ocupação das áreas de interface, limitando construções em zonas de maior risco e incentivando a criação de espaços verdes menos inflamáveis (com atenção às espécies vegetais utilizadas, buscando sempre respeitar espécies nativas, mas priorizando aquelas com menor inflamabilidade).
4. Zonas de amortecimento: Criar faixas tampão entre áreas vegetadas e zonas urbanas, que funcionem como uma barreira física para retardar o avanço do fogo. Essas zonas devem ser estabelecidas em cooperação com as Coordenadorias Municipais de Defesa Civil (COMPDECs) e as Prefeituras, que devem fornecer informações detalhadas sobre o planejamento e a execução dessas medidas de prevenção.
5. Fiscalização e manutenção: Implementar um cronograma de fiscalização contínua para garantir a manutenção dos espaços de proteção (defensáveis) e o cumprimento das diretrizes de uso do solo, envolvendo ativamente os órgãos estaduais e municipais. A

participação da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CODEC-TO) é fundamental para garantir que as prefeituras estejam alinhadas com as políticas de prevenção, incluindo a formação e manutenção de brigadas de incêndio.

7.2.4. GESTÃO DE COMBUSTÍVEIS NA ÁREA DE INTERFACE URBANO-FLORESTAL

A gestão de combustíveis deve ser realizada dentro da área de IUF, conforme definida no Capítulo 5. Isso inclui uma abordagem ampla, baseada em intervenções seletivas e manutenção periódica, com desramação, desbaste e gestão do estrato herbáceo-arbustivo, além da recolha de materiais finos e secos (galhos, folhas e arbustos) que contribuem para a continuidade do fogo. A gestão deve ser contínua, com ênfase nas proximidades das edificações e de infraestruturas críticas. O foco é reduzir continuidade e carga de combustível, sem suprimir indiscriminadamente a cobertura vegetal.

As prefeituras municipais devem desempenhar um papel central na gestão de combustíveis. Recomenda-se que sejam regulamentados os procedimentos de fiscalização, notificação e prazos de correção, prevendo-se intervenção subsidiária do poder público em caso de incumprimento, com recuperação de custos nos termos da legislação aplicável. Como estímulo aos proprietários, poderão ser adotados instrumentos econômicos previstos em norma específica (por exemplo, redução ou isenção tributária, quando cabível) para quem implementar as medidas de gestão em áreas particulares. As atividades de gestão devem incluir:

1. Desramação, desbaste e gestão do estrato herbáceo-arbustivo: A redução seletiva da biomassa próxima às áreas residenciais é essencial para minimizar o risco de incêndio. A desramação deve ser realizada de forma estratégica para elevar a copa e reduzir a continuidade vertical de combustíveis; o desbaste diminui a densidade para quebrar a continuidade horizontal; e a gestão do estrato rasteiro por roçagem moto-manual, trituração (quando apropriado) e pastoreio dirigido promove a conversão e manutenção de coberturas de baixa inflamabilidade, evitando remoções indiscriminadas e a exposição excessiva do solo.
2. Faixa não combustível (0–2 m) e zona de gestão intensiva (2–5 m): A mitigação deve concentrar-se nos primeiros metros junto às edificações. Nos 0–2 m, adotar materiais não combustíveis (piso mineral, brita compactada), sem cobertura orgânica do solo (ex.: palhada, cavacos de madeira) e sem vegetação encostada à parede. Entre 2 e 5 m, manter vegetação de baixa inflamabilidade, baixa e espaçada, com manutenção frequente (umidade/roçagem), interrompendo a continuidade vertical (sem galhos tocando fachadas/beirais) e afastando combustíveis finos e armazenamentos (lenha, botijões, móveis). Evitam-se “zonas limpas” extensas além dessa faixa — que expõem o solo e podem aumentar o risco; o objetivo é reduzir carga e continuidade dos combustíveis sem supressão indiscriminada da cobertura do solo
3. Estabelecimento de rotinas de manutenção e responsabilidades do proprietário: A manutenção deve ser contínua, com inspeções sazonais mínimas (antes da estação seca e após eventos extremos de vento/calor), abrangendo limpeza de calhas e beirais, manejo da faixa não combustível (0–2 m) e da zona de gestão intensiva (2–5 m), desramação/desbaste conforme parâmetros técnicos e afastamento de materiais combustíveis (lenha, botijões, mobiliário). A mobilização e a capacitação da população podem ser estimuladas por campanhas e guias técnicos, como instrumentos não normativos, sem estabelecer obrigação de participação.

4. Coordenação administrativa e suporte técnico: A Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CODEC-TO) e os municípios devem (i) manter e divulgar cadastro público atualizado de brigadas/equipes credenciadas para gestão de combustíveis na IUF; (ii) publicar orientações técnicas padronizadas (roteiros para 0–2 m e 2–5 m, parâmetros de desramação/desbaste, critérios de baixa inflamabilidade); (iii) disponibilizar calendário de janelas operacionais e listas de verificação sazonais; e (iv) instituir canal formal para solicitação de apoio técnico às ações previstas nesta regulamentação..

O PNGIR em Portugal, por exemplo, recomenda reduzir o uso tradicional do fogo e promover alternativas mais sustentáveis, como a trituração de biomassa, para gerir resíduos agrícolas e florestais. Essa orientação é particularmente relevante em áreas de interface, onde o uso inadequado do fogo pode intensificar os riscos. Ao adotar métodos diferenciados, espera-se reduzir a transmissão do fogo e melhorar a integração entre o planejamento urbano e o manejo ambiental.

7.2.5. MEDIDAS DE RESPOSTA E EVACUAÇÃO

Internacionalmente, as medidas de proteção contra incêndios, como o uso de sistemas de aspersores e hidrantes próximos a casas e comunidades, têm recebido pouca atenção. No entanto, nos Estados Unidos e na Austrália, já existem normas que incluem planos de proteção com tais sistemas, enquanto nas normas europeias, como na França, esse tema ainda é pouco abordado. Apesar de ser uma medida com um custo considerável, é interessante dentro das zonas de interface e nas proximidades de estruturas básicas às comunidades (escolas, hospitais, etc) inseridas nessas zonas o uso desta medida de resposta.

Adotar um sistema de “Fique ou Saia”, semelhante ao usado na Austrália, que instrua os cidadãos sobre como agir em caso de incêndios florestais. O governo estadual deve criar um sistema de comunicação pública que alerte sobre os níveis de risco e defina protocolos de evacuação claros, inclusive disponibilizando áreas seguras para abrigos temporários.

O plano de evacuação deve ser coordenado com as autoridades locais e incluir a capacitação dos residentes para lidarem com situações de emergência. É crucial que sejam estabelecidas rotas de evacuação claras e devidamente sinalizadas, bem como a criação de pontos de encontro seguros. A utilização de tecnologia, como aplicativos móveis para notificação de riscos e mapas interativos que indiquem rotas seguras, deve ser incentivada como uma forma de garantir maior eficiência e agilidade no processo de evacuação.

A atuação conjunta das Coordenadorias Municipais de Defesa Civil (COMPDECs) e das Prefeituras é essencial para o sucesso dessas estratégias. Devem ser solicitadas informações detalhadas sobre o número de brigadistas contratados e treinados para atuar durante o ano vigente e pelo menos o subsequente, a fim de garantir que cada município tenha a infraestrutura humana necessária para responder rapidamente em casos de emergência.

Sugere-se que essas medidas sejam, em forma de projeto piloto, instaladas na área da capital Palmas – TO no que tange à serra que circunda a cidade e nos loteamentos irregulares que abrangem áreas rurais e/ou urbanas, sendo nestes loteamentos, obrigatório para a regulamentação deles, além de outras sedes municipais que o mapeamento de material combustível identifique áreas na interface que justifiquem tais medidas.

7.2.6. INCENTIVOS E PARCERIAS

Recomenda-se a criação de incentivos fiscais, como redução no IPTU para imóveis urbanos e no ITR para imóveis rurais, para proprietários que adotarem boas práticas de gestão de combustíveis em suas propriedades e a formação de parcerias público-privadas para fomentar o uso de tecnologias de monitoramento de risco. Essa proposta tem base nos modelos canadenses e franceses, onde a integração entre o setor privado e o público contribui significativamente para a eficácia das políticas preventivas.

Além dos incentivos fiscais, subsídios diretos podem ser oferecidos para a aquisição de equipamentos de prevenção, como: mangueiras, bombas de água e ferramentas adequadas para a limpeza de vegetação. Parcerias com empresas de tecnologia também devem ser exploradas para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e previsão, incluindo sensores de calor, drones e câmeras de vigilância que possam alertar as autoridades, em tempo real, sobre possíveis focos de incêndio.

Àqueles municípios que tenham Unidades de Conservação inseridas em sua IUF e-ou em seu território podem usar uma estratégia adicional, que é a atuação conjunta com o NATURATINS para garantir que ações de Manejo Integrado do Fogo (MIF) sejam implementadas nas Unidades de Conservação Estaduais, além de monitorar a aplicação dos recursos provenientes do ICMS Ecológico, verificando como esses recursos são utilizados em ações de controle e combate às queimadas. Essa integração estado-município permitirá um uso mais eficiente dos recursos financeiros e humanos disponíveis, garantindo a eficácia das políticas preventivas e de resposta.

7.2.7. FORTALECIMENTO DA GOVERNANÇA E PARTICIPAÇÃO COMUNITÁRIA NA ÁREA DE IUF

O fortalecimento da governança local é um ponto fundamental para a efetividade das políticas de prevenção de incêndios na área de IUF previamente definida. Sugerimos a criação de comitês locais e brigadas comunitárias de incêndios de gestão de incêndios específicos para as áreas de interface, formados por representantes da comunidade, autoridades públicas e especialistas técnicos. Esses comitês teriam a responsabilidade de monitorar a implementação das práticas de prevenção e garantir que as medidas adotadas sejam adequadas às necessidades específicas de cada comunidade.

Uma questão específica que deve ser discutida é a integração de políticas de uso do solo com a gestão comunitária. A governança local precisa atuar não apenas na fiscalização, mas também na criação de mecanismos que permitam a participação ativa dos moradores na manutenção das áreas de interface, garantindo que todas as partes interessadas sejam ouvidas e que as ações sejam alinhadas às peculiaridades locais. Dessa forma, a governança se torna mais democrática e eficiente, promovendo a corresponsabilidade na gestão do risco de incêndios.

Além disso, a participação comunitária deve ser fomentada através de programas de voluntariado e treinamentos regulares que capacitem os moradores para atuarem na prevenção e resposta a incêndios. A criação de brigadas comunitárias, com treinamento oferecido pelo Corpo de Bombeiros e suporte da CODEC-TO, pode ser uma forma eficaz de mobilizar recursos locais e garantir uma primeira resposta rápida em caso de emergência. Também é essencial que se monitore a assinatura dos Termos de Cooperação Técnica para garantir que os municípios estejam comprometidos com a formação e manutenção de brigadas de incêndio, assegurando que essas iniciativas tenham continuidade e eficácia no combate aos incêndios florestais.

Uma proposta adicional é a formação de brigadas de incêndio compostas por proprietários rurais, que receberiam capacitação técnica para atuar em suas regiões. Essa medida descentraliza a gestão de incêndios e garante maior capilaridade na resposta às emergências. O fortalecimento dessa estratégia é essencial, pois o Estado e os municípios, sozinhos, não conseguem alcançar todas as áreas de risco. A

integração dos proprietários rurais é, portanto, uma peça-chave para aumentar a resiliência das comunidades.

7.2.8. DIRECIONAMENTO POR PERFIS MUNICIPAIS

Com base nos resultados do Capítulo 6, torna-se evidente que a aplicação das políticas públicas deve ser diferenciada segundo os perfis municipais, a fim de aumentar a eficácia das medidas de prevenção e resposta:

- Centros urbanos (Palmas, Gurupi, Paraíso, Porto Nacional, Araguaína): a IUF responde por frações significativas do total queimado ($\approx 1,6\% - 7,8\%$), com incêndios pequenos e médios concentrando-se próximos à interface. O direcionamento deve priorizar microgestão da borda, incluindo limpeza de faixas, fiscalização de loteamentos, criação de zonas defensáveis, implantação de aspersores e hidrantes em áreas críticas, além de campanhas permanentes de conscientização urbana.
- Municípios agropecuários extensivos (Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Paranã, Pium): apresentam incêndios em grande escala territorial, mas a IUF praticamente não aparece nas estatísticas ($\approx 0\% - 0,02\%$). O foco deve estar em políticas de manejo rural, substituição gradual do uso do fogo por alternativas como trituração de biomassa, criação de zonas tampão, monitoramento remoto de focos e planos de resposta rápida para conter incêndios de grande porte.
- Municípios mistos ou estáveis (Tocantínia, Goiatins, Lizarda, Rio Sono, Arraias, Ponte Alta, Almas, Conceição do Tocantins, Monte do Carmo): exibem IUFs pequenas em termos absolutos, com maior exposição ao contato urbano-combustível e menor capacidade local de prevenção e resposta. O direcionamento deve combinar vigilância comunitária local (brigadas, campanhas e capacitação) com monitoramento ambiental sistemático, planos municipais de prevenção integrados à Defesa Civil e criação de faixas de descontinuidade de combustíveis em áreas críticas.
- Casos especiais (Mateiros): não apresentou registros de queima na IUF durante o período analisado, o que exige cautela na interpretação estatística. Aqui, o foco deve ser no monitoramento contínuo com ênfase em variáveis ambientais (acesso, vento, relevo) e na integração das estratégias de prevenção com as Unidades de Conservação da região.

7.3. CONTRIBUIÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

Os pontos abordados sugerem um aprimoramento da legislação estadual de forma a integrar a gestão de incêndios com outras áreas de planejamento urbano e rural, garantindo maior segurança para as comunidades. As propostas aqui apresentadas visam descentralizar a gestão do fogo, promovendo a participação das comunidades locais na definição de prioridades e a criação de redes colaborativas, alinhadas à realidade social e econômica do Tocantins.

Um ponto central é a necessidade de governança multinível, articulando Estado, municípios, comunidades e setor privado em uma rede cooperativa de prevenção e resposta. O alinhamento entre órgãos estaduais, prefeituras, Defesa Civil, brigadas comunitárias e parcerias privadas deve ser encarado como condição indispensável para o sucesso das medidas propostas.

7.3.1. INTEGRAÇÃO COM PLANEJAMENTO URBANO E GESTÃO DE ÁREAS DE INTERFACE

Uma contribuição importante para as políticas públicas é a integração entre o planejamento urbano e a gestão das áreas de interface urbano-florestal. Para reduzir os riscos de incêndios florestais, as cidades devem incorporar o conceito de áreas de interface planejadas, que consideram tanto a necessidade de habitação quanto a de segurança contra incêndios. É essencial que sejam definidos critérios claros para

a ocupação dessas áreas, evitando o adensamento populacional desordenado em zonas de risco e promovendo a criação de áreas de amortecimento (proteção) ao redor dos conglomerados urbanos.

A infraestrutura urbana deve ser planejada de forma integrada com as áreas de vegetação para criar barreiras naturais contra o fogo, que possam retardar a propagação dos incêndios e proteger os bairros vulneráveis. A criação de corredores ecológicos também deve ser considerada, pois esses corredores podem reduzir a fragmentação da paisagem e ao mesmo tempo atuar como barreiras ao avanço do fogo. A atuação do NATURATINS será fundamental para garantir que os proprietários de áreas vulneráveis sigam as diretrizes e que sejam responsabilizados por ações reincidentes de queima, de acordo os mapeamentos de cicatriz de queimadas disponibilizados por diversas plataformas, dentre as quais a realizada pelo MPTO.

7.3.2. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E COMUNICAÇÃO NAS ÁREAS DE INTERFACE

Políticas públicas devem focar em campanhas permanentes de educação ambiental voltadas especificamente para as áreas de interface urbano-florestal, visando a conscientização sobre os riscos de incêndios e as medidas de prevenção. Essas campanhas devem ser disseminadas por diversos meios, incluindo rádio, televisão, internet e ações educativas em escolas situadas em áreas de interface. A comunicação contínua e clara é essencial para que as comunidades se mantenham informadas e preparadas.

Além disso, programas educativos nas escolas localizadas nas áreas de interface devem incluir atividades práticas, como visitas a áreas florestais e participação em exercícios simulados de prevenção e resposta a incêndios. Tais atividades buscam formar uma cultura de prevenção desde cedo, criando gerações mais conscientes e ativas na mitigação dos riscos ambientais e, especificamente, dos riscos presentes nas interfaces urbano-florestais.

7.3.3. SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS EM ÁREAS DE ALTO RISCO EM IUF

Em áreas de interface urbano-florestal de alto risco, recomenda-se a implementação de sistemas de proteção adicionais, como aspersores e hidrantes para a proteção de residências e comunidades. Embora essa prática seja comum nos Estados Unidos e na Austrália, onde já existem normas que incluem planos de proteção contra o fogo com sistemas de aspersores e hidrantes, esse tema ainda é pouco desenvolvido na maioria dos países europeus.

A instalação de hidrantes e aspersores estrategicamente localizados em zonas de interface pode reduzir significativamente a propagação do fogo, criando uma defesa ativa em momentos críticos. A implementação dessa infraestrutura deve ser acompanhada de campanhas de conscientização e treinamentos para garantir que os moradores saibam como utilizá-la de forma eficaz.

7.4. CONTRIBUIÇÕES FINAIS

Este estudo apresenta um conjunto de medidas estratégicas voltadas à gestão de incêndios na interface urbano-florestal (IUF), organizadas em categorias que abrangem desde a prevenção até a resposta e a aplicação diferenciada por perfis municipais. A seguir, são apresentados os principais eixos de atuação, detalhados em um quadro resumo (Tabela 169) que evidencia as intervenções recomendadas em termos de legislação e políticas públicas. Esses aspectos constituem a base para um planejamento integrado e eficiente, alinhado às necessidades específicas do Tocantins.

No quadro-resumo, “crítico” = alta exposição e alta probabilidade de contato urbano-combustível + baixa capacidade local de resposta; “prioritário” = relevante, mas articulável em médio prazo; “menos

prioritário/abrangência estadual” = estratégias amplas, escalonáveis. Essa diferenciação busca orientar gestores e formuladores de políticas públicas para que concentrem recursos e esforços nas áreas em que as medidas terão maior impacto, promovendo eficiência na prevenção e no combate aos incêndios na IUF.

Tabela 169 – Quadro resumo das sugestões

Categoria	Subcategoria	Descrição	Aplicação diferenciada por perfis Municipais
Legislação	Prevenção	Definição de áreas de IUF com base em limites claros, como 200x200m buffers.	Prioritário em centros urbanos e mistos para padronização inicial.
		Planejamento do uso do solo com diretrizes claras para zonas de amortecimento e áreas críticas nas áreas de interface.	Crítico em centros urbanos; prioritário em mistos; menos prioritário em agropecuários extensivos.
		Adoção do termo “Incêndios Rurais”.	Abrangência estadual.
	Resposta	Criação de sistemas de evacuação e adoção do sistema 'Fique ou Saia', com rotas e abrigos seguros nas áreas de interface.	Crítico em centros urbanos e mistos
		Implementação de sistemas de aspersores e hidrantes em áreas de alto risco nas áreas de interface.	Prioritário em centros urbanos.
Políticas Públicas	Prevenção	Programas de educação ambiental e campanhas permanentes nas áreas de interface.	Abrangência estadual, com foco diferenciado em centros urbanos e mistos.
		Incentivos fiscais para gestão de combustíveis e parcerias público-privadas para monitoramento de risco nas áreas de interface.	Aplicável em todos os perfis, com maior impacto em agropecuários extensivos.
		Incentivos fiscais aos proprietários rurais que participarem das brigadas de incêndio.	Especialmente relevante em agropecuários e mistos.
	Resposta	Formação de brigadas comunitárias com suporte técnico e equipamentos para resposta rápida nas áreas de interface.	Relevante em todos os perfis, crítico em mistos.
		Capacitação comunitária para uso de infraestrutura de proteção e treinamentos práticos nas áreas de interface.	Prioritário em centros urbanos e mistos.

