



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM
CIÊNCIAS DA TERRA E DO AMBIENTE



DINÂMICA DO FOGO NA REGIÃO MATOPIBA E SUA RELAÇÃO COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA

RAIÂNATA MACHADO FIGUEIREDO

Feira de Santana/BA

2023

RAIÂNNATA MACHADO FIGUEIREDO

**DINÂMICA DO FOGO NA REGIÃO MATOPIBA E SUA RELAÇÃO
COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente – PPGM, da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título de mestrado.

Orientador: Drº Rodrigo Nogueira de Vasconcelos

Coorientador: Drº Washington de J. S. da Franca Rocha

Feira de Santana/BA

2023

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

F488 Figueiredo, Raiannata Machado
Dinâmica do fogo na região matopiba e sua relação com as mudanças de uso e cobertura / Raiannata Machado Figueiredo–, 2023.
78p.:il.
Orientador: Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Coorientador: Washington de J. S. da Franca Rocha
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, 2023.

1. Dinâmica do fogo - Transições no uso e cobertura da terra – Região Matopiba. 2. Métricas da paisagem. 3. Uso da terra - Correlação espacial -Frequência de queima. I. Vasconcelos, Rodrigo Nogueira de, orient. II. Rocha, Washington de J. S. da Franca, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU:55

Raiânnata Machado Figueiredo

"DINÂMICA DO FOGO NA REGIÃO MATOPIBA E SUA RELAÇÃO COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana.

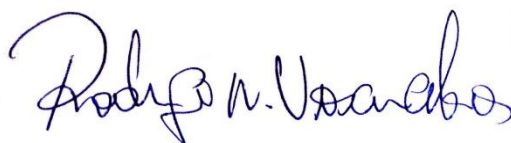
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Vasconcelos.

Co-orientador: Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Data de aprovação: 09 de março de 2023.

BANCA EXAMINADORA:



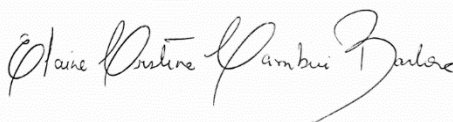
Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Vasconcelos - Orientador
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha - Coorientador
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



Profª Dª Jocimara Souza Britto Lobão
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



Profª Drª Elaine Cristina Cambui Barbosa
Universidade Federal da Bahia - UFBA

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me guiou durante toda essa caminhada.

A minha família, em especial a minha mãe Carina, meu pai Rouviere e minha irmã Raíssa, por estarem sempre comigo, sendo amparo e incentivo sempre que precisei.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Nogueira Vasconcelos e coorientador Dr^o Washington da Franca Rocha pelas orientações e ensinamentos fundamentais para a condução deste trabalho.

A Sarah Moura, pelo apoio e contribuições.

As Prof.^{as} Dr.^a Elaine Cristina Cambuí Barbosa e Dr.^a Jocimara Souza Britto Lobão, membros da Banca Examinadora, por terem atendido ao convite para desempenhar este papel, dispondo de tempo e conhecimento para analisar este trabalho.

A Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) e ao corpo docente, coordenação e secretaria do Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM).

Aos amigos da turma XV da Pós-Graduação em Modelagem (PPGM), em especial a Néia, Bruna e Adeid, pelo companheirismo e todos os momentos vividos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela bolsa concedida.

RESUMO

O fogo é um processo ecológico diretamente influenciado por fatores climáticos, biológicos e humanos, apesar desse fenômeno ser recorrente no Cerrado brasileiro, as alterações antrópicas vêm causando mudanças significativas na dinâmica do mesmo. Especificamente, a região do MATOPIBA, inserida nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, é uma das principais áreas dentro desse bioma onde ocorrerem diversas mudanças no uso da terra, visto que, a mesma é considerada a última fronteira agrícola do país. Essas alterações são um fator extremamente determinante para a ocorrência do fogo, uma vez que, alteram as cargas de combustível e as taxas de ignição. A partir disso, o objetivo dessa dissertação foi mapear o conhecimento teórico e empírico acerca da relação entre o fogo e as mudanças de uso da terra. O primeiro artigo identificou, a partir de buscas na base de dados SCOPUS, artigos que investigavam a relação entre o uso da terra e fogo, e a partir disso analisou-se as principais tendências metodológicas dentro dessa área temática. Os resultados apontam um crescimento no número de artigos publicados, com destaque para o período de 2014 a 2022. Observou-se um amplo número de autores envolvidos nessas pesquisas com destaque para o autor Shimabukuro, que possui o maior número de documentos. Os países que mais publicaram foram os Estados Unidos e o Brasil. Ademais, a evolução dos termos e palavras chaves permitiu a análise da evolução metodológica desses estudos. O segundo artigo buscou analisar dentro do MATOPIBA, os padrões espaciais da paisagem por meio de métricas da paisagem, o padrão do fogo a partir de cicatrizes de queimadas e correlacionar a frequência de queima com áreas de transição entre a vegetação natural para agropecuária, utilizando dados do projeto MapBiomas, e a partir disso entender a relação entre o fogo e as mudanças no uso da terra na região. Como resultado foi possível observar que a principal transição de uso da terra foi a perda da vegetação natural em detrimento da implantação de áreas de agropecuária, além disso, existe uma tendência de fragmentação das áreas de savana, enquanto as áreas agrícolas estão se tornando cada vez maiores e mais homogêneas. As áreas de savana são também as que possuem maior frequência de queima. Em termo de correlação local, o fogo está relacionado com as mudanças no uso da terra predominantemente no oeste da região MATOPIBA e no estado da Bahia.

Palavras-Chave: bibliometria, correlação espacial, dinâmica do fogo, métrica da paisagem, região MATOPIBA, uso da terra

ABSTRACT

Fire is an ecological process directly influenced by climatic, biological and human factors. Although this phenomenon is recurrent in the Brazilian Cerrado, anthropic alterations have been causing significant changes in its dynamics. Specifically, the MATOPIBA region, inserted in the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia, is one of the main areas within this biome where several land use changes have occurred, since it is considered the last agricultural frontier in the country. These changes are an extremely determinant factor for the occurrence of fire, since they alter the fuel loads and ignition rates. Based on this, the objective of this dissertation was to map the theoretical and empirical knowledge about the relationship between fire and land use change. The first article identified, from searches in the SCOPUS database, articles that investigated the relationship between land use and fire, and from this the main methodological trends within this thematic area were analyzed. The results point to a growth in the number of published articles, with emphasis on the period from 2014 to 2022. It was observed a large number of authors involved in this research, especially the author Shimabukuro, who has the largest number of documents. The countries that published the most were the United States and Brazil. Furthermore, the evolution of terms and key words allowed the analysis of the methodological evolution of these studies. The second article sought to analyze within MATOBIBA, the spatial patterns of the landscape through landscape metrics, the pattern of fire from burn scars and correlate the frequency of burning with areas of transition from natural vegetation to agriculture and cattle ranching, using data from the MapBiomas project, and from this to understand the relationship between fire and changes in land use in the region. As a result it was possible to observe that the main land use transition was the loss of natural vegetation in detriment of the implantation of agriculture and cattle ranching areas, moreover, there is a tendency of fragmentation of the savannah areas, while the agricultural areas are becoming larger and more homogeneous. Savanna areas are also those with the highest frequency of burning. In terms of local correlation, fire is related to land use change predominantly in the west of the MATOPIBA region and in the state of Bahia.