As propostas aqui descritas abrangem a regulamentação das áreas de interface, planejamento do uso do solo, gestão de combustíveis, medidas de resposta e evacuação, e incentivos fiscais e comunitários. Ao integrar políticas públicas, governança local e tecnologias inovadoras, as ações sugeridas buscam reduzir riscos, fortalecer a resiliência das comunidades e promover a sustentabilidade ambiental. A implementação integrada dessas ações fortalecerá a capacidade do Tocantins de prevenir e mitigar incêndios florestais, promovendo a segurança das comunidades e a preservação ambiental.

8. CONCLUSÕES

8.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada neste trabalho permitiu compreender de maneira mais profunda a relação entre os incêndios florestais e a IUF no Tocantins, bem como identificar as principais lacunas e desafios para uma gestão mais eficiente dessas áreas. A definição do limite de 200x200 metros para a IUF mostrou-se interessante e eficaz na delimitação das zonas de risco e na implementação de estratégias preventivas que considerem a particularidade do território tocantinense.

O estudo apresentado revela que a integração entre políticas públicas, tecnologias emergentes e participação comunitária é essencial para enfrentar os desafios impostos pelos incêndios florestais. A proposta de regulamentação específica para o Tocantins, assim como as sugestões de desenvolvimento futuro, busca contribuir com uma abordagem mais integrada e adaptativa, que valorize a governança local e a cooperação entre diferentes atores.

As experiências internacionais analisadas, como o projeto chileno, os modelos canadenses e franceses, e as práticas da Austrália e dos Estados Unidos, mostram que existem diversas abordagens possíveis para a prevenção e o combate aos incêndios, todas com potencial para serem adaptadas e aplicadas ao contexto brasileiro. No entanto, é fundamental que as soluções propostas levem em consideração as características socioeconômicas e ambientais locais, garantindo que as ações sejam sustentáveis e efetivas a longo prazo. Cabe ressaltar que a limitação desta zona não exclui a necessidade de delimitação de zonas de risco considerando outros fatores e o uso das estratégias preventivas e de resposta em todo o território, apenas aponta uma zona importante em relação às áreas urbanas e de transição, que podem servir, talvez, como limite para projetos pilotos de novas estratégias de prevenção e resposta na gestão de incêndios.

Outro aspecto que merece destaque é a necessidade de estudos futuros que avaliem a viabilidade econômica das medidas propostas. Embora esta tese não tenha apresentado estimativas financeiras detalhadas, experiências internacionais já evidenciam custos e benefícios associados a sistemas de aspersores, hidrantes e incentivos fiscais para gestão de combustíveis. Assim, pesquisas complementares devem explorar a adaptação dessas métricas ao Tocantins, fornecendo subsídios para políticas públicas financeiramente viáveis e eficientes.

Por fim, é necessário destacar a importância de um esforço contínuo de capacitação e conscientização das comunidades locais, especialmente aquelas situadas em áreas de interface, para que possam atuar de forma preventiva e colaborativa na gestão do fogo. O engajamento comunitário e a construção de um senso de responsabilidade compartilhada são elementos chave para a redução dos riscos de incêndio e para a promoção de paisagens mais resilientes.

Com base em algumas particularidades dos municípios estudados, identifica-se a necessidade de fortalecer as políticas públicas voltadas tanto para áreas indígenas quanto para as Unidades de Conservação (UCs). Esses territórios apresentam características singulares que influenciam diretamente a ocorrência de incêndios florestais. As áreas indígenas destacam-se pelo uso diferenciado do território pelas populações tradicionais, enquanto as UCs são marcadas pela restrição de uso, contribuindo para a preservação da vegetação nativa. Essas condições aumentam a exposição e a perigosidade desses territórios, dada a elevada continuidade de combustível e o acúmulo de biomassa.

Adicionalmente, é crucial aprofundar os estudos sobre como o crescimento urbano afeta essas áreas, especialmente em relação à pressão exercida sobre os limites dos territórios indígenas e das UCs. A expansão urbana pode intensificar a fragmentação dos habitats, aumentar o risco de incêndios por atividades humanas nas interfaces dessas áreas e comprometer a integridade ambiental. Muitos dos municípios identificados como os mais queimados nesta pesquisa possuem considerável território indígena e áreas de UC, reforçando a necessidade de abordagens integradas que contemplem tanto a conservação ambiental quanto a mitigação dos riscos decorrentes do avanço urbano e dos incêndios florestais.

Portanto, conclui-se que o fortalecimento da governança territorial, aliado à implementação de políticas específicas de prevenção, uso de tecnologias avançadas e participação ativa das comunidades, pode resultar em uma significativa redução dos riscos de incêndios florestais no Tocantins, promovendo um ambiente mais seguro e sustentável para todos os seus habitantes.

8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para o futuro, sugere-se a continuidade de estudos na área de prevenção de incêndios, com foco na integração de tecnologias emergentes, como o uso de drones para monitoramento de combustíveis, sistemas de alerta precoce, e sensoriamento remoto.

A metodologia apresentada nesta tese foi estruturada com base em protocolos consolidados e amplamente aceitos pela literatura científica internacional, incluindo publicações de alto impacto que empregaram abordagens semelhantes para análise de risco de incêndios e delimitação da interface urbano-florestal (IUF). A opção pela Regressão Logística univariada, fundamentada no trabalho de Modugno et al. (2016), representou uma escolha metodológica intencional e de referência. Esse modelo é amplamente reconhecido para testar relações isoladas entre uma variável preditora e um evento binário, oferecendo a clareza interpretativa necessária para responder à pergunta de pesquisa central de forma objetiva. A validação do modelo mediante a Curva ROC, já documentada nos resultados, assegura o rigor estatístico necessário.

Reconhece-se, entretanto, que a inclusão de variáveis climáticas, algoritmos de machine learning comparativos e uma validação empírica do mapa de IUF com índices como Kappa representaria camadas adicionais de complexidade e aprofundamento. Contudo, tais análises demandariam a aquisição e o processamento de novos conjuntos de dados, sob uma perspectiva temporal e espacial distinta da proposta original, configurando um novo e vasto objeto de investigação. Portanto, a metodologia aplicada, embora focada e específica, demonstra-se tecnicamente sólida e consistente, plenamente capaz de alcançar os objetivos propostos. Os desdobramentos apontam para pesquisas futuras promissoras, que poderão se apoiar nos alicerces aqui estabelecidos, ampliando o escopo preditivo e a validação operacional dos resultados alcançados.

Uma importante perspectiva futura é a aplicação de outras bases de dados à metodologia sugerida nesta tese, utilizando os limites estabelecidos para as áreas de interface. Isso inclui a integração de

informações provenientes de diferentes órgãos estaduais e federais, dados de satélites e sistemas de monitoramento locais.

Em relação à base de dados do MPTO para as cicatrizes de queimadas, apesar das vantagens destacadas, é importante reconhecer limitações inerentes devido a não disponibilização de métricas formais de acurácia, como matriz de confusão, índices Kappa ou estimativas de precisão do usuário e do produtor. A validação empregada é predominantemente visual, realizada pela equipe técnica mediante conferência de cada polígono identificado, o que assegura confiabilidade prática e aumenta a precisão temática em relação a métodos automatizados, mas carece de uma quantificação estatística padronizada. Essa ausência de métricas não compromete o valor informativo da base, mas limita a possibilidade de comparações sistemáticas em nível nacional e internacional. Esse processo, embora qualitativo, reduz erros grosseiros em áreas críticas, como a interface urbano-florestal, onde a heterogeneidade espacial tende a comprometer classificações puramente automatizadas.

Essa lacuna, entretanto, abre espaço para que esta tese recomende, como contribuição prática, o desenvolvimento de relatórios técnicos periódicos e a incorporação gradual de métricas estatísticas de acurácia. Diante disso, sugere-se que futuros trabalhos estabeleçam parcerias institucionais entre o MPTO, centros de pesquisa e órgãos técnicos, a fim de implementar protocolos de validação contínua. Isso incluiria a coleta de pontos de referência em campo, o uso de imagens de altíssima resolução para controle, a aplicação de métricas estatísticas de acurácia e a publicação periódica de relatórios técnicos. Essa integração entre órgãos de controle, comunidade científica e sociedade civil poderia consolidar uma base de dados ainda mais sólida, com alto rigor técnico e grande aplicabilidade prática.

Outra questão relevante é a análise dos impactos dos incêndios em áreas indígenas e suas proximidades com conglomerados urbanos, considerando as particularidades dessas populações e a necessidade de estratégias específicas de prevenção e combate aos incêndios nos municípios onde essas áreas estão inseridas.

O desenvolvimento de tecnologias específicas para o monitoramento e controle dos incêndios florestais deve ser uma prioridade. Recomenda-se a implementação de redes de sensores distribuídos pelas áreas de risco, capazes de detectar aumentos de temperatura e mudanças nas condições atmosféricas que possam indicar o início de um incêndio. Esses sensores, integrados a uma plataforma central de análise de dados, podem fornecer informações em tempo real para as autoridades responsáveis, permitindo uma resposta mais rápida e precisa.

Além disso, o uso de drones para o mapeamento das áreas afetadas e a avaliação da eficácia das medidas preventivas adotadas deve ser expandido. Drones equipados com câmeras térmicas podem identificar pontos quentes e facilitar a atuação das brigadas de incêndio, proporcionando uma visão detalhada e em tempo real das áreas críticas.

É essencial aprofundar as investigações sobre o impacto das mudanças climáticas na frequência e intensidade dos incêndios florestais. Recomenda-se o desenvolvimento de modelos preditivos que possam integrar dados climáticos e condições locais de vegetação para prever áreas de maior risco. Essas informações são cruciais para adaptar políticas de prevenção e aumentar a resiliência das comunidades locais. Importante será ainda criar estratégias de adaptação ao novo cenário climático, incluindo a seleção de espécies vegetais menos inflamáveis para áreas de interface e a criação de espaços de amortecimento com vegetação resistente ao fogo.

Adicionalmente, recomenda-se que futuros estudos incorporem análises de custo-benefício, considerando tanto medidas estruturais (como aspersores e hidrantes) quanto incentivos econômicos (isenções fiscais, fundos de prevenção, parcerias público-privadas). Essa dimensão financeira é

fundamental para transformar recomendações em políticas efetivas, evitando que as propostas fiquem restritas ao plano normativo.

O fortalecimento da colaboração entre instituições de pesquisa, agências governamentais e comunidades locais é uma necessidade contínua para o avanço da prevenção e combate aos incêndios. Uma perspectiva relevante é a criação de bases de dados integradas, que possam ser compartilhadas por diferentes atores envolvidos no manejo do fogo. Essa base deve incluir dados de queimadas, condições climáticas, mapeamento de combustíveis e informações sobre áreas vulneráveis.

A integração de informações também permitirá o desenvolvimento de ferramentas de suporte à decisão mais precisas, possibilitando que as autoridades locais façam um planejamento mais eficaz e direcionado, com a aplicação de recursos em áreas onde o risco de incêndios é maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AHMED, I.; LEDGER, K. (2023) *Lessons from the 2019/2020 'Black Summer Bushfires' in Australia*. International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 96, out. 2023.
- [2] AHRENS, S. (2005) *O Código Florestal Brasileiro e o Uso da Terra: Histórico, Fundamentos e Perspectiva: Uma Síntese Introdutória*. Colombo: Embrapa Florestas, 2005.
- [3] AHRENS, SÉRGIO. (2003) *O “novo” código florestal brasileiro: Conceitos jurídicos fundamentais*. In: Congresso Florestal Brasileiro, 8., 25 a 28 ago. 2003. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.
- [4] ALEXANDRIAN, D. (2008) *Les statistiques “feux de forêt” de ces trente dernières années. Forêt Méditerranéenne*, 2008, XXIX (4), pp.377-384.
- [5] ANDERSON, LIANA OIGHENSTEIN et al. (2019) *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, n. 26 (I), p. 43-61, 2019.
- [6] ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x.
- [7] ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, v. 38, n. 1, p. 5-22, 2006. DOI: 10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x
- [8] ANTUNES, PAULO DE BESSA. (2017). *Direito Ambiental*. 19. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- [9] ANTUNES, PAULO DE BESSA. (2019) *Direito ambiental*. 20. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- [10] ASCOLI, D., FERLAZZO, S., MARCHETTI, M., MOTTA, R., POMPEI, E., E STEFANI, A. (2022). *The National Forestry Strategy of Italy and the forest fire governance*. Forest@ - Revista Di Silvicultura Ed Ecologia Forestale, 19(2), 31–35. <https://doi.org/10.3832/efor4093-019>. 2022.
- [11] ASSEMBLEIA DA REPÚBLICA PORTUGUESA. (2004) *Decreto Lei n. 156/2004 30 de Junho*, Diário da república I Série-A. 3968–3975, 2004.
- [12] BADIA, A., SERRA, P., MODUGNO, S. (2011) *Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas*. Appl. Geogr., 31 (3), 2011, pp. 930-940.
- [13] BARDALES, R.; BORON, V.; VIANA, D. F. P.; SOUSA, L. L.; DRÖGE, E.; PORFIRIO, G.; JARAMILLO, M.; PAYÁN, E.; SILLERO-ZUBIRI, C.; HYDE, M. (2024) *Neotropical mammal responses to megafires in the Brazilian Pantanal*. Global Change Biology, v. 30, n. 3, p. 715–731, 2024. DOI: 10.1111/gcb.17278.
- [14] BARIÉ, C. G.; ZUAZO, M. (2022) *Plurinational state and ecological conscience in Bolivia: The case of the 2019 forest fires*. Estudios Latinoamericanos y del Caribe, n. 114, p. 89–114, 2022.
- [15] BARRADAS, A.C., BORGES, M.A., COSTA, M.M., RIBEIRO, K.T. (2020). *Paradigmas da Gestão do Fogo em Áreas Protegidas no Mundo e o Caso da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins*. 2020.
- [16] BARRADAS, ANA CAROLINA SENA. (2017) *A Gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins* – Rio de Janeiro, 2017. xii, 123 f. : il. 28cm.

- [17] BATISTA, A. C., BIONDI, D., MARTINI, A. (2021) *Flammability of ornamental species for fire management in wildland-urban interface*. 2021. Brasil (Paraná).
- [18] BATTESTI, A. (1997) *Vulcain ou l’histoire d’une tentative pour commencer à changer les choses dans le système ”Feux de Forêts”, par la transparence et la convivialité*. Forêt Méditerranéenne, 1997, XVIII (2), pp.143-145.
- [19] BENJAMIN, ANTÔNIO HERMAN. (1991) *A eficácia do direito ambiental*. 1991.
- [20] BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A. (2020) *Wildfires in the wildland-urban interface: Key concepts and evaluation methodologies*. Science of The Total Environment, Volume 707, 2020, 135592, ISSN 0048-9697.
- [21] BORGES, SÍLVIA LAINE, et al. (2016) *Manejo do Fogo em Veredas: Novas perspectivas a partir dos sistemas agrícolas tradicionais no Jalapão*. Ambiente & Sociedade, v. 19, n. 3, p. 269-294, 2016.
- [22] BRASIL, (1934) *Decreto n.º 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Código Florestal (revogado)*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793.htm>.
- [23] BRASIL, (1965) *Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Código Florestal (revogado)*. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4771-15-setembro-1965-369026-publicacaooriginal-1-pl.html>>.
- [24] BRASIL, (1981) *Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm.
- [25] BRASIL, (1989) *Lei n.º 7.735, de 22 de fevereiro de 1989. Cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 fev. 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7735.htm.
- [26] BRASIL, (1990) *Decreto n.º 99.274, de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jun. 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D99274.htm.
- [27] BRASIL, (1992) *Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Princípio 15. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio 92*, Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <https://www.un.org/pt/universal-declaration-on-biodiversity/>.
- [28] BRASIL, (1998) *Decreto n.º 2.661, de 8 de julho de 1998. Cria o Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais – Prevfogo, no âmbito do IBAMA*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jul. 1998b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2661.htm.
- [29] BRASIL, (1998) *Decreto n.º 2.662, de 8 de julho de 1998. Institui o Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal – PROARCO*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jul. 1998a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2662.htm.
- [30] BRASIL, (1998) *Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente*. Diário Oficial da

- União, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm.
- [31] BRASIL, (2000) *Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 274, de 29 de novembro de 2000*. Define os critérios de qualidade das águas destinadas à balneabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 jan. 2001, Seção 1, p. 70. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/resolucoes-do-conama/resolucao-conama-no-274-de-2000>.
- [32] BRASIL, (2000) *Lei No 9.985, De 18 De Julho De 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm.
- [33] BRASIL, (2008) *Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências*. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=583>.
- [34] BRASIL, (2008) *Plano Amazônia Sustentável (PAS). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008*. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/florestas/controle-e-prevencao-do-desmatamento/plano-amazonia-sustentavel-pas.html>.
- [35] BRASIL, (2012) *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Novo Código Florestal*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm.
- [36] BRASIL, (2012) *Medida Provisória de n. 571, de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que 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*. Disponível em: <https://www.congressonacional.leg.br/materias/medidas-provisorias/-/mpv/105799>.
- [37] BRASIL. (2015) *Decreto nº 8.447, de 6 de maio de 2015*. Institui o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 maio 2015.
- [38] BRASIL, (2020) *Portaria Conjunta nº 1, de 6 de outubro de 2020*. Dispõe sobre a regularização fundiária das ocupações incidentes em terras situadas em áreas da União e altera procedimentos relacionados ao Cadastro Ambiental Rural. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 6 out. 2020.
- [39] BRASIL, (2021). *Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021*. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), para dispor sobre as Áreas de Preservação Permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 dez. 2021.
- [40] BRASIL, (2025) *Sobre o IBAMA*. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/sobre-o-ibama#identidade>. 2025.
- [41] BRASIL, CÂMARA DE DEPUTADOS (1999) *Projeto de Lei 1876/1999*. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=17338>.
- [42] BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (1986). *Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto*

- ambiental*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 2548-2549, 17 fev. 1986. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>.
- [43] BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (1997) *Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o licenciamento ambiental*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 30841-30843, 22 dez. 1997. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0237-191297.PDF>.
- [44] BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2011) *Moção nº 117, de 2011. Recomenda ao Ministério do Meio Ambiente o uso do termo "floresta" apenas para formações florestais*. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=117.
- [45] BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2011) *Proposição nº 003, de 2011. Propõe ao Senado Federal a promoção de um amplo debate público sobre o Projeto de Lei do Código Florestal aprovado na Câmara dos Deputados*. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=003.
- [46] BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2013) *Recomendação nº 016, de 2013. Recomenda a aprovação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)*. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=016.
- [47] BRASIL, CONSTITUIÇÃO (1988) *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>.
- [48] BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2018) *Biodiversidade Brasileira*, 2018. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira>>.
- [49] BUSYGINA, I. (2012) *Threats to critical infrastructure and state responses: the case of 2010 forest fires in Russia*. Russian critical infrastructures: Vulnerabilities and policies, p. 57-78, 2012.
- [50] BUTT, E. W. et al. (2021) *Large Air Quality and Public Health Impacts due to Amazonian Deforestation Fires in 2019*. GeoHealth, v. 5, n. 7, 26 jul. 2021.
- [51] CANCIO, A. K.; et al. *The impacts of fire use in the Brazilian Amazon: a bibliometric analysis*. International Journal of Wildland Fire, v. 34, WF24182, 2025. doi:10.1071/WF24182.
- [52] CARNEIRO, B. M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; EVANGELISTA, B. A.; CARVALHO, O. L. F. *Exploiting Legal Reserve Compensation as a Mechanism for Unlawful Deforestation in the Brazilian Cerrado Biome*, 2012–2022. Sustainability, v. 16, n. 19, p. 9557, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16219557>
- [53] CARVALHO, A. S., MARQUES, S., ROSÁRIO, F. (2018) *Gone with the Fire: How Family Physicians in Central Portugal Experienced the Aftermath of the Great Fire of October 15, 2017*. Acta Med Port., p. 7-8, 2018.
- [54] CARVALHO, EDMAR VINÍCIUS DE; et al. (2017) *Caracterização de Áreas Queimadas no Estado do Tocantins no Ano de 2014*; FLORESTA, Curitiba, PR, v. 47, n. 3, p. 269 - 278, jul. / set. 2017. Disponível em: < <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/50353/33611>>.
- [55] CARVALHO, EDMAR VINÍCIUS; et al. (2019) *Evolução do setor Florestal no Tocantins*. Revista de Política Agrícola; ano XXVIII, n. 1, jan/mar 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Micael_Santos6/publication/337494602_Evolution_of_the_forest_sector_in_the_state_of_Tocantins_Brazil_Evolucao_do_setor_florestal_no_Tocantins/lin

- ks/5ddbcfd4a6fdccdb44632cfd/Evolution-of-the-forest-sector-in-the-state-of-Tocantins-Brazil-Evolucao-do-setor-florestal-no-Tocantins.pdf?origin=publication_detail>.
- [56] CASTILLO S., M. (2016) *Instituciones en Chile para la defensa contra incendios de interfaz urbano-florestal*. Territorium, n. 23, p. 215–221, 9 nov. 2016.
- [57] CASTILLO S., M.; SAAVEDRA S., J.; BRULL B., J. (2019) *Fire severity in mega wildfires in Chile in 2017: actions to improve the protection system*. Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança, n. 26 (I), p. 5–18, 2019.
- [58] CASTILLO, S. M., CORREA, L. J. (2014). *Tragedia de un incendio anunciado: El caso de Valparaíso, Chile central*. Revista CIS Nº 21, p. 118-137, 2014.
- [59] CHAS-AMIL, M. L., TOUZA, J., GARCÍA-MARTÍNEZ, E. (2013) *Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts Appl. Geogr.*, 43 (2013), pp. 127-137.
- [60] CHESTER, L. (2020) *The 2019–2020 Australian bushfires: a potent mix of climate change, problematisation, indigenous disregard, a fractured federation, volunteerism, social media, and more*. Review of Evolutionary Political Economy, v. 1, n. 2, p. 245–264, 11 ago. 2020.
- [61] CHUBAROVA, N., NEZVAL, Y., SVIRIDENKOV, I., SMIRNOV, A., SLUTSKER, I. (2012) *Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010*. Atmospheric Measurement Technique, p. 557, 2012.
- [62] CLAUDE, M., ROCA, A. O. (2016) *Mega incendio en Valparaíso: percepción de las familias afectadas, acerca de las soluciones habitacionales proyectadas por organismos estatales y autogestionados*. Revista CIS Nº21, p. 118-137, 2016.
- [63] COHEN, J. D. (2000) *What Is the Wildland Fire Threat to Homes?* Thompson Memorial Lecture School of Forestry, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ, 2000.
- [64] COMFORT, L. K. et al. (2021) *Collective Action in Communities Exposed to Recurring Hazards: The Camp Fire, Butte County, California, November 8, 2018*. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, v. 11, n. 4, p. 1678, 30 ago. 2021.
- [65] CORREA, L. DE P. DE A.; CORREA, R. S. (2020) *Queimadas na Amazônia em 2019: uma análise sob o aspecto do direito internacional público ambiental*. Cadernos Eletrônicos Direito Internacional sem Fronteiras, v. 2, n. 2, p. e20200222, set. 2020.
- [66] CORREA, NORMA ELENA REYNOSA. (2017) *Avaliação de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais no estado do Tocantins em 2015*. 2017.42f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Gurupi, 2017.
- [67] COXIR, S. A., LOPES, A. D., SILVA, A. D., PENNA, M. F. (2014). *Study of the regulations of assisted human reproduction in Brazil, Argentina, Chile and Uruguay*. Reprodução & Climatério, (January-April de 2014). 29, pp. 27-31. doi:https://doi.org/10.1016/j.recli.2014.07.001. 2014.
- [68] CURT, T., E FREJAVILLE, T. (2018). *Wildfire Policy in Mediterranean France: How Far is it Efficient and Sustainable?* Risk Analysis, 38(3), 472–488. https://doi.org/10.1111/risa.12855. 2018.

- [69] DA COSTA, C. R., AJALA, G. R., JÚNIOR, S. Á., DE OLIVEIRA, M. B., MILLER, C. P. (2016). *Estudo Comparativo da Utilização da ABNT NBR 15200: 2012 e da ABNT NBR 6118: 2014*. REINPEC-Revista Interdisciplinar Pensamento Científic, 2. 2016.
- [70] DAVID M. DIEZ; CHRISTOPHER D. BARR; MINE ÇETINKAYA-RUNDEL. (2015) *OpenIntro Statistics*. 3rd. ed. [s.l.] OpenIntro, 2015.
- [71] DE AZEVEDO, S. C., SINGH, R. P., DA SILVA SR, E. A. (2016). *Warm Dry Weather Conditions Cause of 2016 Fort McMurray Wild Forest Fire and Associated Air Quality*. AGUFM, GC51E-1220, 2016.
- [72] DE OLIVEIRA, E. et al. (2023) *The Use of Vegetation Fire in Portugal: Historical Legislative and Normative Analysis*. Environment and History, p. 1–25, 21 nov. 2023.
- [73] DEPARTMENT OF CIVIL PROTECTION. Manuale operativo per la predisposizione de un piano comunale o intercomunale di protezione civile. Italy: Protezione Civile, 2007. Disponível em: <https://www.protezionecivile.gov.it>.
- [74] DEPIETRI, Y., ORENSTEIN, D. E. (2020). *Managing fire risk at the wildland-urban interface requires reconciliation of tradeoffs between regulating and cultural ecosystem services*. In Fire Ecology (Vol. 16, No. 1). DOI: 10.4996/fireecology.1601349. 2020.
- [75] DEVISSCHER, T., MALHI, Y., LANDÍVAR, V., D., R., OLIVERAS, I. (2016) *Understanding ecological transitions under recurrent wildfire: A case study in the seasonally dry tropical forests of the Chiquitania, Bolivia*. Forest Ecology and Management, p. 273–286, 2016.
- [76] DGT (Portugal). Direção-Geral do Território. *Carta de Perigosidade de Incêndio Rural*. Lisboa: DGT, 2023.
- [77] DÍAZ, TERESITA DE JESÚS ALCÁNTARA. (2019) *La gestión integral del riesgo de incendios en las zonas de interfaz urbano-forestal: el caso del megaincendio de Valparaíso, 2014*. 2019. Tese (Magister en Geografía – Mención Organización Urbano Regional) – Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2019.
- [78] DURIGAN, G., RATTER, J. A. (2016). *The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation*. Journal of Applied Ecology, 53(1), 11–15. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559>. 2016.
- [79] ELMES, M. C., THOMPSON, D. K., SHERWOOD, J. H., PRICE, J. S. (2018). *Hydrometeorological conditions preceding wildfire, and the subsequent burning of a fen watershed in Fort McMurray, Alberta, Canada*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(1), 157–170. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-157-2018>. 2018.
- [80] ELOY, L., A. BILBAO, B., MISTRY, J., SCHMIDT, I. B. (2019). *From fire suppression to fire management: Advances and resistances to changes in fire policy in the savannas of Brazil and Venezuela*. The Geographical Journal, 185(1), 10–22. <https://doi.org/10.1111/geoj.12245>. 2019.
- [81] – EMBRAPA, (1999) EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- [82] ESPANYA, (2006) *Ley 10/2006, de 28 de abril, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes*. Boletín Oficial del Estado, núm. 102. 2006.

- [83] ESPANYA, (2006) *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. Boletín Oficial del Estado, núm. 74. 2006.
- [84] ESPANYA, MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA ESPANYA (2003) *Ley de montes 43/2003*, Bol. Off. estado, 280, 2003, pp. 41422-41442.
- [85] EVIN, G., CURT, T., ECKERT, N. (2018). *Has fire policy decreased the return period of the largest wildfire events in France? A Bayesian assessment based on extreme value theory*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(10), 2641–2651. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2641-2018>.
- [86] FAO. *Integrated fire management voluntary guidelines: principles and strategic actions*. 2nd ed. Rome: FAO, 2024.
- [87] FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2019). *FAO Strategy on Forest Fire Management*. 2019.
- [88] FARKHONDEHMAAL, P.; GHAFARZADEGAN, N. (2022) *A cyclical wildfire pattern as the outcome of a coupled human-natural system*. Scientific Reports, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-08730-y.
- [89] FERNANDES, P. M., GUIOMAR, N., MATEUS, P., OLIVEIRA, T. (2017). *On the reactive nature of forest fire-related legislation in Portugal: A comment on Mourão and Martinho (2016)*. Land Use Policy, 60, 12–15. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.008>. 2017.
- [90] FERREIRA BARBOSA, M. L.; HADDAD, I.; NASCIMENTO, A. L. DA S.; SILVA, G. M. DA; VEIGA, R. M. DA; HOFFMANN, T. B.; SOUZA, A. R. DE; DALAGNOL, R.; STREHER, A. S.; PEREIRA, F. R. S.; ARAGÃO, L. E. O. C. DE; ANDERSON, L. O. (2022) *Compound impact of land use and extreme climate on the 2020 fire record of the Brazilian Pantanal*. Global Ecology and Biogeography, v. 31, n. 10, p. 1960–1975, 2022. DOI: 10.1111/geb.13563. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geb.13563>.
- [91] FERREIRA, H. R., BATISTA, A. C., TETTO, A. F. (2021) *Assessment of firefighting efficiency of vegetation fires in Curitiba-Paraná*. 2021. Brasil (Paraná).
- [92] FERREIRA, N. L.; SOARES, N. V.; CRUZ, G. F. da; TEEPOI, P. J.; MAGALHÃES, L. de M. (2024). *Queima em mosaico: conhecimento ancestral que inspira ações de prevenção aos grandes incêndios no Jalapão, Tocantins, Brasil*. Biodiversidade Brasileira, 2024. Disponível em: <https://revistaelectronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/view/917>
- [93] FIDALGO, EMANUEL (2014) *Operações de combate a incêndios na interface urbano-florestal*. Imprensa da Universidade de Coimbra; RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança (2014) p. 727-730.
- [94] FIDALGO, EMANUEL SARDO (2011) *Territórios em mudança e os incêndios na interface urbano-florestal: estudo de caso em Baião*. Coimbra: Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Departamento de Geografia, 2011. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316.2/30204>.
- [95] FILKOV, A. I., TIHAY-FELICELLI, V., MASOUDVAZIRI, N., RUSH, D., VALENCIA, A., WANG, Y., BLUNCK, D. L., et al. (2023) *A review of thermal exposure and fire spread mechanisms in large outdoor fires*. 2023. Global.
- [96] FIORILLO, CELSO ANTÔNIO PACHECO (2019) *Curso de direito ambiental brasileiro*. 19. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2019.

- [97] FIORILLO, CELSO ANTÔNIO PACHECO., FERREIRA, RENATA MARQUES (2018) *Comentários ao “Código” Florestal, Lei nº 12.651/2012*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2018.
- [98] FORESTAL UCHILE (2023) *La urgencia de una Ley sobre Incendios Forestales para Chile*. 2023. Disponível em: <<http://www.forestal.uchile.cl/noticias/197232/la-urgencia-de-una-ley-sobre-incendios-forestales-para-chile>>.
- [99] FOX, D. M.; CARREGA, P.; REN, Y.; CAILLOUET, P.; BOUILLON, C.; ROBERT, S. (2018) *How wildfire risk is related to urban planning and Fire Weather Index in SE France (1990–2013)*. *Science of The Total Environment*, v. 621, p. 120-129, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.174.
- [100] FRANÇA, *Code de l'environnement*. Disponível em: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074220.
- [101] FRANÇA, *Code Forestier*. Disponível em: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000025244092.
- [102] FRANÇA, *Plan de Protection des Forêts Contre les Incendies* (PPFCI). Detalhes disponíveis em: <https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/184000620.pdf>.
- [103] FRANÇA, *Règlement National d'Urbanisme* (RNU). Disponível em: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGISCTA000031721322/>.
- [104] FRANCO, M., STEFANUTO, E. B., ÚBEDA, X., PEREIRA, P. (2019) *Long-term impact of prescribed fire on soil chemical properties in a wildland-urban interface*. 2019. Espanha.
- [105] FRIBERG, J.; MARTINSSON, B. G.; SPORRE, M. K. (2023) *Short- and long-term stratospheric impact of smoke from the 2019–2020 Australian wildfires*. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 23, n. 19, p. 12557–12570, 9 out. 2023.
- [106] FUNDO AMAZÔNIA, (2013) *Projeto Proteção Florestal*. 2013. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/Protecao-Florestal-Tocantins/>.
- [107] GANTEAUME, A., BARBERO, R., JAPPIOT, M., & MAILLÉ, E. (2021). *Understanding future changes to fires in southern Europe and their impacts on the wildland-urban interface*. *Journal of Safety Science and Resilience*, 2(1), 20–29. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2021.01.001>.
- [108] GANTEAUME, ANNE; GUILLAUME, BRUNO; GIRARDIN, BERTRAND. (2022) *Impact of the WUI vegetation management on damage to building: comparing post-fire damage assessment and CFD modelling results*. In: *Advances in Forest Fire Research 2022*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2022. DOI: 10.14195/978-989-26-2298-9_95.
- [109] GARFIAS S., ROBERTO; CASTILLO S., MIGUEL; RUIZ G., FRANCISCA; JULIO A., GUILLERMO; QUINTANILLA P., VICTOR; ANTÚNEZ G., JESSICA. (2012) *Caracterización socioeconómica de la población en áreas de riesgo de incendios forestales: estudio de caso. Interfaz urbano-forestal, provincia de Valparaíso, Chile Central*. *Territorium*, n. 19, p. 101-109, 2012. Disponível em: http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Territorium/numeros_publicados.
- [110] GIACOMELLI, CINTHIA L. F.; ELTZ, MAGNUM K. F. (2018) *Direito e legislação ambiental*. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

- [111] GOBIERNO DE CHILE, (2024) *Ley de incendios forestales y rurales da importante paso: Estos son sus alcances*. 2024. Disponível em: <<https://www.gob.cl/noticias/ley-de-incendios-forestales-y-rurales-da-importante-paso-estos-son-sus-alcances/>>.
- [112] GOLDAMMER, J. G., STOCKS, B. J., SUKHININ, A. I., & PONOMAREV, E. (2013) *Current Fire regimes, Impacts and Likely changes-II. Forest fires in Russia–Past and Current Trends*. Vegetation Fires and Global Change, p. 51, 2013.
- [113] GOMES, et al. (2024) *Impacts of Fire Frequency on Net CO₂ Emissions in the Cerrado Savanna Vegetation*. 2024.
- [114] GONÇALEZ, N., BOISSONNY, C., GONÇALEZ, J. (2006) *Contribuição da Legislação Florestal Francesa para a Legislação Florestal Brasileira*. Revista de informação legislativa, 43(169), 265-276. 2006.
- [115] GONZALEZ, S., GHERMANDI, L. (2024). *How to define the wildland-urban interface? Methods and limitations: towards a unified protocol*. Frontiers in Environmental Science, 11. 2024. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1284631>.
- [116] GRANZIERA, MARIA LUIZA MACHADO. (2014) *Direito Ambiental*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2014.
- [117] GUERRERO, F., ESPINOZA, L., VIDAL, V., CARMONA, C., KRECL, P., TARGINO, A. C., RUGGERI, M. F., TOLEDO, M. (2024) *Black carbon and particulate matter concentrations amid central Chile's extreme wildfires*. 2024. Chile.
- [118] HASSAN, Q. K. et al. (2021) *Examining Post-Fire Perceptions of Selected Mitigation Strategies after the 2016 Horse River Wildland Fire in Alberta, Canada*. Applied Sciences, v. 11, n. 21, p. 10155, 29 out. 2021.
- [119] IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (2022) *Censo Demográfico 2022*. 2022.ICNF (Portugal). Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Condições/Restrições associadas ao Índice de Perigo de Incêndio Rural. Lisboa: ICNF, 2025.
- [120] IPMA (Portugal). Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Perigo de Incêndio Rural (PIR). Lisboa: IPMA, 2025.
- [121] INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2024) *Portal TerraBrasilis - Queimadas*. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>. 2024.
- [122] ITÁLIA, (2000) *Legge quadro in materia di incendi boschivi*, n.º 353, de 21 de novembro de 2000. Diário Oficial da República Italiana, Roma, Itália, 29 nov. 2000. Disponível em: <https://www.gazzettaufficiale.it>.
- [123] ITÁLIA, (2018) *Legge quadro in materia di foreste e filiere forestali*, n.º 34, de 28 de fevereiro de 2018. Diário Oficial da República Italiana, Roma, Itália, 29 fev. 2018. Disponível em: <https://www.gazzettaufficiale.it>.
- [124] ITÁLIA, (2021) *Decreto-Lei n.º 120, de 8 de setembro de 2021*. Medidas urgentes para o fortalecimento da capacidade nacional de enfrentamento de emergências derivadas de incêndios florestais. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Roma, 8 set. 2021. Disponível em: <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legge:2021;120>.
- [125] ITÁLIA, (2021) *Lei n.º 155, de 8 de novembro de 2021*. Conversão em lei, com modificações, do Decreto-Lei n.º 120, de 8 de setembro de 2021, contendo medidas urgentes para o fortalecimento