Keywords: bibliometrics, spatial correlation, fire dynamics, landscape metrics, MATOPIBA region, land use

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

DINÂMICA DO FOGO E SUAS RELAÇÕES COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

- Figura 1:** Fluxograma metodológico aplicado na análise bibliométrica de estudos acerca das mudanças de uso e cobertura da terra e o fogo20
- Figura 2:** Gráfico da evolução das publicações no período de 1991 a 2022. Em vermelho a quantidade de artigos publicados por ano, a curva azul representa a acumulação dos artigos publicados.24
- Figura 3:** Gráfico da quantidade de publicações e respectivas citações dos principais autores no período de 1991-2020. As cores representam a quantidade de documentos publicados em cada ano, enquanto o tamanho do círculo retrata a quantidade de citações desses documentos25
- Figura 4:** Mapa de colaboração entre pesquisadores de diferentes países. Em azul mais escuro países com maior número de publicações, a quantidade de linhas que ligam os países indicam o quão forte é a relação entre eles.26
- Figura 5:** Redes de coocorrência de termos. a) Rede da década 1990; b) Rede da década 2000; c) Rede da década 2010; d) Rede da década 2020; e) Rede do período de 1991-2022.....30
- Figura 6:** Gráfico das principais áreas de estudo, dados e métodos utilizados nos artigos mais citados, com as seguintes abreviações: Global Forest Change: GFC; Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES); Metodologia de Interpretação Visual: Visual32

CAPÍTULO III

INFLUÊNCIA DA MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA NO COMPORTAMENTO DO FOGO NA REGIÃO MATOPIBA

- Figura 1:** Localização da região MATOPIBA destacando os estados que fazem parte da área.55
- Figura 2:** Mudanças no uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA ocorrida entre os anos de 1998 à 2020.61
- Figura 3:** Transições que ocorreram nos usos e coberturas da terra no MATOPIBA, entre os anos de 1985 e 2020.62
- Figura 4:** Distribuição espacial das transições entre usos da terra na região do MATOPIBA no período entre 1985 e 2020.....63
- Figura 5:** Variação temporal das métricas da paisagem para cada tipo de uso e cobertura da terra, com as seguintes abreviações: Agropecuária: AGP; Áreas Não Vegetadas: NVEGET; Vegetação Natural: VegNat; Porcentagem de ocupação de cada classe na paisagem: PLAND; Número de manchas: NP; Índice de maior mancha: LPI; Índice de divisão da paisagem: LDI; Área total de cada classe: TA.....64
- Figura 6:** Série temporal da área queimada por classe de uso da terra na região do MATOPIBA.66
- Figura 7:** Mapa da frequência de queima na região do MATOPIBA, áreas mais avermelhadas indicam uma maior frequência de queima e áreas amareladas indicam menor frequência de

queima. O valor 1 indica que a área queimou um ano e o 36 indica que a área queimou todos os anos dentro dos 36 anos de análise.....	67
Figura 8: Correlação entre as áreas com transições e a frequência de queima, os valores não significativos (p-value >0,05) foram mascarados. A) mapa de correlação espacial entre as transições de uso da terra e frequência de queima. B) Gráfico da área correspondente a cada correlação.....	69

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO II

DINÂMICA DO FOGO E SUAS RELAÇÕES COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Quadro 1: Artigos mais citados por década, suas respectivas citações, os dados e métodos utilizados e a área de estudo pesquisada.....	47
---	----

CAPÍTULO III

INFLUÊNCIA DA MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA NO COMPORTAMENTO DO FOGO NA REGIÃO MATOPIBA

Quadro 1: Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra com base na coleção 6 do MapBiomias.	58
Quadro 2: Descrição das métricas da paisagem utilizadas para quantificar a estrutura da paisagem na região MATOPIBA.	59

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

DINÂMICA DO FOGO E SUAS RELAÇÕES COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Tabela 1: Descrição das perguntas analisadas e dados utilizados.....	20
Tabela 2: Relação da quantidade de publicações por instituições.	27

LISTA DE SIGLAS

BA – Bahia

BRT - *Boosted Regression Tree*

CSV – Valores Separados por Vírgula

DNN – *Deep Neural Network*

DT – *Decision Tree*

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA – Estados Unidos da América

GEE – *Google Earth Engine*

GFC – *Global Forest Change*

GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite*

GOFC-GOLD – *Global Observation for Forest Cover and Land Dynamics*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

JICA – Agência Japonesa de Cooperação Internacional

LANDSAT – *Missão Land Remote Sensing Satellite*

LDI - Índice de Divisão da Paisagem

LPI - Índice de Maior Mancha

LULC – Uso e Cobertura da Terra

MA – Maranhão

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

NBR – *Normalised Burn Ratio*

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

NP - Número de Manchas

PDA-MATOPIBA – Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA

PI – Piauí

PLAND - Porcentagem de Ocupação de Cada Classe na Paisagem

PRODECER - Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento Agrícola dos Cerrados

PRODES – Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Brasileira

RF – *Random Forest*

SPOT – *Satellite Pour l'Observation de la Terre*

TA – Área Total de Cada Classe

TO – Tocantins

UCs – Unidades de Conservação

Sumário

CAPÍTULO I - APRESENTAÇÃO	14
1.1. OBJETIVO GERAL	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
CAPÍTULO II – DINÂMICA DO FOGO E SUAS RELAÇÕES COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	16
RESUMO	16
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	16
2. MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE BUSCA	21
2.2. TRIAGEM DOS ARTIGOS	21
2.3. ANÁLISE DOS DADOS	22
2.4. ANÁLISE DOS ARTIGOS MAIS CITADOS	23
3. RESULTADOS	23
3.1. EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES	23
3.2. PRINCIPAIS AUTORES	24
3.3. PRINCIPAIS PERIÓDICOS	25
3.4. PRINCIPAIS PAÍSES	25
3.5. PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES	26
3.6. EVOLUÇÃO TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DAS PALAVRAS-CHAVE	27
3.7. ARTIGOS MAIS CITADOS	31
4. DISCUSSÃO	33
5. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	38
MATERIAL SUPLEMENTAR	47
RESUMO	52
ABSTRACT	52
1. INTRODUÇÃO	53
2. METODOLOGIA	54
2.1. ÁREA DE ESTUDO	54
2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS	57

2.3. MÉTRICAS DA PAISAGEM	58
2.6. CORRELAÇÃO ESPACIAL.....	60
3. RESULTADOS	61
3.1. TRANSIÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA.....	61
3.2. MÉTRICAS DA PAISAGEM.....	64
3.3. DINÂMICA DO FOGO.....	66
3.4. CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE TRANSIÇÃO DE USO DA TERRA E FREQUÊNCIA DE QUEIMA.....	68
4. DISCUSSÃO	70
5. CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS.....	74

CAPÍTULO I - APRESENTAÇÃO

O tema dessa dissertação está centralizado na relação entre as mudanças do uso da terra e o regime de fogo. O fogo é um distúrbio que acontece naturalmente em vários tipos de vegetação do mundo, resultado das diversas interações entre fatores biológicos, climáticos e humanos, dessa forma as alterações antrópicas são capazes de afetar significativamente nos seus padrões e regimes.