- da capacidade nacional de enfrentamento de emergências derivadas de incêndios florestais. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Roma, 8 nov. 2021. Disponível em: <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:2021;155>.
- [126] ITÁLIA, (2022) *Estratégia Nacional para as Florestas*. Aprovada em fevereiro de 2022. Documento estratégico publicado com base na *Legge quadro in materia di foreste e filiere forestali* (Lei nº 34/2018). Disponível em: <https://www.gazzettaufficiale.it>.
- [127] JOHNSTON, L. M.; FLANNIGAN, M. D. (2018) *Mapping Canadian wildland fire interface areas*. *International Journal of Wildland Fire*, v. 27, n. 1, p. 1, 2018.
- [128] JUVANHOL, R. S., FIEDLER, N. C., DOS SANTOS, A. R., DA SILVA, G. F., OMENA, M. S., EUGENIO, F. C., PINHEIRO, C. J. G., FILHO, A. C. F. (2021) *Gis and fuzzy logic applied to modelling forest fire risk*. 2021. Brasil (Mato Grosso do Sul).
- [129] KEDEM, B., FOKIANOS, K. (2005) *Regression Models for Time Series Analysis*. John Wiley & Sons, New York (2005).
- [130] KEELEY, J. E., SYPHARD, A. D. (2019) *Twenty-first century California, USA, wildfires: fuel-dominated vs. wind-dominated fires*. *Keeley and Syphard Fire Ecology*, p. 1-15, 2019.
- [131] KELLEY, D. I. et al. (2021) *Technical note: Low meteorological influence found in 2019 Amazonia fires*. *Biogeosciences*, v. 18, n. 3, p. 787–804, 4 fev. 2021.
- [132] KIRSCHNER, J. A., ASCOLI, D., MOORE, P., CLARK, J., CALVANI, S., BOUSTRAS, G. (2024). *Governance drivers hinder and support a paradigm shift in wildfire risk management in Italy*. *Regional Environmental Change*, 24(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02174-4>.
- [133] KLEINBAUM, D. G., KLEIN, M. (2010) *Logistic Regression: a Self-learning Test*. Springer, New York (2010).
- [134] KNAPP, E. E. et al. (2021) *Housing arrangement and vegetation factors associated with single-family home survival in the 2018 Camp Fire, California*. *Fire Ecology*, v. 17, n. 1, p. 25, 4 dez. 2021.
- [135] KOCHER, S. D.; BUTSIC, V. (2017) *Governance of Land Use Planning to Reduce Fire Risk to Homes: Mediterranean France and California*. *Land*, v. 6, n. 2, p. 24, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land6020024>.
- [136] KONOVALOV, I. B.; BEEKMANN, M.; RICHTER, A.; BURROWS, J. P.; HILBOLL, A.; SEMUTNIKOVA, E. G.; ELANSKY, A. A. (2011) *Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region*. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 11, p. 10031-10056, 2011. DOI: 10.5194/acp-11-10031-2011.
- [137] LAMPIN-MAILLET, C., JAPPIOT, M., LONG, M., BOUILLON, C., MORGE, D., FERRIER, J.P. (2010) *Mapping wildland-urban interfaces at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France*. *J. Environ. Manag.*, 91 (3), 2010, pp. 732-741.
- [138] LAMSAF, H.; LAMSAF, A.; KERROUM, M. A.; ALMEIDA, M. *Assessing trends in wildland-urban interface fire research through text mining: a comprehensive analysis of published literature*. *Journal of Forestry Research*, v. 35, 2024. DOI: 10.1007/s11676-024-01722-w.

- [139] LAU, W. K., & KIM, K. M. (2010) *The 2010 Pakistan Flood and the Russia Heat*. Wave: Teleconnection of extremes. 2010.
- [140] LAZZARINI, G.M., FERREIRA, L.C., FELICÍSSIMO, M.F., LIRA, R.G., JUSTINO, A.G., GOMES, C.S., RIBEIRO, J.C., MAGALHÃES, G.R. (2012). *Análise da distribuição de focos de calor no Tocantins entre 2002 e 2011*. 2012.
- [141] LÉGIFRANCE, (2024) *Decreto n.º 2024-405. Regulamenta a aplicação da Lei n.º 2023-580*. Journal Officiel de la République Française, Paris, 2024. Disponível em: <https://www.legifrance.gouv.fr>.
- [142] LEITE, JOSÉ RUBENS MORATO (2015) *Manual de Direito Ambiental*. Saraiva: São Paulo, 2015.
- [143] LINK, E. D.; MARANGHIDES, A. (2023) *Burnover events identified during the 2018 Camp Fire*. International Journal of Wildland Fire, 2023.
- [144] LOPES, D.; VITALI, K. T. (2022) *Legal Regulation of Fuel Management Areas*. Em: *Advances in Forest Fire Research 2022*. [s.l.] Imprensa da Universidade de Coimbra, 2022. p. 661–665.
- [145] LOPES, R. F. R., MODARRES, M., RODRIGUES, J. P. C., ALMEIDA, M. (2023) *Experimental demonstration test of damages in houses caused by wildland-urban interface fires*. 2023. Portugal.
- [146] MACHADO, M. S. et al. (2024) *Emergency policies are not enough to resolve Amazonia's fire crises*. Communications Earth & Environment, v. 5, n. 1, p. 204, 18 abr. 2024.
- [147] MAHMOUD, M. S., STAUFFER, R. D., WU, J. (2020). *Assessing wildfire risk in the United States: The importance of vegetation and structure*. Royal Society Open Science, 7(2), 201183. 2020. <https://doi.org/10.1098/rsos.201183>.
- [148] MAMUJI, A. A., ROZDILSKY, J. L. (2019) *Wildfire como um desastre natural cada vez mais comum que o Canadá enfrenta: compreendendo o incêndio de 2016 em Fort McMurray*. Nat Hazards 98, 163–180, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3488-4>.
- [149] MAPBIOMAS, (2024) *Projeto MapBiomias – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/Legenda-Colecao-8-Descricao-Detalhada-PDF-PT-3-1.pdf>.
- [150] MAPBIOMAS, (2024) *Projeto MapBiomias – Coleção BETA da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial*. 2024c.
- [151] MAPBIOMAS, (2024) *Projeto MapBiomias*. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>.2024b.
- [152] MARCONI, M.; LAKATOS, E. (2017) *Fundamentos de Metodologia Científica*. 8. ed. São Paulo: 2017, 2017.
- [153] MARKS-BLOCK, T.; TRIPP, W. (2021). *Facilitating Prescribed Fire in Northern California through Indigenous Governance and Interagency Partnerships*. Fire, 4(3), 37. 2021. DOI: 10.3390/fire4030037.
- [154] MARTINEZ, J., VEGA-GARCIA, CHUVIECO, E. (2009) *Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain*. J. Environ. Manag., 90 (2), 2009, pp. 1241-1252.

- [155] McFAYDEN, C.; et al. (2023) *WildFireSat pathways for implementation and uptake in provincial and territorial fire management agencies*. Publications.gc.ca, 2023. Disponível em: <https://publications.gc.ca/site/eng/9.929006/publication.html>.
- [156] MELLO, YURI LOPES DE. (2010) *Reserva legal: fundamento constitucional e políticas públicas*. Revista de Direito Ambiental, vol. 60, p. 123 – 148, Out – Dez, 2010.
- [157] MIGUEL, JEAN CARLOS HOCHSPRUNG. (2014) *Ciência, política e a reformulação do Código Florestal. Política e Sociedade*. Florianópolis, vol. 13, n. 27, mai-ago de 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/politica/article/view/2175-7984.2014v13n27p137/27813>>.
- [158] MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, (2023) *Wildfire Prevention Plan*. 2023.
- [159] MINISTÉRIO PÚBLICO DO TOCANTINS, CAOMA. (2024) *Área queimada no estado do Tocantins-2020 a 2023*. Disponível em: <<https://caomampto.maps.arcgis.com/apps/dashboards/e0c8d700f181485dae7c958d0cc5d197>>.
- [160] MIRANDA, H. S., SATO, M. N., NETO, W. N., AIRES, F. S. (2009) *Incêndios no cerrado, a savana brasileira*. In: Ecologia Tropical de Incêndio. 2009, Springer Praxis Books. Springer, Berlim, Heidelberg.
- [161] MISTRY, J., BILBAO, B. A., BERARDI, A. (2016) *Community owned solutions for fire management in tropical ecosystems: Case studies from Indigenous communities of South America*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 371. 2016.
- [162] MODUGNO, S., BALZTER, H., COLE, B., BORRELLI, P. (2016) *Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland–Urban Interface areas in Europe*. Journal of Environmental Management, 172, 112–126. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.013>.
- [163] MOLINA-TERRÉN, D. M., XANTHOPOULOS, G., DIAKAKIS, M., RIBEIRO, L., CABALLERO, D., DELOGU, G. M., VIEGAS, D. X., SILVA, C. A., CARDIL, A. (2019). *Analysis of forest fire fatalities in Southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy)*. International Journal of Wildland Fire, 28(2), 85. 2019. <https://doi.org/10.1071/WF18004>.
- [164] MONTELLANO, A. R. (2012) *Cartografía multitemporal de quemas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación post-incendio*. Ecología en Bolivia 47(1): 53-71, 2012.
- [165] MORAIS, JOSÉ CARLOS., BARRETO, RICARDO., MELO, ANA., BURGUES, JOSÉ., OLIVEIRA, LAWRENCE., DE ANDRADE, ANANDA., ROMÃO, MARCELO. (2018) *Operação Tocantins 2017 Relatório*. 10.13140/RG.2.2.27569.89442. 2018.
- [166] MOREIRA, ELIANE CRISTINA PINTO. (2015) *O licenciamento ambiental e a participação dos entes federativos interessados*. Revista de Direito Ambiental, vol. 79, p. 77 – 93, Jul – Set, 2015.
- [167] MOREIRA, FRANCISCO., et al. (2010). *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*. ISA Press: Lisboa, 2010.
- [168] MOURA, LIVIA C.; SCARIOT, ALDICIR O.; SCHMIDT, ISABEL B.; BEATTY, ROBIN; RUSSELL-SMITH, JEREMY. (2019) *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, 2019.

- [169] MOURAO, P. R., MARTINHO, V. D. (2016). *Discussing structural breaks in the Portuguese regulation on forest fires—An economic approach*. Land Use Policy, 54, 460–478. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.003>.
- [170] MOURAO, P. R., MARTINHO, V. D. (2019). *Forest fire legislation: Reactive or proactive?* Ecological Indicators, 104, 137–144. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.080>.
- [171] MOWERY, M., READ, M., JOHNSTON, K., WAFIAE, T. (2019) *Planning the wildland-urban interface PAS Report 594*. American Planning Association, Planning Advisory Service. 2019.
- [172] NAÇÕES UNIDAS, (1972) *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano*. Estocolmo, Suécia, 5 a 16 de junho de 1972. Disponível em: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>.
- [173] NADER, PAULO. (2016) *Curso de direito civil, volume 7: responsabilidade civil*. Paulo Nader. – 6. ed. rev., atual. e ampl. – Rio de Janeiro: Forense, 2016.
- [174] NATURATINS, (2015) *Plano Anual de Controle e Combate às Queimadas Descontroladas no Estado do Tocantins*. Palmas, TO, 2015. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/269325>.
- [175] NETO, N. M.; EVANGELISTA, H. (2022) *Human activity behind the unprecedented 2020 wildfire in Brazilian wetlands (Pantanal)*. Frontiers in Environmental Science, v. 10, 2022. DOI: 10.3389/fenvs.2022.888578.
- [176] NUNES, A. N., FIGUEIREDO, A., PINTO, C. D., LOURENÇO, L. (2023) *An Evaluation of Wildfire Vulnerability in the Wildland–Urban Interfaces of Central Portugal Using the Analytic Network Process*. Fire, v. 6, n. 5, p. 194, 2023. DOI: 10.3390/fire6050194.
- [177] NWCG. *National Wildfire Coordinating Group. Glossary of Wildland Fire Terminology (PMS-205)*. Boise, 2024.
- [178] OLIVEIRA, A. S., SOARES-FILHO, B. S., OLIVEIRA, U., VAN DER HOFF, R., CARVALHO-RIBEIRO, S. M., OLIVEIRA, A. R., SCHEEPERS, L. C., VARGAS, B. A., RAJÃO, R. G. (2021). *Costs and effectiveness of public and private fire management programs in the Brazilian Amazon and Cerrado*. Forest Policy and Economics, 127, 102447. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102447>.
- [179] OLIVEIRA, E., SEQUEIRA, A. C., FERNANDES, P. M., COLAÇO, M. C. (2023). *The Use of Vegetation Fire in Portugal: Historical Legislative and Normative Analysis*. Environment and History, 1–25. 2023. <https://doi.org/10.3828/whp.eh.63835725711833>.
- [180] PAIS, S., AQUILUÉ, N., HONRADO, J. P., FERNANDES, P. M., REGOS, A. (2023) *Optimizing Wildfire Prevention through the Integration of Prescribed Burning into ‘Fire-Smart’ Land-Use Policies*. Fire, v. 6, n. 12, p. 457, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fire6120457>.
- [181] PANDEY, P., HUIDOBRO, G., LOPES, L. F., GANTEAUME, A., ASCOLI, D., COLAÇO, C., XANTHOPOULOS, G., GIANNAROS, T. M., GAZZARD, R., BOUSTRAS, G., STEELMAN, T., CHARLTON, V., FERGUSON, E., KIRSCHNER, J., LITTLE, K., STOOF, C., NIKOLAKIS, W., RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ-BLANCO, C., RIBOTTA, C., LAMBRECHTS, H., FERNÁNDEZ, M., DOSSI, S. (2023) *A global outlook on increasing wildfire risk: Current*

- policy situation and future pathways. *Trees, Forests and People*, v. 14, 2023, 100431. DOI: 10.1016/j.tfp.2023.100431.
- [182] PARLAMENTO ITALIANO, (2000) *Legge quadro in material di incendi boschivi, legge 353/2000*, Gazzetta Uff., 280. 2000.
- [183] PASTOR, E., MUÑOZ, J. A., CABALLERO, D., ÀGUEDA, A., DALMAU, F., PLANAS, E. (2020). *Wildland–Urban Interface Fires in Spain: Summary of the Policy Framework and Recommendations for Improvement*. *Fire Technology*, 56(5), 1831–1851. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00883-z>.
- [184] PATON, DOUGLAS., TEDIM, FANTINA. (2012) *A Dimensão Social dos Incêndios Florestais: Factores que Contribuem para uma Gestão Sustentada e Integrada*. Estratégias Criativas: Porto, 2012.
- [185] PATRIOTA, J. N. et al. (2017) *Avaliação das ocorrências de incêndios florestais no Estado do Tocantins*. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 12, n. 3, p. 518, 1 jul. 2017.
- [186] PAZ, L. H. (2009). *A Influência da Vegetação sobre o Clima Urbano de Palmas - TO*. Dissertação de Mestrado. Brasília, DF, Brasil: Universidade de Brasília. 2009.
- [187] PELISSARI, T. D., TEODORO, P. E., TEODORO, L. P. R., et al. (2023) *Dynamics of major environmental disasters involving fire in the Brazilian Pantanal*. *Scientific Reports*, v. 13, p. 21669, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-49154-6. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-49154-6>.
- [188] PEREIRA, J. M. C., ALEXANDRE, P., CAMPAGNOLO, M., BAR-MASSADA, A., RADELOFF, V., SILVA, P. (2018) *Defining and mapping the wildland-urban interface in Portugal Advances in Forest Fire Research 2018* - D. X. Viegas (Ed.), Chapter 4 – Fire at the Wildland Urban Interface (2018), pp. 742-749.
- [189] PETOUKHOV, V., PETRI, S., KORNUBER, K. et al. (2018) *Incêndio florestal de Alberta 2016: contribuição adequada da dinâmica anômala das ondas planetárias*. *Sci Rep*. 8, 12375. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-30812-z>>.
- [190] PIVELLO, V. R. (2011) *O Uso do Fogo no Cerrado e nas Florestas Tropicais da Amazônia do Brasil: Passado e Presente*. *fire ecol* n.7, pág. 24-39, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>>.
- [191] PLATT, R. V. (2010). *The Wildland–Urban Interface: Evaluating the Definition Effect*. *Journal of Forestry*, 108(1), 9-15. 2010.
- [192] PORTILLO-QUINTERO, C., SANCHEZ-AZOFEIFA, A., O ESPIRITO-SANTO, M. M. (2013) *Monitoring deforestation with MODIS Active Fires in Neotropical dry forests: An analysis of local-scale assessments in Mexico, Brazil and Bolivia*. *ScienceDirect Journal of Arid Environments* p. 150-159, 2013. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jaridenv>.
- [193] PORTUGAL. *Decreto-Lei n.º 327/90, de 22 de outubro. Estabelece medidas relativas à proibição temporária de alterações do uso do solo em áreas florestais ardidas*. Diário da República: I Série, Lisboa, 22 out. 1990.
- [194] PORTUGAL, (2006) *Decreto de Lei 124/2006, de 28 de junho. Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios. 9ª Versão. No uso da autorização legislativa concedida pela Lei n.º*

12/2006, de 4 de Abril, estabelece as medidas e ações a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios. 2006.

- [195] PORTUGAL, (2019) *Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território (PNPOT)*. Lisboa: Ministério do Ambiente e Ação Climática, 2019. Disponível em: <https://www.dgterritorio.gov.pt/pnpot>.
- [196] PORTUGAL, (2021) *Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro de 2021. Estabelece o Sistema Integrado de Gestão de Incêndios Rurais (SGIFR)*. Diário da República, Lisboa, 13 out. 2021.
- [197] PORTUGAL. Despacho n.º 4223/2025, de 3 de abril. Proceda à reafirmação e operacionalização das normas de gestão de combustível no âmbito do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais. Diário da República: II Série, Lisboa, 3 abr. 2025.
- [198] PRADOS, A. I., & ALLEN, M. (2025). *Key Governance Practices That Facilitate the Use of Remote Sensing Information for Wildfire Management: A Case Study in Spain*. Remote Sensing, 17(4), 649. <https://doi.org/10.3390/rs17040649>
- [199] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL, (2007) *Lei Complementar no 124, de 3 de janeiro de 2007*. Presidência da República, BRASIL, 2007.
- [200] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, (1953) *Lei no 1.806, de 6 de janeiro de 1953*. Presidência da República, Brasil, 1953.
- [201] PRIOR, L. D.; MURPHY, B. P.; BOWMAN, D. M. J. S. *Conceptualizing ecological flammability...* Fire, v.1, n.1, art. 14, 2018.
- [202] QGIS (2024). *Welcome to the QGIS project*. 2024.
- [203] RADELOFF, V. C., HAMMER, R. B., STEWART, S. I., FRIED, J. S., HOLOCOMB, S. S., MCKEEFR, J. F. (2005) *The wildland-urban interface in the United States* Ecol. Appl., 15 (3), 2005, pp. 799-805.
- [204] RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. (2008) *As principais fitofisionomias do bioma Cerrado*. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Org.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. v. 1, p. 151-212.
- [205] RIBEIRO, L. M. DA S. (2016). *Os incêndios na interface urbano-florestal em Portugal: uma análise de diagnóstico*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra. 2016. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316/36976>.
- [206] RIBEIRO, LEANDRO CARVALHO. (2010) *Aspectos ecofisiológicos da germinação de sementes de espécies do cerrado sensu stricto e da mata de galeria do bioma Cerrado expostas a diferentes condições de estresse*. Dissertação (Mestrado em Botânica) Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Brasília, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/8602>>.
- [207] RIBEIRO, M. R. et al. (2024) *Amazon Wildfires and Respiratory Health: Impacts during the Forest Fire Season from 2009 to 2019*. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 21, n. 6, p. 675, 24 maio 2024.
- [208] RODRIGUES, A. et al. (2022) *Rural Fires—Causes of Human Losses in the 2017 Fires in Portugal*. Applied Sciences, v. 12, n. 24, p. 12561, 8 dez. 2022.

- [209] RODRIGUES, E. E., RODRIGUES, J. P., DA SILVA FILHO, L. C. (2017). *Comparative study of building fire safety regulations in different Brazilian states*. Journal of Building Engineering, 10, pp. 102-108. 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.03.001>.
- [210] RODRIGUES, MARCELO ABELHA. (2008) *Processo Civil Ambiental*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2008.
- [211] ROSÁRIO, N. É. DO., SENA, E. T., YAMASOE, M. A. (2022) *South American 2020 regional smoke plume: intercomparison with previous years, impact on solar radiation, and the role of Pantanal biomass burning season*. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 22, n. 22, p. 15021–15033, 2022. DOI: 10.5194/acp-22-15021-2022. Disponível em: <https://acp.copernicus.org/articles/22/15021/2022/>.
- [212] SANTOPUOLI, GIOVANNI; et al. (2017) *Explore inhabitants' perceptions of wildfire and mitigation behaviours in the Cerrado biome, a fire-prone area of Brazil*. Annals of Silvicultural Research, [S.l.], v. 41, n. 1, p. 29-40, may 2017. ISSN 2284-354X. Disponível em: <<https://journals-crea.4science.it/index.php/asr/article/view/1308>>. doi:<http://dx.doi.org/10.12899/asr-1308>.
- [213] SANTOS, F. L. M., NOGUEIRA, J., SOUZA, R. A. F. DE, FALLEIRO, R. M., SCHMIDT, I. B., LIBONATI, R. (2021). *Prescribed Burning Reduces Large, High-Intensity Wildfires and Emissions in the Brazilian Savanna*. Fire, 4(3), 56. 2021. <https://doi.org/10.3390/fire4030056>.
- [214] SANTOS, ROBERTO SOUZA. (2020) *(Des)envolvimento regional, fronteira e o espaço do agronegócio no Tocantins: crescimento econômico sem distribuição de renda*. DRd - Desenvolvimento Regional em debate, v. 10, p. 3-35, 08 jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2509>.
- [215] SARLET, INGO WOLFGANG., FENSTERSEIFER, TIAGO. (2013) *A competência constitucional legislativa em matéria ambiental à luz do "federalismo cooperativo ecológico" consagrado pelo ordenamento jurídico brasileiro*. Revista de Direito Ambiental, vol. 71, 2013, p. 55 – 116, Jul - Set / 2013.
- [216] SARLET, INGO WOLFGANG., FENSTERSEIFER, TIAGO. (2021) *Direito constitucional ambiental: estudos sobre a constituição, os direitos fundamentais e a proteção do ambiente*. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2011.
- [217] SARRICOLEA, P. et al. (2020) *Recent wildfires in Central Chile: Detecting links between burned areas and population exposure in the wildland urban interface*. Science of The Total Environment, v. 706, p. 135894, mar. 2020.
- [218] SCHMIDT, I. B., MOURA, L. C., FERREIRA, M. C., ELOY, L., SAMPAIO, A. B., DIAS, P. A., BERLINCK, C. N. (2018). *Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward*. Journal of Applied Ecology, 55(5), 2094–2101. 2018. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118>.
- [219] SCHMIDT, I. B.; ELOY, L.(2020) *Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management*. Flora, v. 268, p. 151613, 2020.
- [220] SCHWILK, D. W. *Dimensions of plant flammability*. New Phytologist, 206(2):486–489, 2015
- [221] SEIBEL, T. P., DAMIANI, V., SIDUOSKI, L., STEFANELLO, I. F., CADORE, W. W. (2014) *A lei que chegou para realmente proteger edificações e salvar vidas em situações de incêndio e*

- pânico. In: SEMANA DAS ENGENHARIAS, 2., 2014, Frederico Westphalen. Anais [...]. Frederico Westphalen: URI, 2014, p. 22-24.
- [222] SEILER, C., HUTJES, R. W. A., KABAT, P. (2015) *The sensitivity of wet and dry tropical forests to climate change in Bolivia*. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, v. 120, n. 3, p. 399–584, 2015. DOI: 10.1002/2014JG002749.
- [223] SEPLAN, SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA. (2012) *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. Palmas: SEPLAN, 2012. 79 p. Tocantins, Brasil.
- [224] SEPLAN, SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. (2017) *Indicadores Socioeconômicos do Estado do Tocantins*. Palmas: SEPLAN, 2017. 49 p. Tocantins, Brasil.
- [225] SEPLAN, SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO., D. DE G. DE I. T. E S. (DIGIT), G. DE I. S. (GEFINS). (2023) *Estado do Tocantins – Perfil Socioeconômico Municipal*. 2º Versão. Palmas: 2023.
- [226] SEVERINO, A. (2013) *Metodologia do Trabalho Científico*. 1. ed. São Paulo: 2013, 2013.
- [227] SHPAKOVSKY, YU. G. (2018) *Contemporary Problems of Legal Regulation of Forest Fire Protection*. Lex Russica (РУССКИЙ ЗАКОН), 2018.
- [228] SILVA, E. C. G., FIEDLER, N. C., JUVANHOL, R. C., SILVA, G. M. A., NEVES, F. P. (2018) *Análise temporal da ocorrência de incêndios florestais nas Américas e região do Caribe*. Nativa, Sinop, v.6, n. 5, p. 491-496, 2018.
- [229] SILVA, L. G. (2007) *Biomass presentes no Estado do Tocantins*. Brasília, Distrito Federal: Câmara dos Deputados, ago. 2007.
- [230] SILVA, S. S. DA., et al. (2021) *Burning in southwestern Brazilian Amazonia, 2016–2019*. Journal of Environmental Management, v. 286, p. 112189, maio 2021.
- [231] SIMMS, C. D. (2016) *Canada's Fort McMurray fire: mitigating global risks*. The Lancet Global Health, 4(8), p. 520, 2016.
- [232] SIRVINSKAS, LUÍS PAULO. (2018) *Manual de direito ambiental*. 16. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2018.
- [233] SOUSA, I. M. P., GIONGO, M., (2017) *Quantificação da área queimada no estado do Tocantins no período de 2003 a 2011 utilizando imagens do satélite Tm/Landsat-5*. Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 3, n. Especial, p. 126-130, 2 mar. 2017.
- [234] SOUZA, C. M., et al. (2020). *Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine*. Remote Sensing, 12(17), 2735. 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.
- [235] SOUZA, E. S.; et al. (2024) *Planejamento, especulação imobiliária e ocupação fragmentada em Palmas*. Espaço em Revista, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/365717260_planejamento_especulacao_imobiliaria_e_ocupacao_fragmentada_em_palmas
- [236] SPADONI, G. L., MORIS, J. V., VACCHIANO, G., ELIA, M., GARBARINO, M., SIBONA, E., TOMAO, A., BARBATI, A., SALLUSTIO, L., SALVATI, L., FERRARA, C., FRANCINI, S., BONIS, E., DALLA VECCHIA, I., STROLLO, A., DI LEGINIO, M., MUNAFÒ, M., CHIRICI,

- G., ROMANO, R., ASCOLI, D. (2023). *Active governance of agro-pastoral, forest and protected areas mitigates wildfire impacts in Italy*. Science of The Total Environment, 890, 164281. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164281>.
- [237] SPAROVEK, G., et al. (2011) *A revisão do código florestal brasileiro*. Novos Estudos CEBRAP, n. 89, p. 111-135, 2011.
- [238] STEINMETZ, WILSON ANTÔNIO., SCHWANTES, SUSANNA. (2015) *Competência legislativa do município em matéria ambiental: o caso das sacolas plásticas*. Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo, Minas Gerais, v. 1, n. 2, p. 257 – 274, Jul/Dez. 2015. Disponível em: <<https://www.indexlaw.org/index.php/Socioambientalismo/article/view/208>>.
- [239] STEWART, S. I., RADELOFF, V. C., HAMMER, R. B., HAWBAKER, T. J. (2007) *Defining the wildland-urban interface*. J. For., 105 (4), 2007, pp. 201-207.
- [240] STIRLING, M. (2017) *Fort McMurray wildfire 2016: Conflating human-caused wildfires with human-caused global warming*. 2017.
- [241] TEDIM, F., et al. (2022) *Bridging the gap in the knowledge on the role of spatial planning in the reduction of wildfire risk: insights from Portugal*. Em: Advances in Forest Fire Research 2022. [s.l.] Imprensa da Universidade de Coimbra, 2022. p. 849–861.
- [242] TEDIM, F., LEONE, V., LOVREGGIO, R., XANTHOPOULOS, G., CHAS-AMIL, M.-L., GANTEAUME, A., EFE, R., ROYÉ, D., FUERST-BJELIŠ, B., NIKOLOV, N., MUSA, S., MILENKOVIĆ, M., CORREIA, F., CONEDERA, M., & BORIS PEZZATTI, G. (2022). *Forest Fire Causes and Motivations in the Southern and South-Eastern Europe through Experts' Perception and Applications to Current Policies*. Forests, 13(4), 562. 2022. <https://doi.org/10.3390/f13040562>.
- [243] TOCANTINS, (1989) *Lei Estadual nº 71, de 31 de julho de 1989*. Estabelece normas de proteção ao meio ambiente e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 31 jul. 1989. Disponível em: <https://www.al.to.leg.br/arquivos/6331.pdf>.
- [244] TOCANTINS, (1995) *Lei nº 771, de 07 de julho de 1995*. Dispõe sobre a Política Florestal do Estado do Tocantins. Disponível em: <<https://www.al.to.leg.br/arquivos/10725.pdf#page29>>.
- [245] TOCANTINS, (1996) *Lei nº 858, de 26 de julho de 1996*. Cria o Instituto Natureza do Tocantins e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 26 jul. 1996. Disponível em: <https://www.to.gov.br/naturatins/leis-estaduais/104it2hise9s>.
- [246] TOCANTINS, (1998) *Decreto nº 645, de 20 de agosto de 1998*. Institui o Comitê Estadual de Combate a Incêndio Florestal e Controle de Queimadas no Estado do Tocantins. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 20 ago. 1998. Disponível em: <https://www.to.gov.br/semarh/comite-do-fogo/er3fbvb9j2k>.
- [247] TOCANTINS, (2008) *Lei nº 1.917, de 17 de abril de 2008*. Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins, e adota outras providências. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 18 abr. 2008. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=171295>.
- [248] TOCANTINS, (2009) *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Estado do Tocantins*. Brasília, 13 de maio de 2009. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/168/_arquivos/plano_estadual_de_prevenao_e_controle_do_desmatamento_do_tocantins_168.pdf#page29>.

- [249] TOCANTINS, (2013) *Programa Jurisdicional de Redução de Emissões pelo Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+)*. 2013. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/524049/>.
- [250] TOCANTINS, (2016) *Perfil do Agronegócio Tocantinense*. PALMAS: 2016.
- [251] TOCANTINS, (2020) *Portaria/NATURATINS nº 84, de 07 de julho de 2020. Suspende a emissão e a vigência das Autorizações Ambientais de Queima Controlada*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 07 jul. 2020.
- [252] TOCANTINS, (2021) *Portaria/NATURATINS nº 118, de 19 de julho de 2021. Suspende a emissão e a vigência das Autorizações Ambientais de Queima Controlada*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 19 jul. 2021.
- [253] TOCANTINS, (2022) *Portaria/NATURATINS nº 112, de 26 de julho de 2022. Suspende a emissão e a vigência das Autorizações Ambientais de Queima Controlada*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 26 jul. 2022.
- [254] TOCANTINS, (2023) *Portaria/NATURATINS nº 101, de 14 de julho de 2023. Suspende a emissão e a vigência das Autorizações Ambientais de Queima Controlada*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 14 jul. 2023.
- [255] TOCANTINS, (2024) *Portaria/NATURATINS nº 125, de 17 de julho de 2024. Suspende a emissão e a vigência das Autorizações Ambientais de Queima Controlada*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 17 jul. 2024.
- [256] TOFFANELLO, RAFAEL DIAS. (2014) *Eficácia Jurídica das Normas Constitucionais Programáticas*. Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito – PPGDir./UFRGS, Porto Alegre, v. 4, n. 7, out. 2014. ISSN 2317-8558. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ppgdir/article/view/50849>>.
- [257] TYMSTRA, C., et al. (2020) *Wildfire management in Canada: Review, challenges and opportunities*. Forestry Chronicle, v. 96, n. 3, p. 369-377, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337002960_Wildfire_management_in_Canada_Review_challenges_and_opportunities.
- [258] URBIETA, I. R., FRANQUESA, M., VIEDMA, O., MORENO, J. M. (2019). *Fire activity and burned forest lands decreased during the last three decades in Spain*. Annals of Forest Science, 76(3), 90. 2019. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0874-3>.
- [259] USDA; USDI. 2001. *Urban Wildland Interface Communities within the Vicinity of Federal Lands That Are at High Risk from Wildfire*. Federal Register, 66(3): 751–777..
- [260] VIDAL, P., DE SANTIS, A., PÉREZ, W., HONEYMAN, P. (2017) *Uso de herramientas de teledetección para el análisis de la severidad y estimación de gases de efecto invernadero en incendios forestales de gran magnitud: estudio de caso, incendio La Rufina, VI Región del L. G. B. O'Higgins, Chile*. Revista de Teledetección, n. 50, p. 59-69, 2017. DOI: 10.4995/raet.2017.8987. Disponível em: <https://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/8987>.
- [261] VILAR, L., WOOLFORD, D. G., MARTELL, L. D., MARTÍN, P. M. (2010) *A model for predicting human-caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain*. Int. J. Wildland Fire, 19 (3), 2010, pp. 325-337.
- [262] VINCE, S. W., DURYEA, M. L., MACIE, E. A., HERMANSEN L.A. (2005) *Forests at the Wildland–Urban Interface: Conservation and Management* CRC Press. Boca Raton, FL 2005.

- [263] VITALI, K. T. (2021). *Legislação Estrangeira Aplicada à Interface Urbano-Florestal na Dual Casa/Envolvente*. 2021.
- [264] WHITMAN, E., RAPAPORT, E., SHERREN, K. (2013) *Modeling fire susceptibility to delineate wildland–urban interface for municipal-scale fire risk management*. *Environ. Manag.*, 52 (6), 2013, pp. 1427-1439.
- [265] WILLIAMS, A. P., ABATZOGLOU, J. T., GERSHUNOV, A., GUZMAN-MORALES, J., BISHOP, D. A., BALCH, J. K., LETTENMAIER, D. P. (2019) *Observed impacts of anthropogenic climate change on wildfire in California*. *Earth's Future*, vol. 7, p. 892–910, 2019. Disponível em: <[https://doi.org/ 10.1029/2019EF001210](https://doi.org/10.1029/2019EF001210)>.
- [266] WITTE, J. C., DOUGLASS, A. R., DASILVA, A., TORRES, O., LEVY, R., DUNCAN, B. N. (2011) *NASA A-Train and Terra observations of the 2010 Russian wildfires*. 2011.
- [267] XANTHOPOULOS, G. (2006) *Forest Fuels Management in Europe*. In: ANDREWS, P. L.; BUTLER, B. W. (Eds.). *Fuels Management—How to Measure Success: Conference Proceedings*. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006. p. 29-46.
- [268] ZAMPRONI, K., FERREIRA, H. R., BATISTA, A. C. (2021) *Evaluation of forest fires in Paraná in 2018 and 2019*. 2021. Brasil (Paraná).

ANEXO I

REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DAS IUFS DE TODOS OS MUNICÍPIOS ANALISADOS

AI.1. INTERFACE URBANO FLORESTAL - IUF

AI.2. CICATRIZES DE INCÊNDIOS NA IUF DE PALMAS-TO

AI.1. INTERFACE URBANO FLORESTAL - IUF

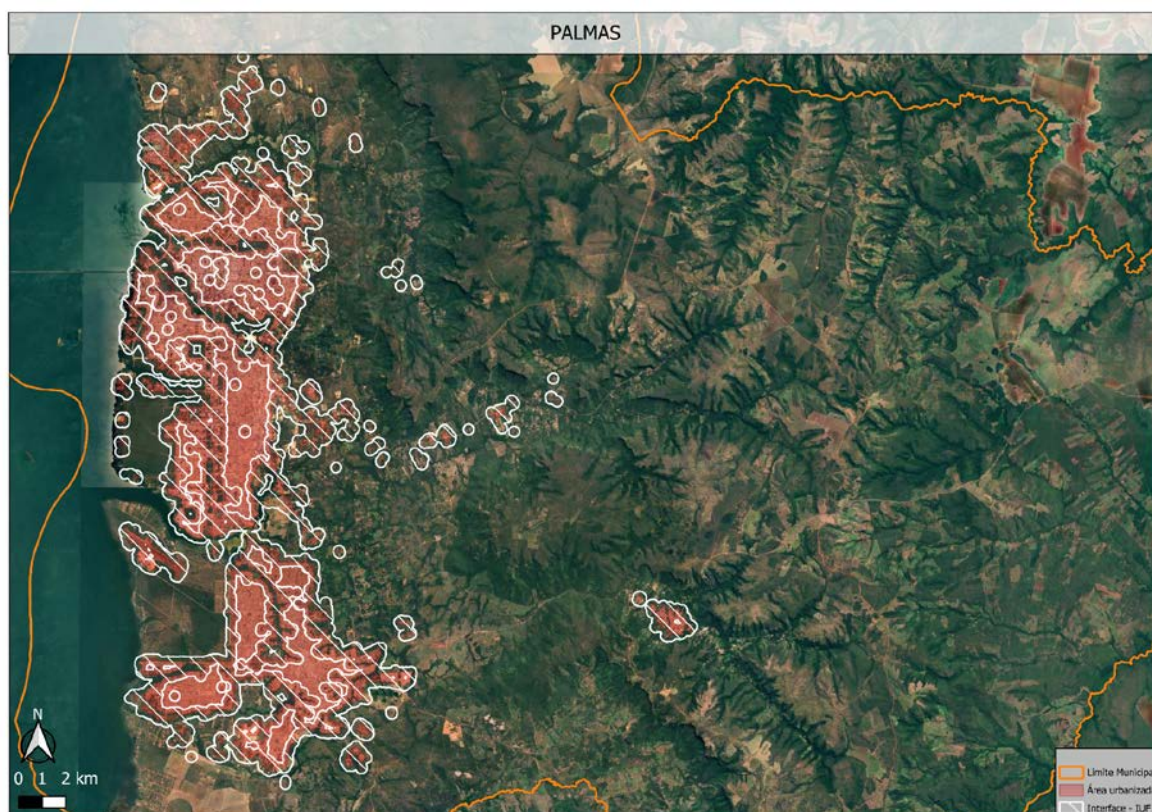


Figura AI.1 - Interface Urbano Florestal - Palmas.