Para este estudo foram analisadas duas vertentes que estão divididas em dois capítulos. No primeiro capítulo está apresentada uma análise bibliométrica, com objetivo de identificar quais os principais padrões e tendências das pesquisas científicas que estão sendo realizadas dentro dessa temática. No segundo capítulo, está apresentado um estudo acerca dos padrões do fogo e as transições que aconteceram entre os usos da terra na região do MATOPIBA e a relação entre eles. Estes estudos em concomitância, tem como objetivo, instigar as discussões acerca do tema e se tornar uma ferramenta útil para o auxílio da conservação ambiental em uma área de extrema relevância para o país e para o mundo.

A bibliometria é um método de análise quali-quantitativo da produção científica que determina indicadores significativos para medir o material bibliográfico de uma determinada área de pesquisa. Através das métricas resultantes, foi possível uma contextualização e avaliação dos estudos realizados sobre o fogo e o uso da terra no Brasil e no mundo, permitindo o entendimento de como os estudos estão sendo abordados e quais os principais autores, instituições e países se destacam na temática, assim como as tendências e principais desafios encontrados. Dessa forma a análise bibliométrica permitiu uma visão ampla sobre o panorama atual das pesquisas acerca do fogo e qual a sua relação com as alterações de uso da terra. Os resultados obtidos nesse estudo foram imprescindíveis e orientaram o desenvolvimento e análise do segundo capítulo.

Diante da necessidade de compreender as particularidades de cada região em relação ao fenômeno do fogo de modo a garantir subsídio para a construção de planos de manejo mais apropriados, o segundo capítulo dessa dissertação buscou entender a relação entre o fogo e a dinâmica de uso da terra na região do MATOPIBA. A região do MATOPIBA, é a última fronteira agrícola do país e dessa forma, vem passando por significativas alterações no seu uso da terra principalmente para a inserção de áreas agrícolas, aliado a isso, a região se encontra

quase que em totalidade no bioma Cerrado, este que é naturalmente propenso a atividade do fogo devido às suas características.

Para que o fogo aconteça é necessário que se tenha combustível e ignição, fatores estes que são diretamente relacionados com as alterações de uso da terra, desse modo se torna imprescindível analisar como essas mudanças vem impactando no regime de fogo da região. Desse modo, a hipótese deste trabalho é que as alterações que aconteceram no uso da terra no MATOPIBA entre os anos de 1985 e 2020, principalmente as transições entre áreas de vegetação natural para áreas agropecuárias impactaram no padrão do fogo na região.

1.1. OBJETIVO GERAL

Compreender como a dinâmica de uso e cobertura da terra pode afetar as mudanças nos padrões espaço/temporais do fogo na região MATOPIBA entre 1985-2020.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Entender como as discussões acerca dos temas uso e cobertura da terra e dinâmica do fogo estão evoluindo nas últimas décadas e quais principais metodologias estão sendo utilizadas para relacionar as duas temáticas.
- ii. Avaliar a distribuição espacial e temporal das cicatrizes de queimadas a fim de evidenciar padrões de comportamento do fogo na região MATOPIBA, as classes de uso da terra que foram mais afetadas pelo fogo e qual a relação entre as áreas com maiores mudanças no uso e cobertura da terra e as maiores ocorrências de cicatrizes de queimadas.

CAPÍTULO II – DINÂMICA DO FOGO E SUAS RELAÇÕES COM AS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

RESUMO

O fogo, fenômeno natural presente em vários ecossistemas, é resultante das diversas interações entre clima, vegetação e atividades humanas, logo, os estudos acerca de como as intervenções antrópicas no uso da terra vêm modificando os regimes de fogo estão crescendo significativamente, tornando-se necessária a sintetização desses dados por meio de uma análise bibliométrica. O objetivo deste estudo foi mapear e analisar a evolução, distribuição geográfica e colaboração do conhecimento científico, entender os padrões e tendências da literatura científica e as principais bases conceituais e metodológicas empregadas nos estudos sobre as influências das mudanças no uso da terra no comportamento do fogo. Para isso utilizou-se a base de dados da SCOPUS, a partir das métricas e palavras chaves, utilizando ferramentas bibliométricas, foi possível observar a evolução do conhecimento científico. Selecionou-se 10% dos artigos mais citados para análise dos principais métodos e dados utilizados para relacionar as temáticas. Foram identificados 295 artigos publicados com um crescimento significativo, com destaque para o período de 2014-2022, os países que mais estudaram o tema foram Estados Unidos (n=74) e Brasil (n=73), tendo destaque também a cooperação entre esses dois países. O autor Shimabukuro Y. teve maior número de documentos publicados (n=12). Os artigos foram predominantemente publicados no periódico *Remote Sensing*. A análise das redes de coocorrência e os artigos mais citados mostraram uma ampla utilização de dados de satélites e metodologias aplicadas no mapeamento e monitoramento de áreas queimadas, assim como na identificação de fatores condicionantes para o surgimento e alteração dos regimes de fogo.

Palavras chave: ações antrópicas; bibliometria; cientometria; incêndios; queimadas; revisão.

ABSTRACT

Fire, a natural phenomenon in several ecosystems, results from the various interactions between climate, vegetation, and human activities. Therefore, studies about how anthropic interventions in land use have been modifying fire regimes are growing significantly, becoming It is necessary to synthesize these data through a bibliometric analysis. The objective of this study was to map and analyze the evolution, geographic distribution, and collaboration of scientific knowledge, to understand the patterns and trends of the scientific literature and the main conceptual and methodological bases used in studies on the influences of changes in land use on fire behavior. For this, the SCOPUS database was used. Bibliometric tools were used to observe the evolution of scientific knowledge from the metrics and keywords. 10% of the most cited articles were selected to analyze the main methods and data related to the themes. Two hundred and ninety five articles published with significant growth were identified, emphasizing 2014-2022. The countries that most studied the subject were the United States (n=74) and Brazil (n=73), also highlighting the cooperation between these two countries. The author Shimabukuro Y. had the highest number of documents published (n=12). The articles were predominantly published in the journal *Remote Sensing*. The analysis of the co-occurrence networks and the most cited articles showed a wide use of satellite data and methodologies applied in the mapping and monitoring of burned areas, as well as in the identification of conditioning factors for the emergence and alteration of fire regimes.

Keywords: anthropic actions; bibliometrics; scientometrics; fires; burned; review.