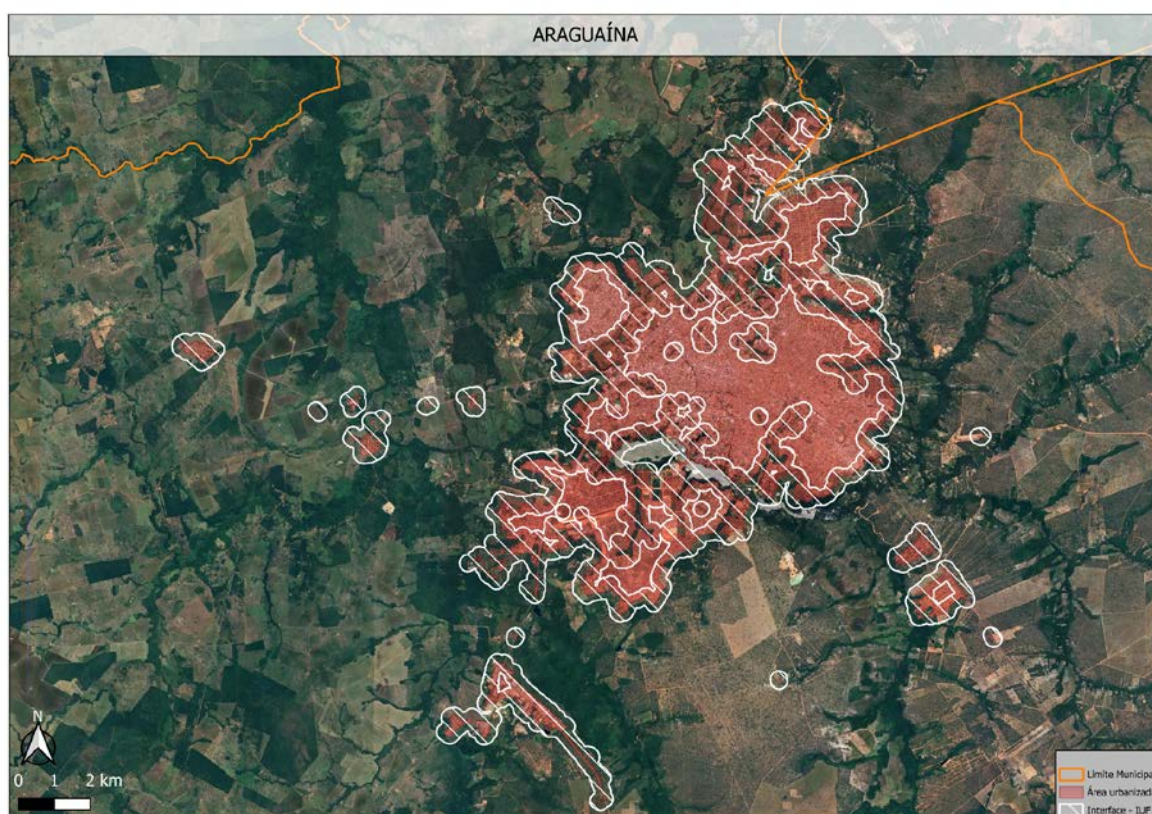


Figura AI.2 - Interface Urbano Florestal – Araguaína

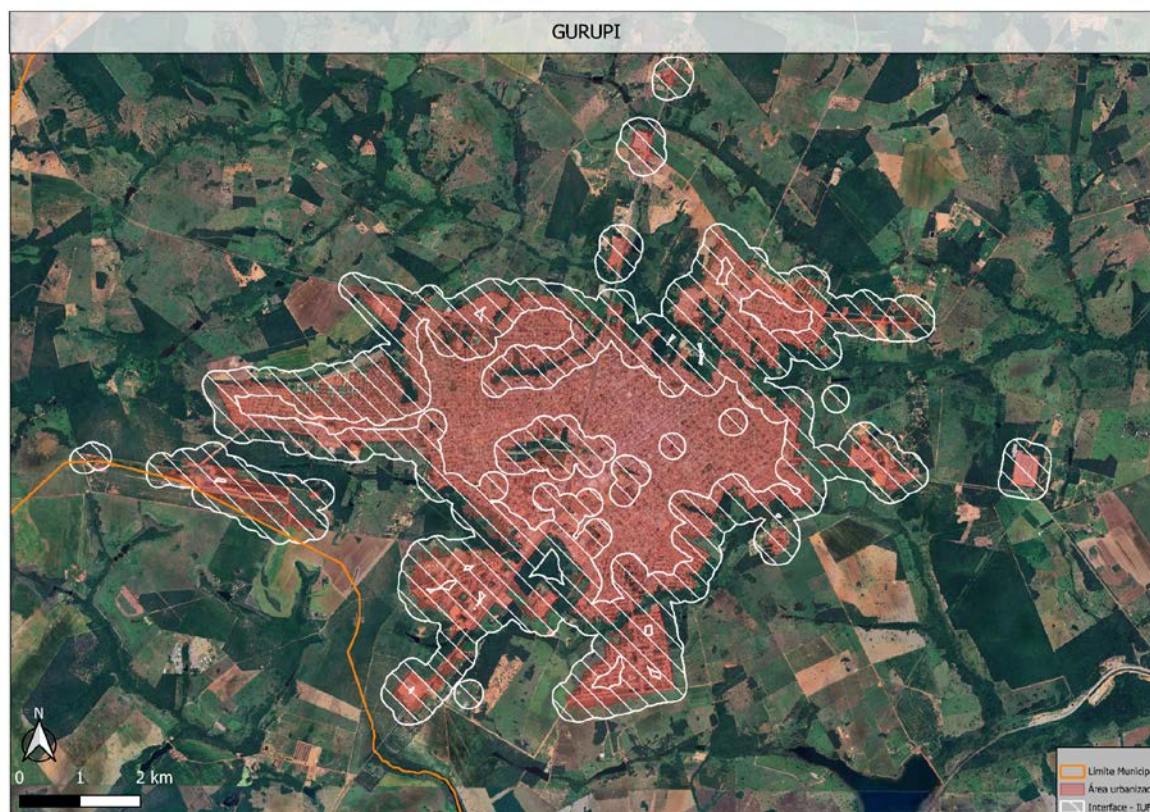


Figura AI.3 - Interface Urbano Florestal – Gurupi

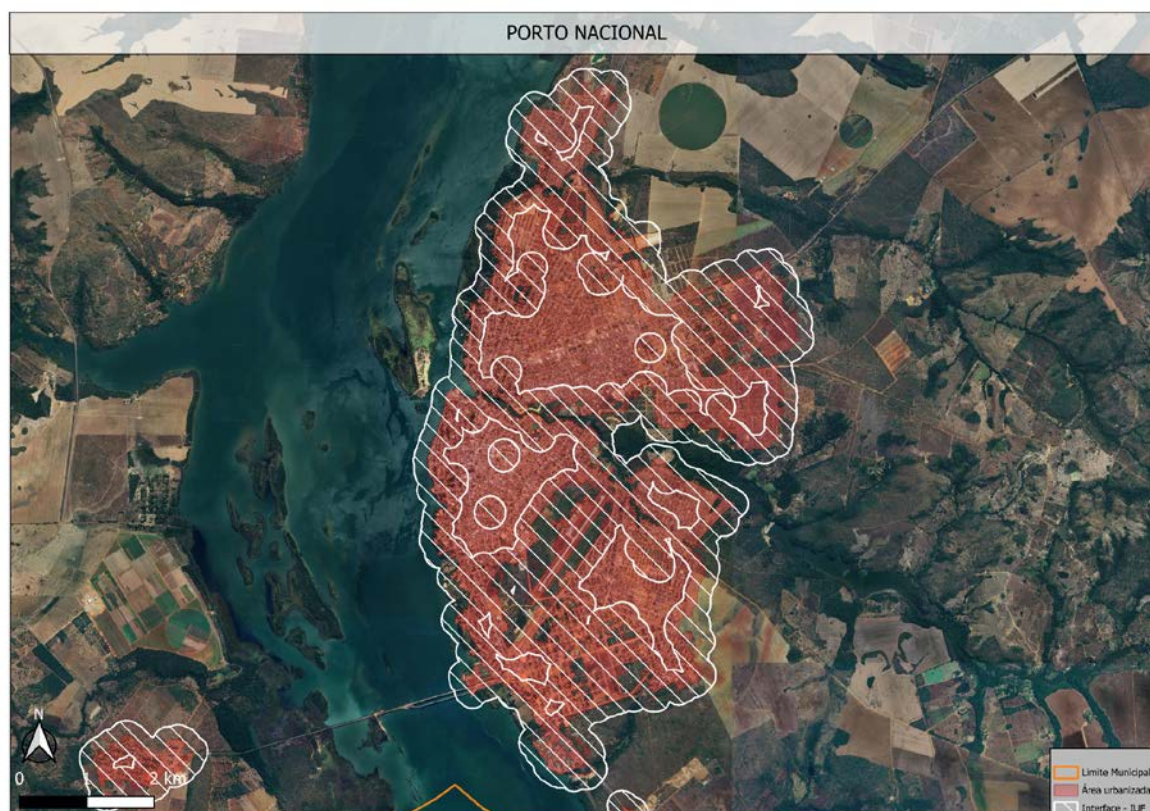


Figura AI.4 - Interface Urbano Florestal – Porto Nacional

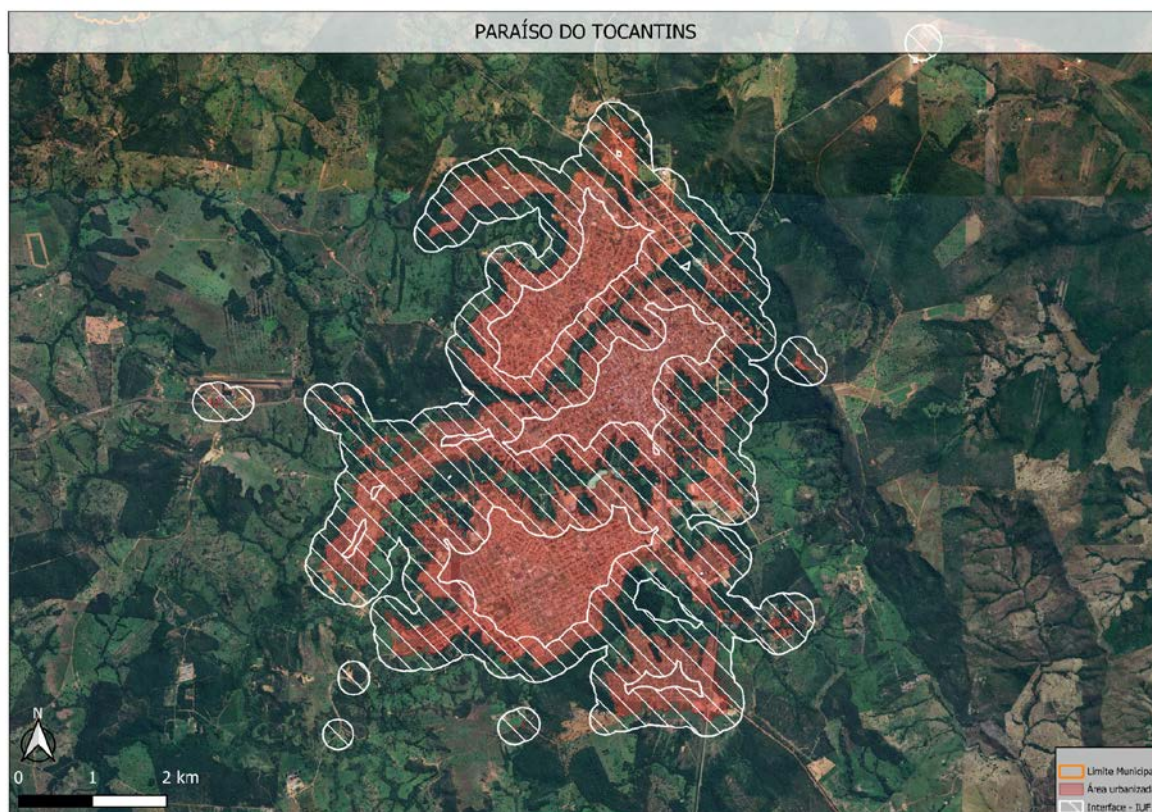


Figura AI.5 - Interface Urbano Florestal – Paraíso do Tocantins

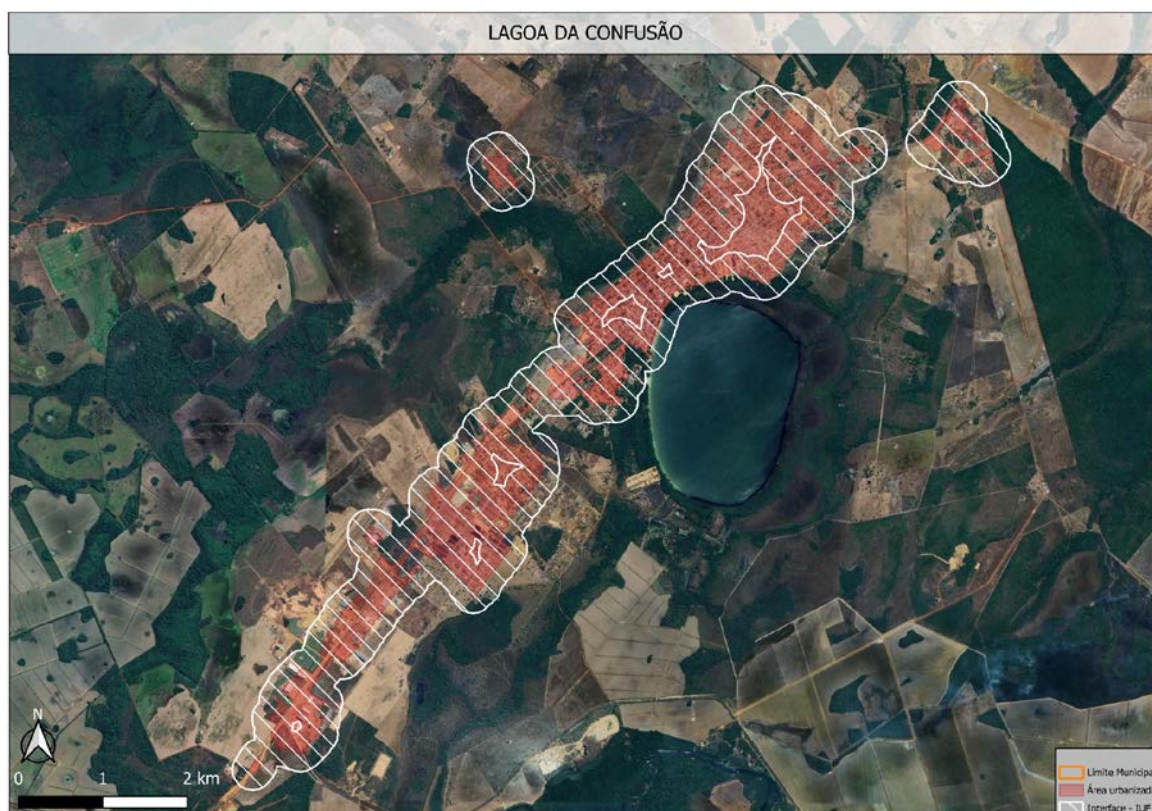


Figura AI.6 - Interface Urbano Florestal – Lagoa da Confusão

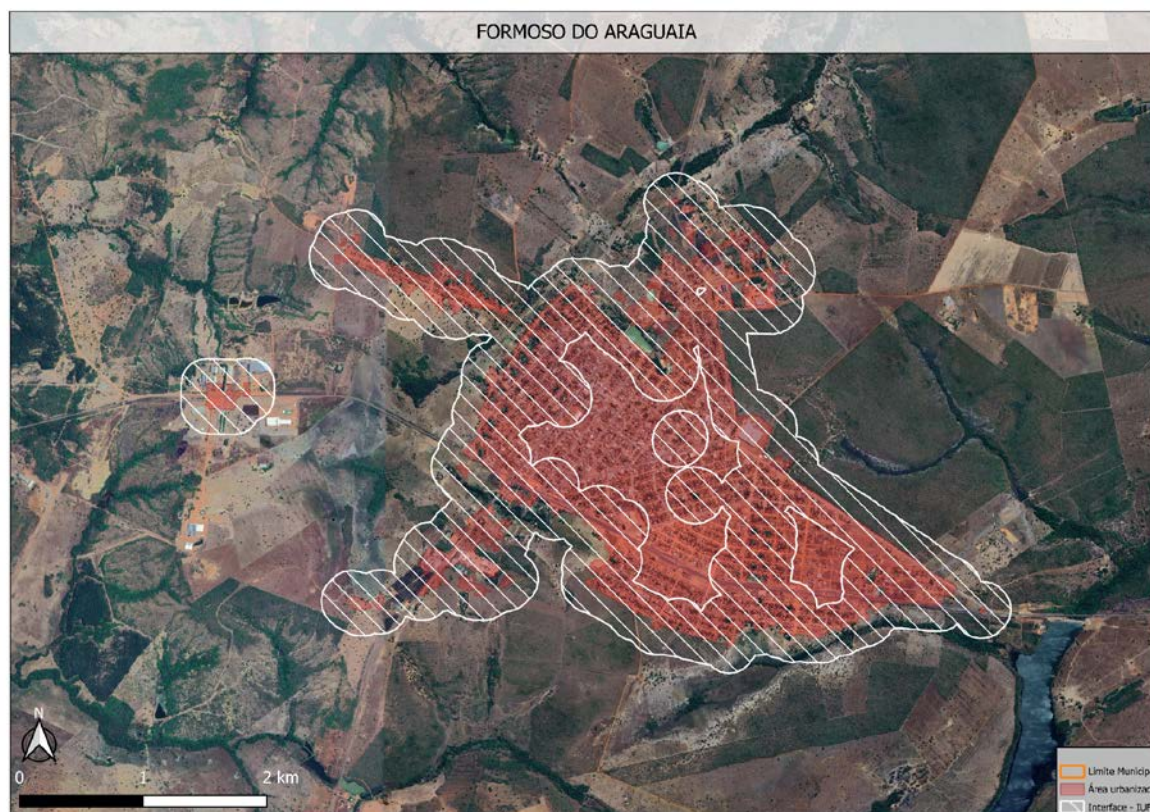


Figura AI.7 - Interface Urbano Florestal – Formoso do Araguaia

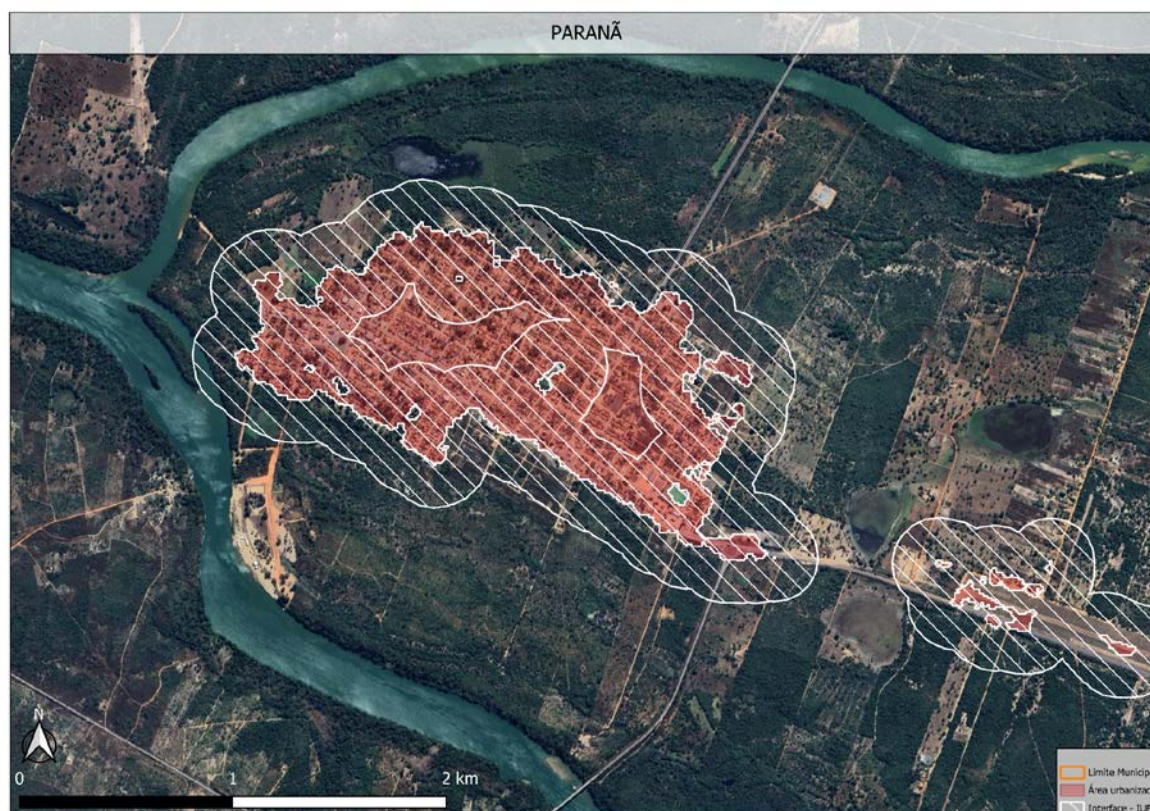