1. INTRODUÇÃO

O fogo está presente em vários ecossistemas e a milhões de anos influencia na distribuição global de biomas e auxilia na manutenção da estrutura e função de comunidades propensas ao mesmo, atuando como força ecológica e evolutiva e com papel fundamental na diversidade de espécies (BOND; KEELEY, 2005; GONÇALVES, 2021; HE; LAMONT; PAUSAS, 2019). Apesar de alguns ecossistemas serem adaptados ao fogo, os incêndios são considerados agentes de perturbação que podem acarretar na degradação desses ambientes (ARROGANTE-FUNES; AGUADO; CHUVIECO, 2022).

O regime de fogo é uma representação das características recorrentes dos incêndios e seus impactos incluindo: frequência, intensidade e gravidade, além do padrão de consumo dos combustíveis (KEELEY et al., 2011; MCLAUHLAN et al., 2020). Sendo esse resultante das complexas interações entre fatores climáticos, biológicos e humanos, em que as ações humanas desempenham papel fundamental em suas alterações (ABREU et al., 2022; BOWMAN et al., 2011; FIDELIS, 2020; LARIS, 2013). Os seres humanos vêm contribuindo para a modificação dos regimes de fogo desde o início da sua história, em razão das alterações significativas na população humana, particularmente no que diz respeito ao crescimento, fatores socioeconômicos e gestão da terra, o homem se tornou o principal agente das tendências globais de atividade de fogo (PAUSAS; KEELEY, 2009; PECHONY; SHINDELL, 2010).

Estas alterações estão relacionadas principalmente com aumento das ignições, queima em épocas distintas, modificação dos combustíveis, supressão do fogo e contribuição com o efeito estufa (BALCH et al., 2017; MCLAUHLAN et al., 2020). Dessa forma, as mudanças uso da terra (LULC), causadas principalmente em detrimento da vegetação nativa, impactam tanto no teor de combustível quanto nas ignições, principais reguladores das condições locais de incêndio e também são impulsionadas pelo incêndio e risco de incêndio (BUTSIC; KELLY; MORITZ, 2015; EVA; LAMBIN, 2000).

Logo, existe um grande interesse no entendimento acerca das tendências e variabilidades dos regimes do fogo e como as mudanças no uso da terra vem afetando os mesmos, e conseqüentemente uma crescente nos estudos científicos sobre o tema, se tornando essencial a sintetização desses dados científicos. Segundo Kumar et al. (2020), o avanço em uma determinada área de pesquisa se dá a partir da sintetização lógica tendo como base os estudos realizados anteriormente.

Diversas revisões acerca do fogo e suas interações já foram realizadas (CALDARARO, 2002; GOMES; MIRANDA; BUSTAMANTE, 2018; JONES et al., 2022). As revisões de literatura tem por objetivo resumir as evidências, esclarecer controvérsias e identificar lacunas em um determinado campo de pesquisa, apesar disso, essas revisões podem ser enviesadas, por meio do uso de uma parte não representativa da literatura ou preconceitos e opiniões (HADDAWAY et al., 2015). Além disso, alguns autores apontam que a revisão da literatura oferece apenas uma seleção arbitrária de evidências e muitas vezes não representa o estado do conhecimento existente (LINNENLUECKE; MARRONE; SINGH, 2020).

Por sua vez, a análise bibliométrica é utilizada no mapeamento do conhecimento científico de forma objetiva a partir de técnicas e procedimentos pré-determinados (DONTHU et al., 2021). A análise bibliométrica compreende a aplicação de estatística para estudar as características de uso e criação de documentos (SPINAK, 1998). De modo a fornecer informações úteis de uma determinada área de pesquisa como medição do material bibliográfico, identificação de tendências sobre um assunto, obsolescência e disseminação de trabalhos científicos, assim como o impacto da pesquisa e possibilidades de cooperação (ÁLVAREZ-GARCÍA; DURÁN-SÁNCHEZ; DEL RÍO-RAMA, 2018; ELLEGAARD; WALLIN, 2015; THANUSKODI; VENKATALAKSHMI, 2010).

A bibliometria tem ampla aplicação em diversas áreas do conhecimento como: gestão e negócios (ALVINO et al., 2020), medicina (GEANEY et al., 2015) e nas ciências ambientais (ALEIXANDRE-BENAVENT et al., 2018; HERRERA-FRANCO et al., 2021). Atualmente alguns estudos bibliométricos sobre o fogo já foram realizados, buscando principalmente revisar, analisar e identificar as tendências das pesquisas sobre: os incêndios florestais (HAGHANI et al., 2022; JUAREZ-OROZCO; SIEBE; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, 2017), o manejo do fogo em zonas úmidas (WILLIAMS-JARA et al., 2022) e a utilização das técnicas de sensoriamento remoto para a identificação dos padrões da ocorrência do fogo (Santana et al., 2021; Santos et al., 2021), entretanto não existe estudo bibliométrico disponível sobre os estudos acerca dos efeitos das mudanças do uso e cobertura da terra no regime do fogo.

Considerando a atual importância sobre o entendimento entre os processos associados a dinâmica do fogo, no que diz respeito a sua relação com as mudanças de uso e cobertura da terra, informações críticas sobre a produção de pesquisas voltadas a essa temática são essenciais para a gestão desses recursos no tempo e no espaço. Diante disso, neste artigo está apresentado um estudo bibliométrico que avalia os avanços no campo científico voltado ao entendimento da relação entre a dinâmica do fogo e as mudanças no uso e cobertura da terra. Desta forma, pretendemos fornecer contribuições essenciais sobre possíveis lacunas de informação, qualidade e tendências neste campo da literatura.

Neste artigo, o objetivo foi mapear e analisar o crescimento, evolução, distribuição geográfica e colaboração do conhecimento científico resultantes das pesquisas sobre a interação entre fogo e LULC por meio de métodos bibliométricos, além de entender os padrões e tendências da literatura científica e as principais bases conceituais e metodológicas empregadas nesses estudos.

A principais questões analisadas foram: (1) Como a literatura se desenvolveu no tempo? (2) Que áreas temáticas do conhecimento foram abordadas e os principais periódicos responsáveis pela divulgação das informações? (3) Quais são as frentes de pesquisa (países, instituições, autores)? (4) Como a estrutura intelectual evoluiu ao longo do tempo e quais são as principais tendências de pesquisa? (5) Quais artigos foram mais citados? (6) Quais os principais dados e métodos utilizados para relacionar o fogo e as mudanças no uso e cobertura da terra?

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para realizar a análise bibliométrica e a construção dos mapas bibliométricos está apresentada na Figura 1, sendo dividida nas seguintes etapas: (I) Definição dos critérios de busca (II) Triagem dos artigos e (III) Análise dos dados. Na Tabela 1 estão apresentadas as questões relacionadas aos objetivos deste estudo, as análises realizadas e os dados utilizados para respondê-las.

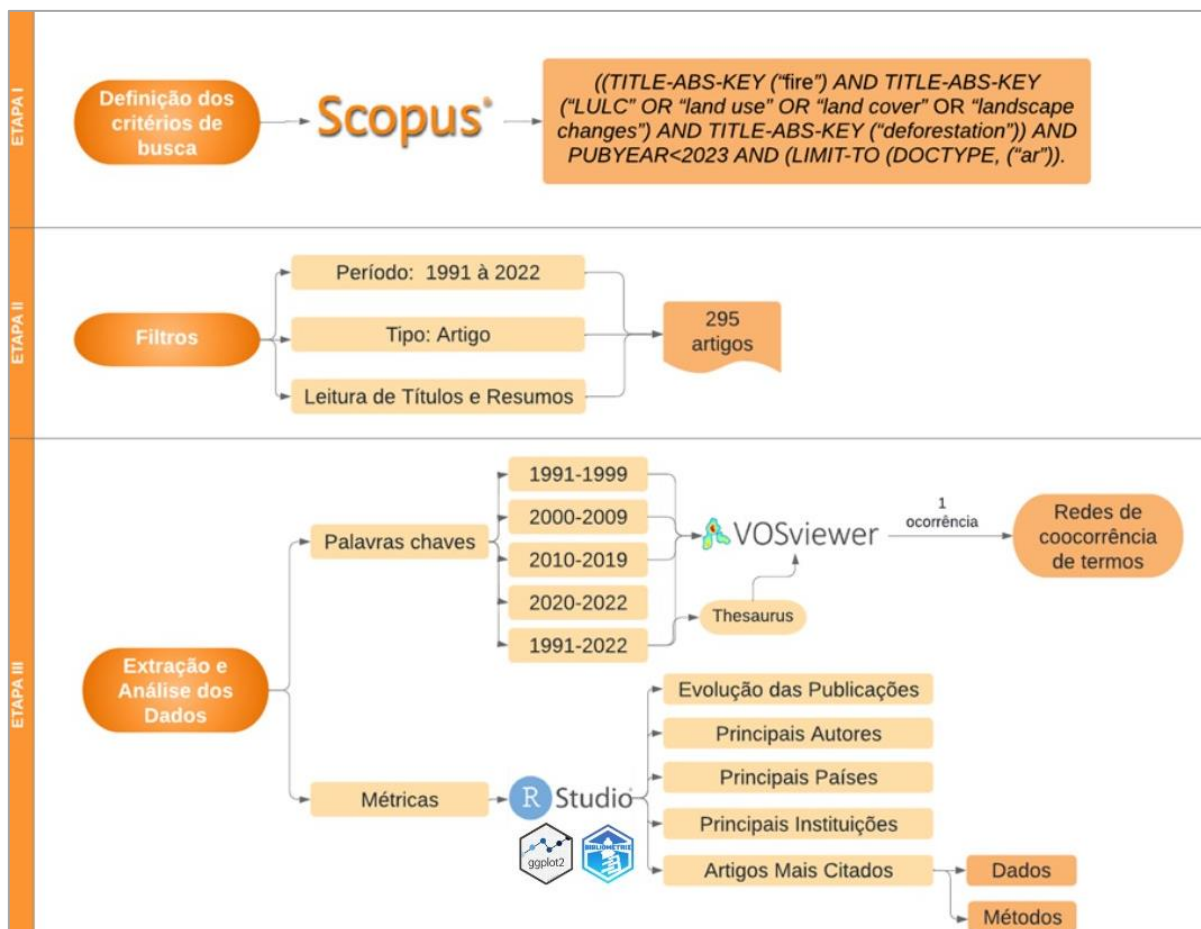


Figura 1: Fluxograma metodológico aplicado na análise bibliométrica de estudos acerca das mudanças de uso e cobertura da terra e o fogo

Tabela 1: Descrição das perguntas analisadas e dados utilizados.

Perguntas	Análise	Dados
Como a literatura se desenvolveu no tempo?	Estatísticas gerais	Todos os artigos
Que áreas temáticas do conhecimento foram abordadas?	Estatísticas gerais	Todos os artigos
Quais os principais periódicos responsáveis pela divulgação das informações	Estatísticas gerais	Todos os artigos
Quais são as frentes de pesquisa (países, instituições, autores)?	Estatísticas gerais/ Rede de cooperação entre países	Todos os artigos
Como a estrutura intelectual evoluiu ao longo do tempo?	Coocorrência de palavras-chave	Todos os artigos separados por década

Quais são as principais tendências de pesquisa	Estatísticas gerais/ Coocorrência de palavras-chave	Todos os artigos
Quais artigos foram mais citados?	Estatística de citações	10% dos artigos mais citados por década
Quais os principais dados e métodos utilizados para relacionar o fogo e as mudanças no uso e cobertura da terra?	Leitura integral do artigo	10% dos artigos mais citados por década

2.1. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE BUSCA

O presente estudo analisou a evolução das pesquisas sobre as mudanças de uso da terra e o fogo por meio de uma análise bibliométrica. Essa realizada a partir da busca por artigos científicos disponíveis no banco de dados do SCOPUS, que tivessem nos títulos, resumos ou palavras chaves termos relacionados com os temas “mudança no uso e cobertura da terra” e “fogo”. O SCOPUS é a maior base de dados em abstração e indexação de ciência e tecnologia e permite visualização de resumos, estatísticas de citações e métricas sobre os resultados da busca (BOYLE; SHERMAN, 2005; ELSEVIER, 2021). Essa ampla cobertura da literatura científica, facilita a recuperação de informações (THELWALL, 2022).

Para auxiliar na construção do conjunto de dados, empregou-se os operadores booleanos OR e AND. Após alguns testes realizados, o conjunto de palavras e termos que mais se adequou ao objetivo da pesquisa foi: *((TITLE-ABS-KEY (“fire”) AND TITLE-ABS-KEY (“LULC” OR “land use” OR “land cover” OR “landscape changes”)) AND TITLE-ABS-KEY (“deforestation”)) AND PUBYEAR<2023 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, (“ar”)))*.

2.2. TRIAGEM DOS ARTIGOS

Optou-se por restringir a busca apenas a artigos científicos publicados em periódicos, de forma a minimizar possíveis publicações duplicadas ou resultados falsos positivos, visto que trabalhos de resenhas, anais de conferências, capítulos de livros e livros podem ser publicados mais de uma vez em diferentes fontes (VASCONCELOS et al., 2020). Além disso, a pesquisa foi filtrada para retornar artigos publicados até o ano de 2022, uma vez que a busca foi realizada no mês de dezembro de 2022.

Em seguida realizou-se o refinamento da busca, com o objetivo de tornar o conjunto de dados mais representativo, para isso foi feita a leitura dos títulos e resumo dos artigos

encontrados, e excluídos aqueles que não se adequaram aos objetivos da pesquisa. Foram excluídos artigos cujo resumo não apresentasse as principais questões apontadas por esse estudo: o fogo como um processo ecológico e sua relação com as mudanças de uso da terra.

As métricas disponíveis de todos os artigos selecionados foram exportadas em um arquivo com formato CSV (valores separados por vírgula) para posterior análise. Esses dados auxiliam no entendimento quanto à evolução do conhecimento científico, utilizando-se de análises qualitativas e quantitativas sobre produtividade, crescimento da riqueza semântica, distribuição geográfica e colaboração entre autores e países (SANTANA et al., 2021).