Figura AI.8 - Interface Urbano Florestal – Paranã

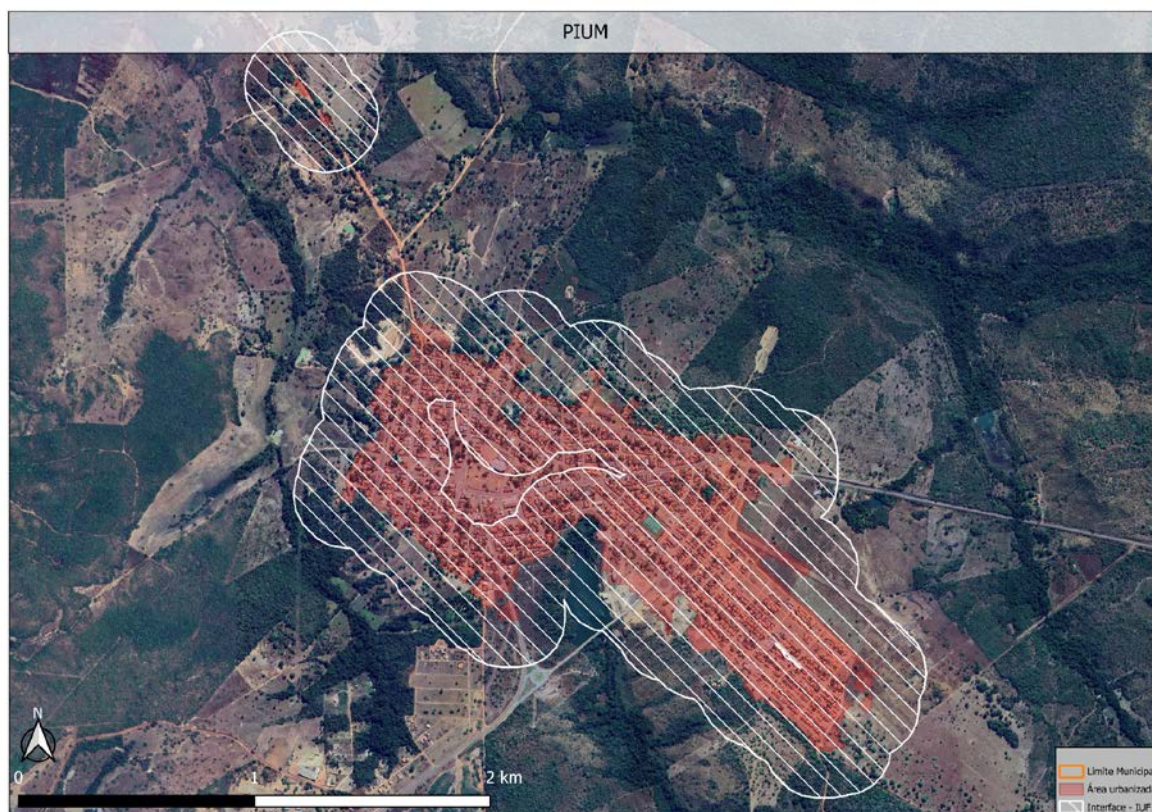


Figura AI.9 - Interface Urbano Florestal – Pium

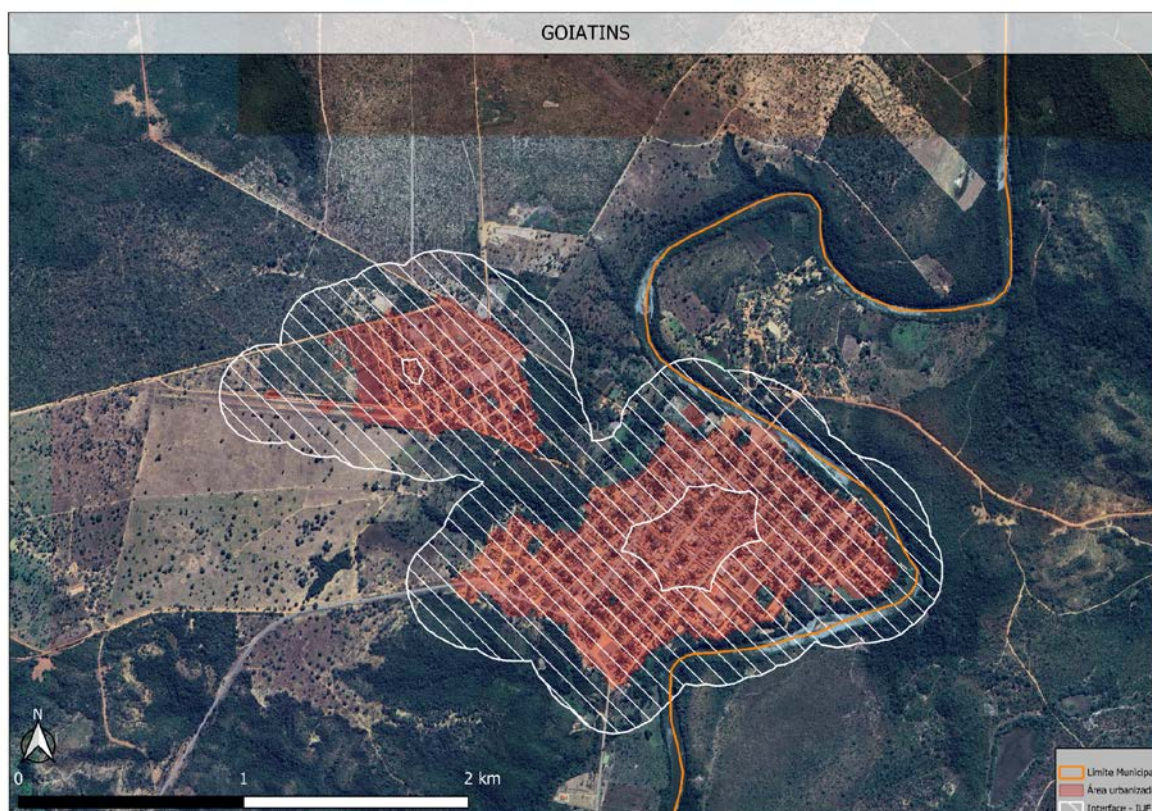


Figura AI.10 - Interface Urbano Florestal – Goiatins

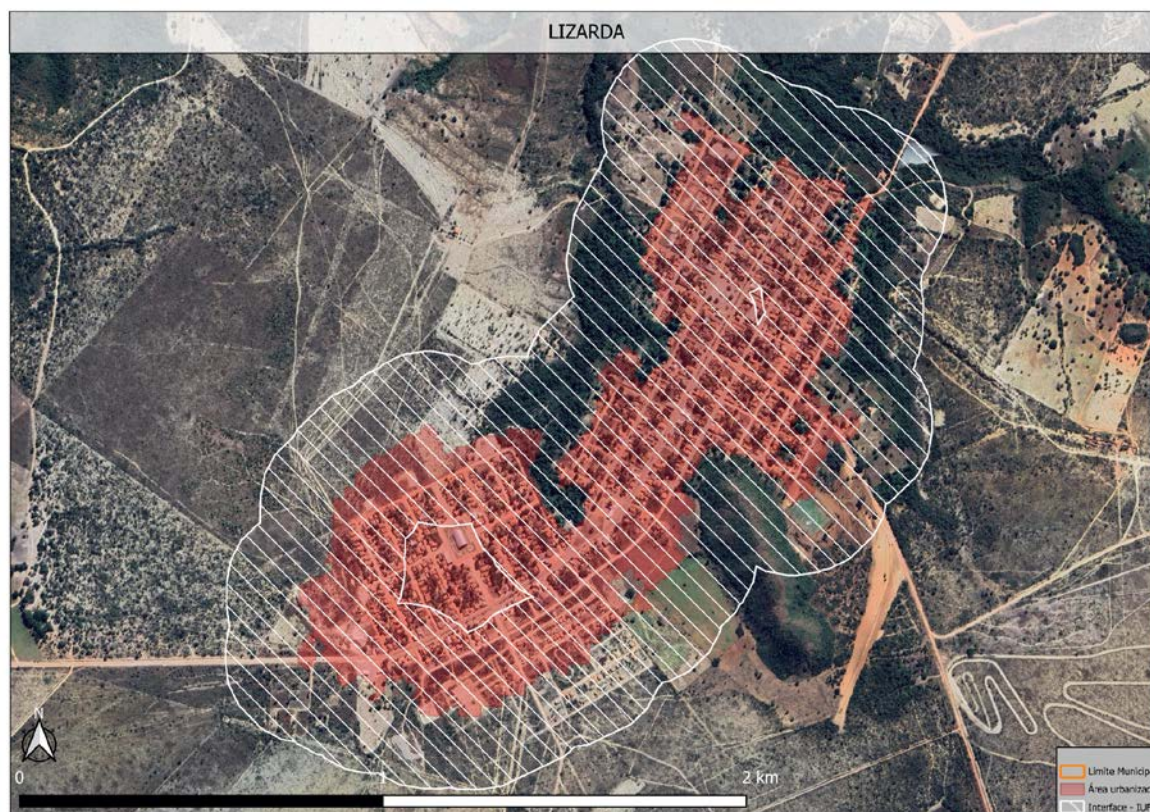


Figura AI.11 - Interface Urbano Florestal – Lizarda

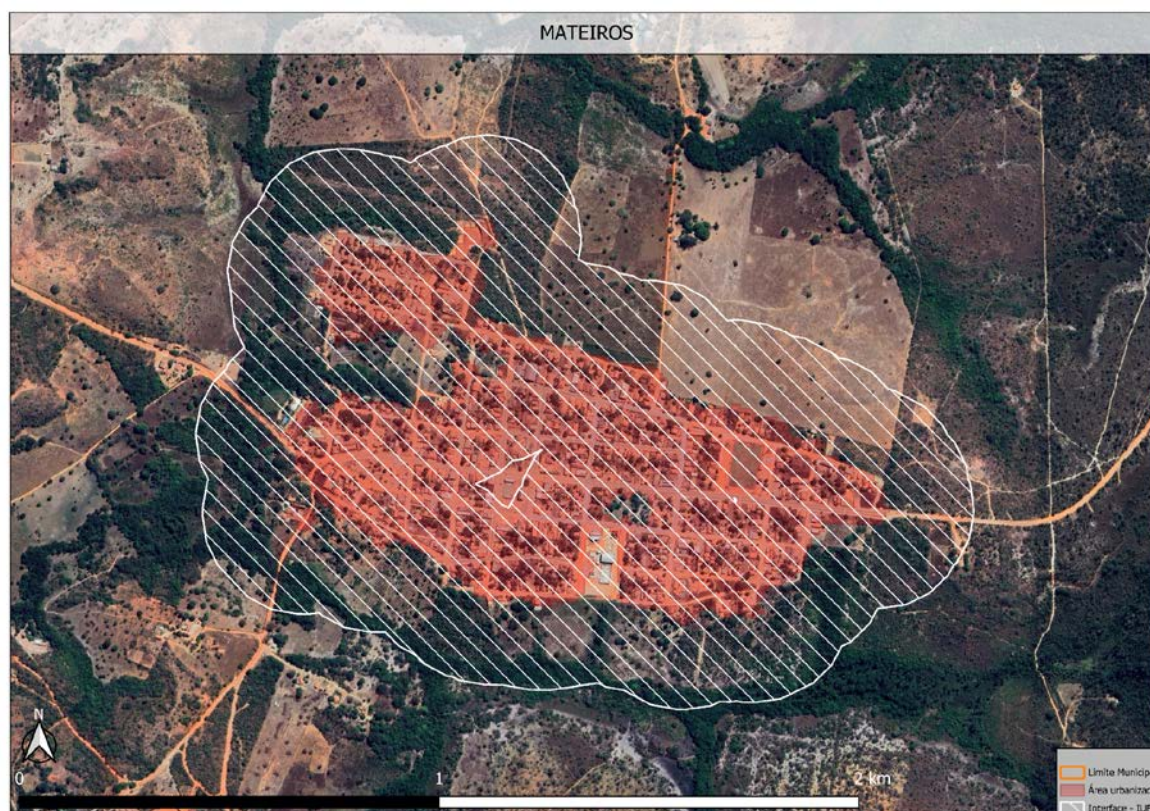


Figura AI.12 - Interface Urbano Florestal – Mateiros

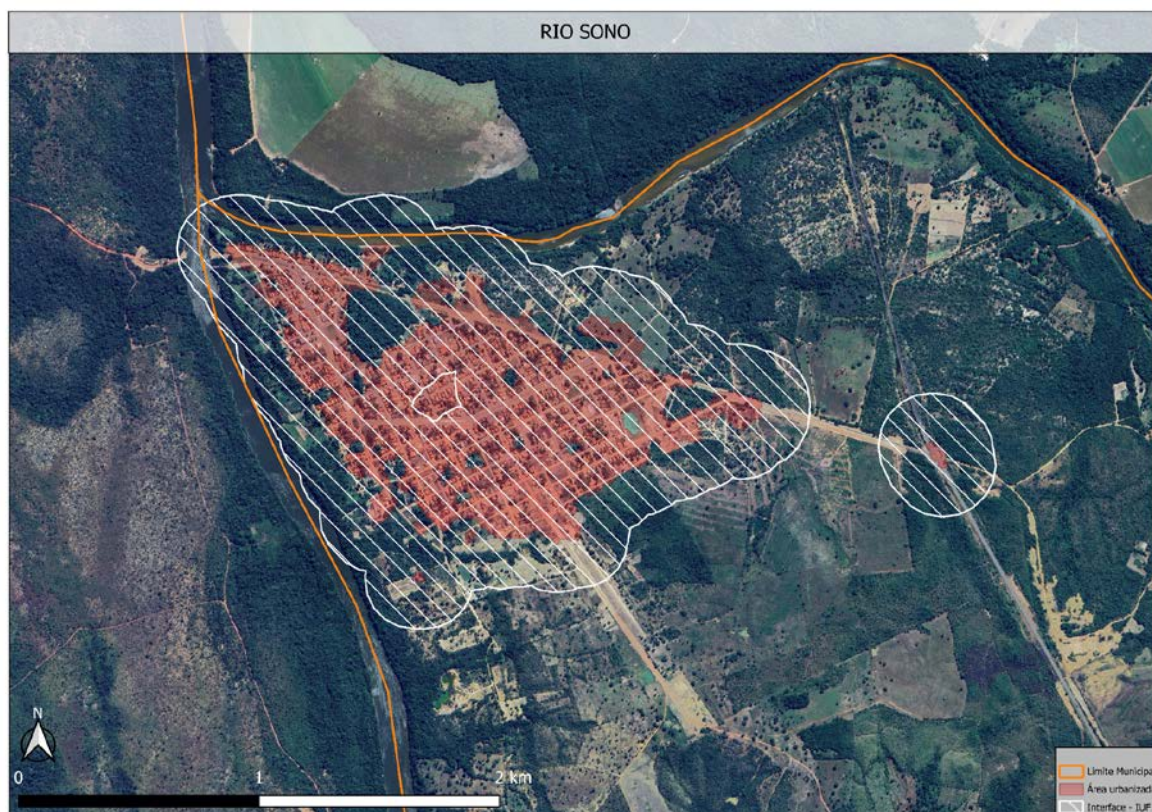


Figura AI.13 - Interface Urbano Florestal – Rio Sono



Figura AI.14 - Interface Urbano Florestal – Arraias

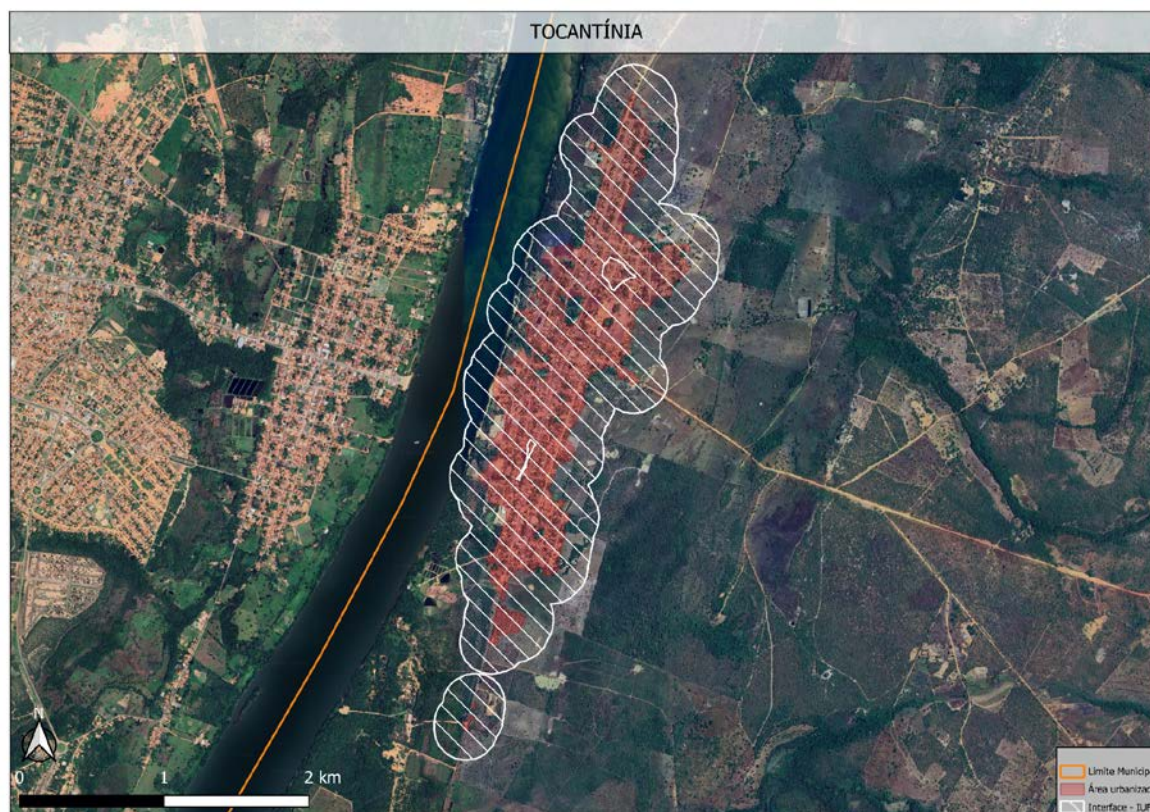


Figura A1.15 - Interface Urbano Florestal – Tocantínia