2.3. ANÁLISE DOS DADOS

A bibliometria pode ser realizada a partir da avaliação da produção científica por meio de diferentes atores como evolução de publicação, autores, países, instituições (BAIER-FUENTES et al., 2019). Utilizou-se o software RStudio (R CORE TEAM, 2021) e o pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2016) para a construção dos gráficos de evolução de publicações, autores e periódicos a partir dos dados extraídos da base do SCOPUS. Para a construção do mapa de cooperação entre países utilizou-se o pacote *Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017), uma ferramenta de fácil aplicabilidade que permite vasta análise do mapeamento científico da literatura científica.

A fim de se entender através da frequência de termos como os estudos acerca dos temas uso e cobertura da terra e dinâmica do fogo estão evoluindo nas últimas décadas, os dados textuais obtidos a partir das métricas na base do SCOPUS foram utilizados na criação de redes de coocorrências entre as palavras chaves citadas no título, no resumo e pelos autores para intervalos de tempo delimitados pelas décadas 1990 a 1999, 2000 a 2009, 2010 a 2019 e 2020 a 2022.

Para isso utilizou-se o software VosViewer um programa para a construção e visualização de mapas bibliométricos baseados em distância, onde a distância entre dois itens reflete na força da relação entre eles que estarão representados em clusters no mapa (VAN ECK; WALTMAN, 2010). O método de contagem utilizado foi o *full counting*, nesse método, cada elo resultante de uma ação possui peso total de um, de modo que o peso total de uma ação é igual ao número de links resultantes (PERIANES-RODRIGUEZ; WALTMAN; VAN ECK, 2016). Para a construção dos mapas, adotou-se como mínimo uma ocorrência dos termos em cada período.

Além disso, construiu-se um dicionário de sinônimos (*thesaurus*) utilizado para realizar a limpeza de dados ao criar um mapa com base em dados bibliográficos ou dados de texto (WALTMAN, L.; VAN ECK; NOYONS, 2010). A utilização desse tipo de arquivo evita a presença de termos com significados idênticos ou termos duplicados na base de dados, ou seja, possíveis erros na rede de palavras.

2.4. ANÁLISE DOS ARTIGOS MAIS CITADOS

O impacto de uma publicação está diretamente relacionado ao número de citações que a mesma recebe, sendo os artigos mais citados os mais influentes em um campo de pesquisa (DONTHU et al., 2021). Com o objetivo de compreender as principais metodologias utilizadas para relacionar o fogo com as mudanças de uso e cobertura da terra, selecionou-se 10% dos artigos mais citados de cada década para a realização da leitura completa, onde foram retiradas algumas informações específicas de cada artigo como quais os satélites foram mais utilizados, quais os principais índices e como os dados de uso e cobertura e fogo foram relacionados, essas informações foram imprescindíveis para identificar contribuições teóricas e metodológicas para o presente estudo.

3. RESULTADOS

3.1. EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES

Os resultados bibliométricos apontam que apesar de algumas flutuações, os estudos que relacionam o uso e cobertura da terra a dinâmica do fogo vêm crescendo significativamente, sendo identificados 295 artigos que atendiam aos critérios estabelecidos na busca. Na década de 1990, oito artigos foram publicados, média de 1,6 artigos/ano. Na década de 2000, 41 artigos com média de 4,1 artigos/ano na década de 2010, 174 artigos foram publicados com média de 15,8 artigos/ano e nos anos de 2020 a 2022 foram publicados 88 artigos com média de 29,3 artigos/ano.

Na Figura 2 é possível observar o aumento das publicações, com uma média anual durante o período de análise de 10,53 artigos/ano e desvio padrão de 8,08, a curva cumulativa é representada por uma função exponencial, com uma ampliação acentuada das publicações no período de 2014 a 2022 correspondente a 65,4% das publicações e um pico em 2021, com 38 documentos.

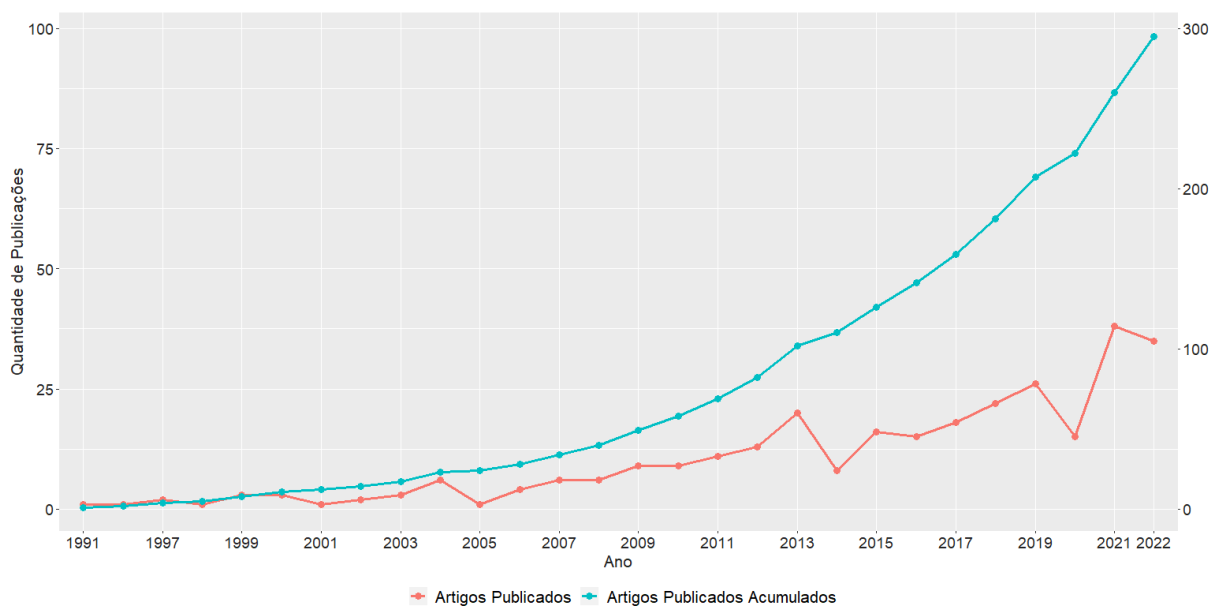


Figura 2: Gráfico da evolução das publicações no período de 1991 a 2022. Em vermelho a quantidade de artigos publicados por ano, a curva azul representa a acumulação dos artigos publicados.

3.2. PRINCIPAIS AUTORES

Existe um amplo número de pesquisadores que contribuem com o tema, um total de 159, o que demonstra grande diversidade neste campo de pesquisa. A análise da produção científica mostra que os principais contribuintes acerca do tema (Figura 3) são autores com afiliações americanas e europeias (5 Brasil, 2 EUA, 1 Colômbia, 1 Espanha e 1 Itália).

O autor Shimabukuro, Y.E. possui uma maior quantidade de artigos publicados (n=12), seguido dos autores Aragão L.E.O.C. e Anderson L.O. com nove documentos publicados cada, sendo os três autores com maior participação nas pesquisas da área. Enquanto os autores Shimabukuro Y.E. e Aragão L.E.O.C. tiveram suas primeiras publicações nos anos de 2009 e 2010, respectivamente, o autor Anderson L.O. publicou o primeiro artigo sobre a temática no ano de 2016. Apesar disso, ambos autores se mantiveram constantes nos estudos relacionados ao tema, produzindo recentemente quantidade significativa de pesquisas nessa área. A autora Alencar A. publicou oito artigos, contribuindo desde o final da década de 1990, sendo a autora com maior tempo de pesquisa. Dos autores participantes desta análise, 48 publicaram apenas um artigo a respeito da temática estudada.

Analisando as citações dos dez autores que mais produziram no período, Alencar A. tinha em seus artigos, até o momento da análise, 2366 citações demonstrando a grande relevância para o tema. Asner G.P. aparece como o segundo autor mais citado, com 688 citações, seguido por Shimabukuro Y.E. com 456.

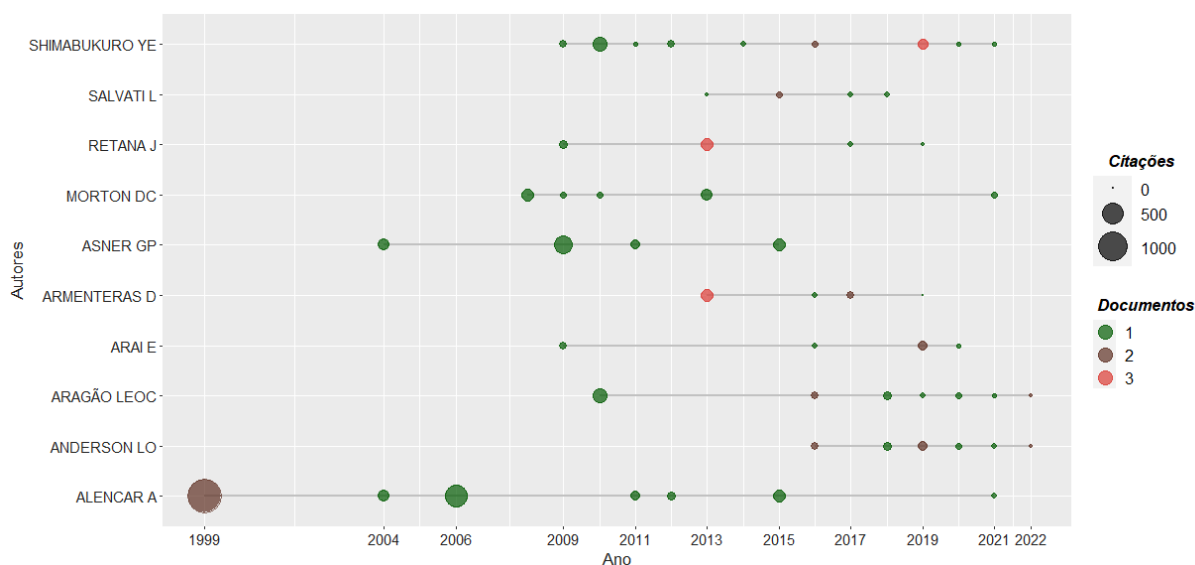


Figura 3: Gráfico da quantidade de publicações e respectivas citações dos principais autores no período de 1991-2022. As cores representam a quantidade de documentos publicados em cada ano, enquanto o tamanho do círculo retrata a quantidade de citações desses documentos

3.3. PRINCIPAIS PERIÓDICOS

Os artigos foram publicados em 138 periódicos. Os periódicos que se destacaram em número de publicações estão diretamente relacionados à temas ligados ao fogo e as mudanças de uso da terra como: ecologia, florestas e sensoriamento remoto, sendo eles *Remote Sensing* (n = 25), *Forest Ecology And Management* (n = 20), *International Journal Of Remote Sensing* (n = 10), *Forests* (n = 9). O periódico *International Journal Of Remote Sensing* possui publicações que abrangem os temas fogo e uso da terra desde a sua primeira publicação em 1997 até o ano de 2022. Já a *Remote Sensing* encontra-se em uma crescente no que diz respeito a publicações sobre o tema, tendo as primeiras publicações no ano de 2011, com pico nos anos de 2022 com 7 publicações. Estes periódicos fazem parte das áreas das Ciências Ambientais, Ecologia, Geociências e Ciências Biológicas.

3.4. PRINCIPAIS PAÍSES

A busca analisada do SCOPUS retornou à participação de 76 países. A Figura 5 apresenta os principais países em número de publicações, a cor azul dos países indica a quantidade de publicações, o azul mais escuro indica uma maior quantidade de artigos publicados, enquanto o azul mais claro indica menos publicações e o cinza indica países que não publicaram sobre o assunto.

Os Estados Unidos (EUA) dominam as publicações (n = 74), seguido do Brasil (n = 73). Outros países que se destacaram foram: Espanha (n = 31), Reino Unido (n = 30), Itália (n = 23), China (n=21), Alemanha (n=20), Holanda (n=15), França (n=14), Indonésia (n=14), e México (n=14).

Na análise da rede de colaboração entre pesquisadores de diversos países (Figura 4) a linha vermelha nos permite compreender o grau de cooperação entre países na publicação de artigos, cada linha vermelha representa um artigo publicado em conjunto e mais linhas vermelhas representam mais cooperação. Destaca-se a cooperação entre o EUA e o Brasil, o Brasil e o Reino Unido e a Colômbia e Espanha.

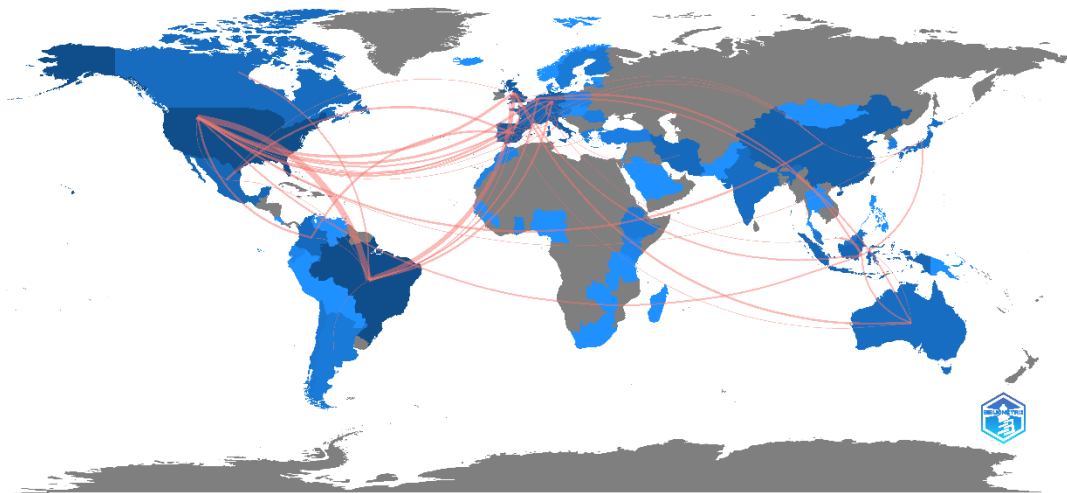


Figura 4: Mapa de colaboração entre pesquisadores de diferentes países. Em azul mais escuro países com maior número de publicações, a quantidade de linhas que ligam os países indicam o quão forte é a relação entre eles.