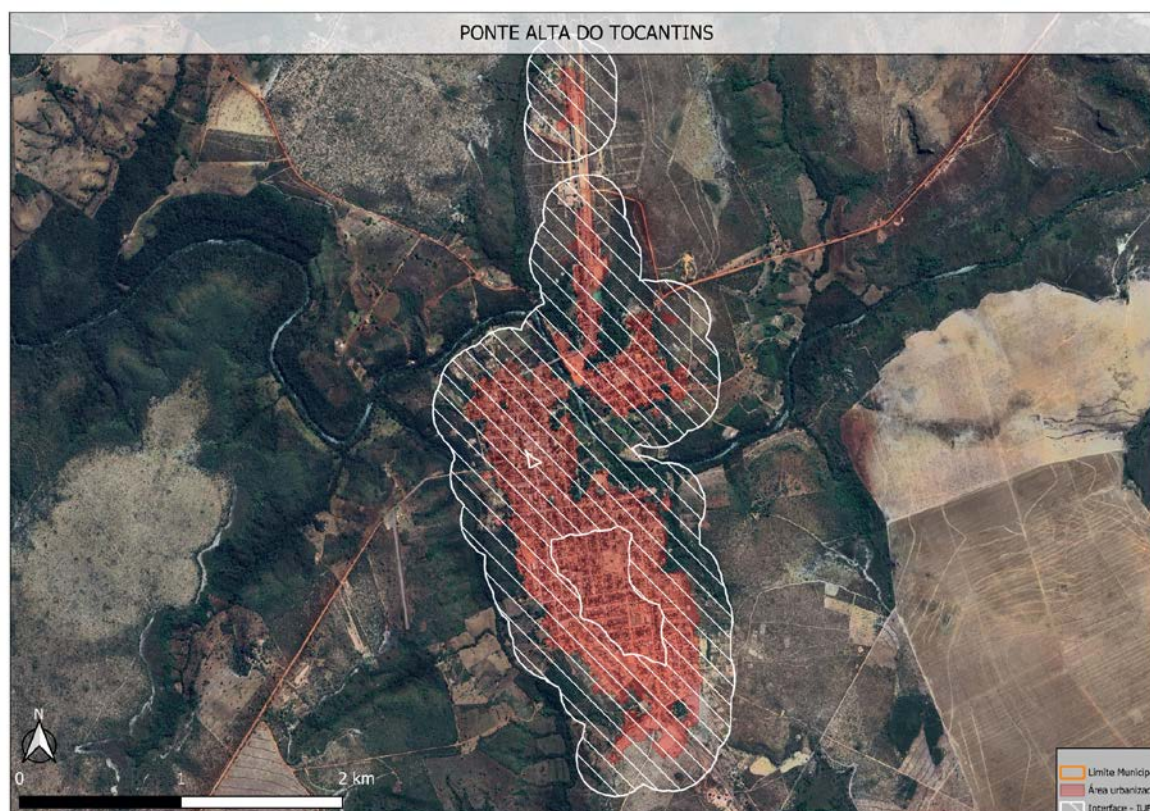


Figura A1.16 - Interface Urbano Florestal – Ponte Alta do Tocantins

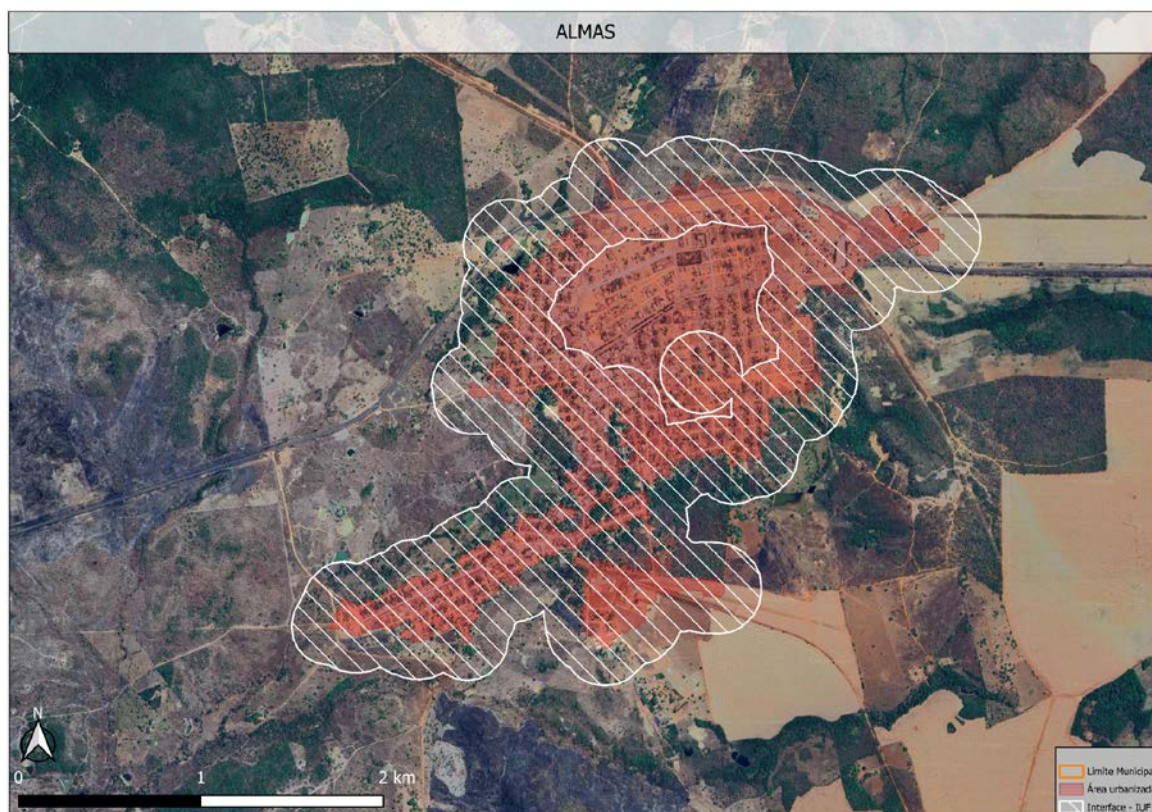


Figura AI.17 - Interface Urbano Florestal – Almas

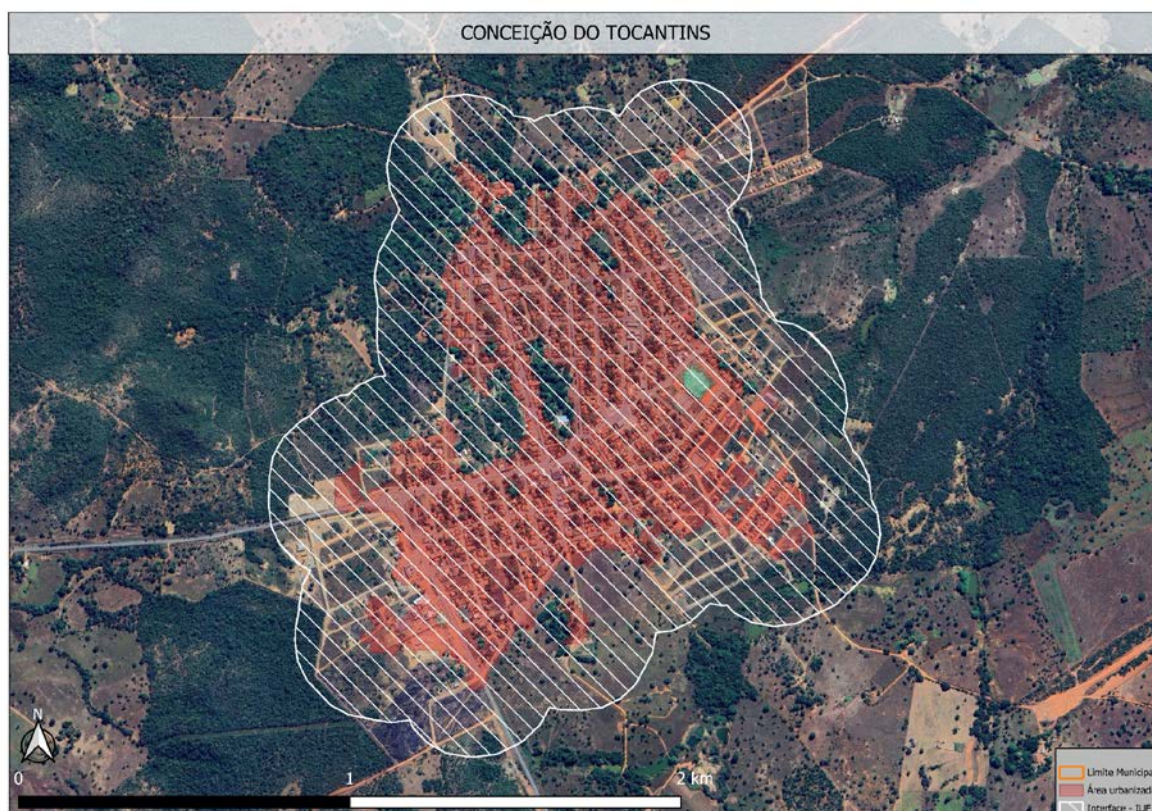


Figura AI.18 - Interface Urbano Florestal – Conceição do Tocantins

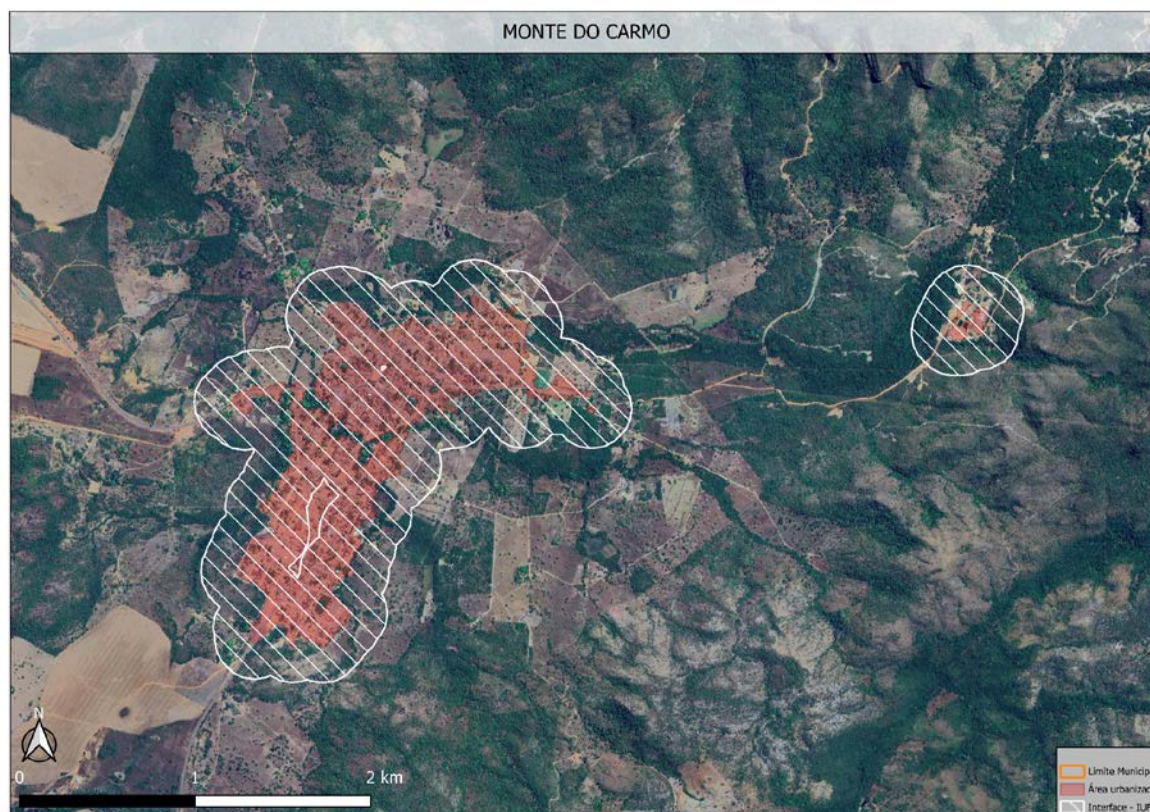


Figura A1.19 - Interface Urbano Florestal – Monte do Carmo

AI.2. CICATRIZES DE INCÊNDIOS NA IUF DE PALMAS-TO

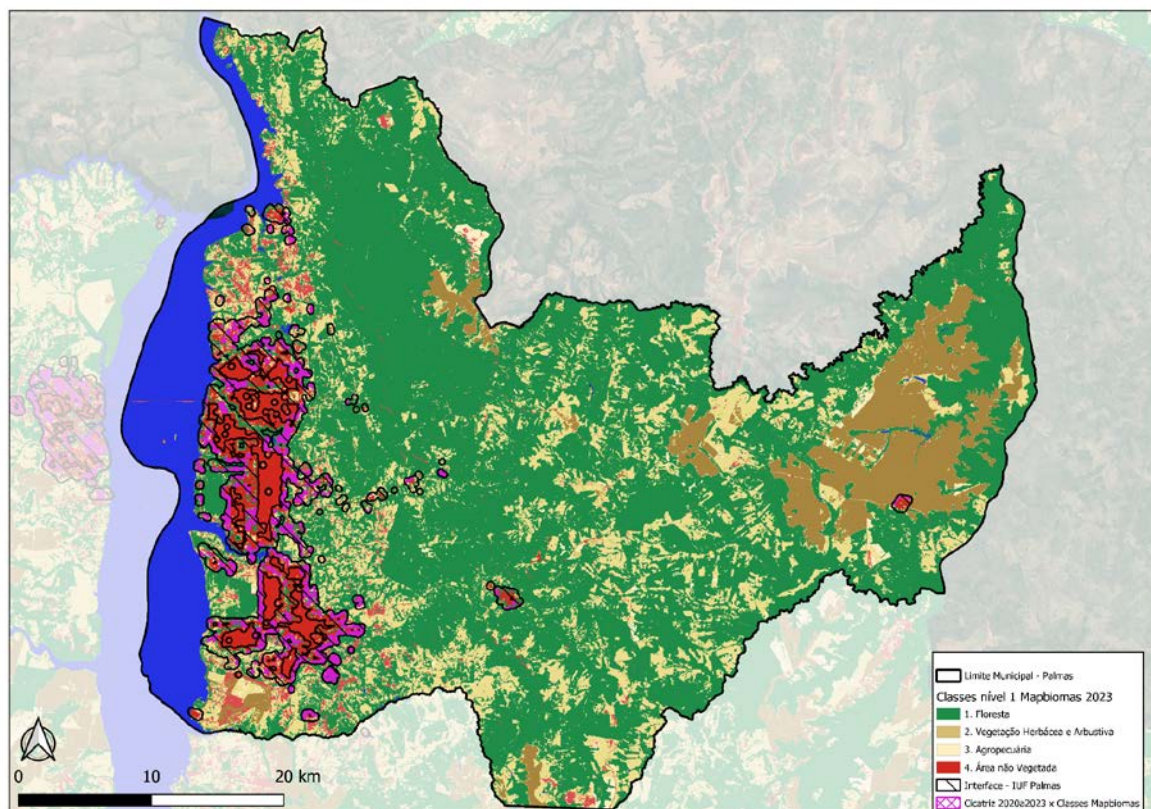
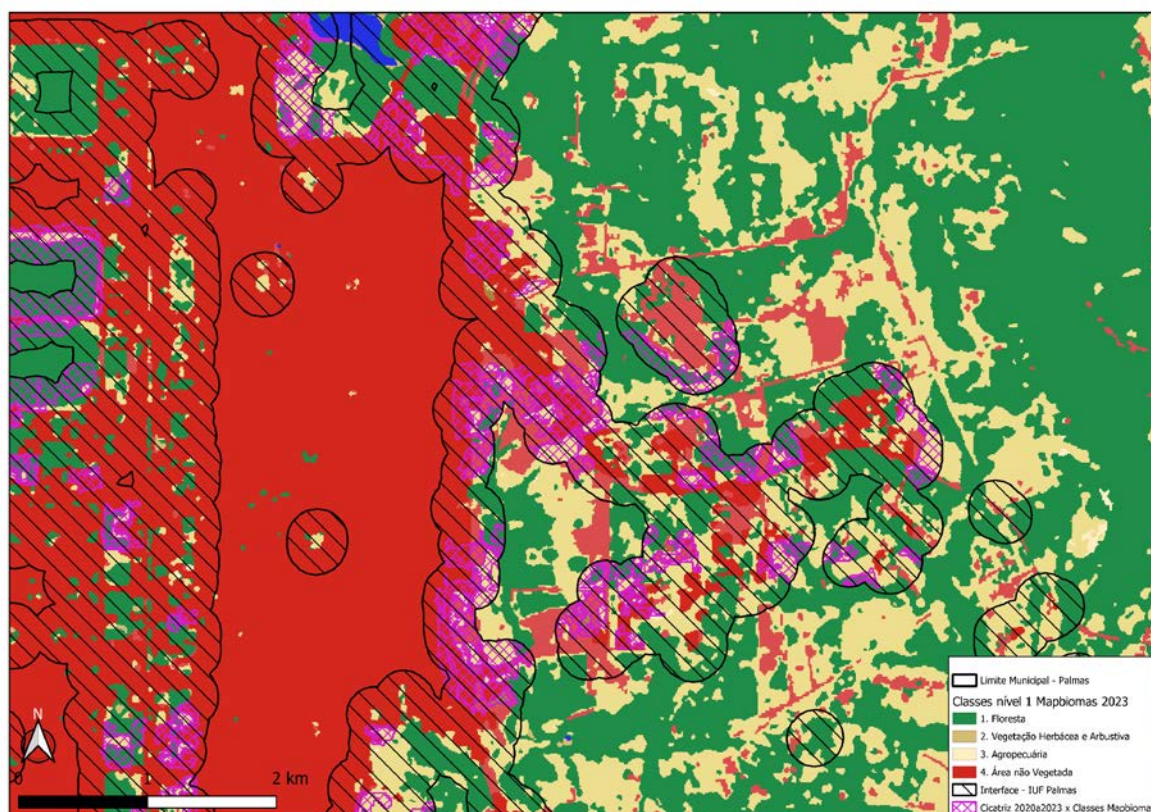


Figura AI.20 – Cicatrizes dentro da IUF – Palmas



Figuras AI.21 – Concentração cicatrizes IUF – Palmas