3.5. PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES

Haviam 160 institutos participando das pesquisas, com uma média de 3,26 artigos publicados por instituição e desvio padrão de 1,63. Na Tabela 2 estão apresentadas as dez principais, destaca-se a contribuição do Brasil nas pesquisas com a participação de instituições como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (n = 31), o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM (n = 10), a Universidade de São Paulo (n=9), o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN (n=9) e o Instituto Nacional de Pesquisas Da Amazonia – INPA (n=8). Outras instituições como Chinese Academy of Sciences (China), *University of Exeter* (Reino Unido) *University of Maryland* (EUA), *Universitat Autònoma de Barcelona* (Espanha) e *Wageningen University & Research* (Holanda) fazem parte dos institutos que mais estudaram as relações entre as mudanças de uso

da terra e o fogo. Além disso, dentre as instituições, 4 publicaram um artigo dentro do período analisado.

Tabela 2: Relação da quantidade de publicações por instituições.

INSTITUIÇÃO	Nº de ARTIGOS
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	31
Chinese Academy of Sciences	11
University of Exeter	10
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM)	10
Universidade de São Paulo (USP)	9
University of Maryland, College Park	9
Universitat Autònoma de Barcelona	9
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden)	9
Wageningen University & Research	8
Instituto Nacional de Pesquisas Da Amazonia (INPA)	8

3.6. EVOLUÇÃO TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DAS PALAVRAS-CHAVE

A evolução dos estudos que relacionam o fogo com as mudanças de uso da terra, no que diz respeito a termos, dados e metodologia, foi estudada através das observações das palavras-chaves. De acordo com Xiang *et al.* (2017), a palavra-chave pode ser um substantivo ou frase que representa o significado ou ideia central de uma literatura. A partir dessa análise é possível identificar campos de estudos estabelecidos e emergentes por meio da captura de tópicos mais recentes cobertos pelos pesquisadores (FAHIMNIA; SARKIS; DAVARZANI, 2015). As palavras-chave são listadas pelos autores e editores, permitindo o enquadramento do artigo na área ou assunto mais intimamente relacionado ao tópico abordado em seu estudo (PADILLA; GALLARDO; MANZANO-AGUGLIARO, 2018).

Nesta análise as palavras-chave estão organizadas em clusters, cada palavra é representada por um nó e o seu tamanho é proporcional a frequência de ocorrência, e a conexão

entre estas se dá por arestas, onde a espessura das mesmas está relacionado com o nível da relação das duas palavras, sendo um o valor máximo, que ocorre quando duas palavras sempre aparecem juntas, e zero o valor mínimo que ocorre quando duas palavras nunca aparecem juntas (ZHUANG et al., 2013). As redes de palavras para as décadas de 1990, 2000, 2010, 2020 e 1991-2022 estão representadas na Figura 5.

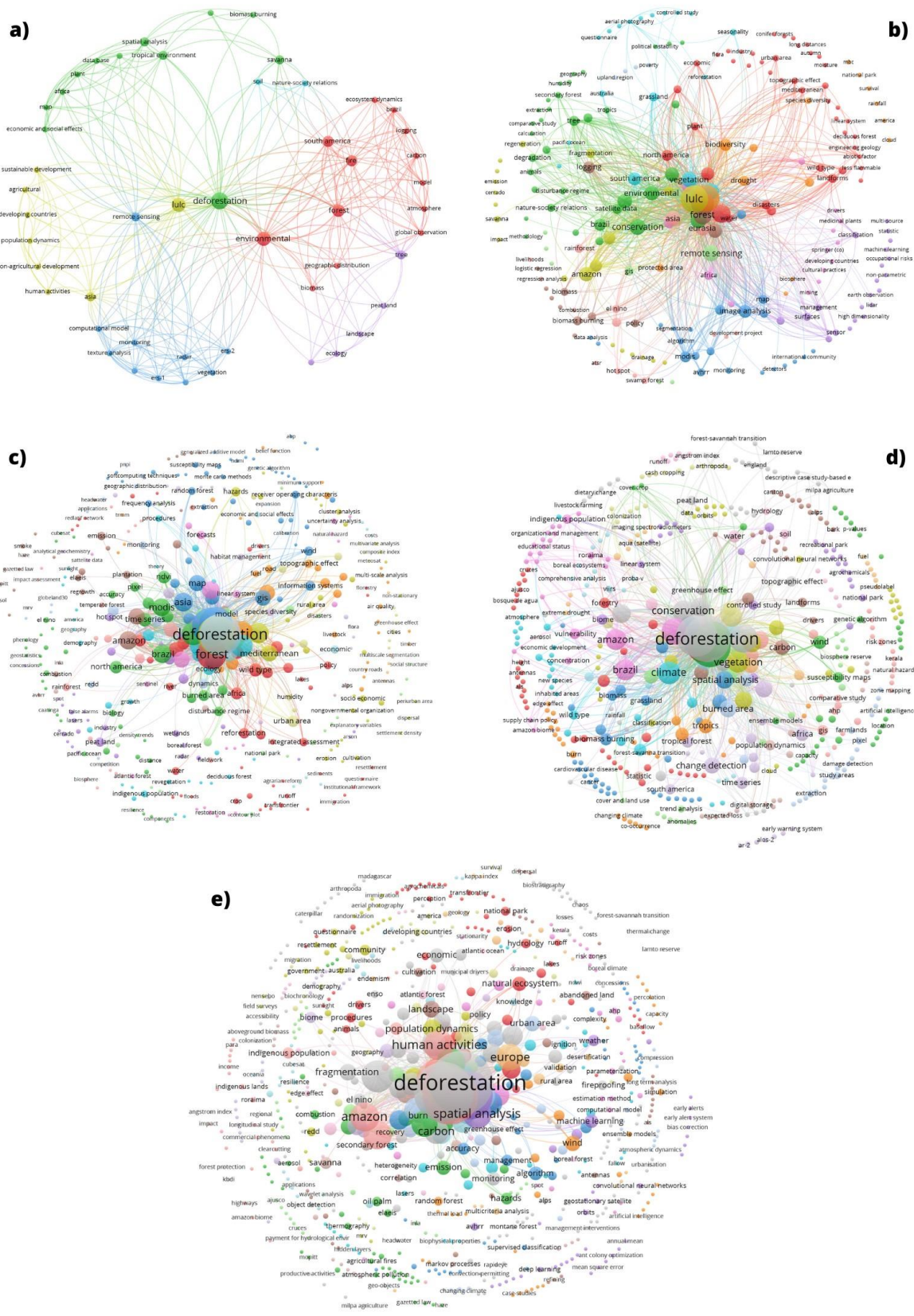


Figura 5: Redes de coocorrência de termos. a) Rede da década 1990; b) Rede da década 2000; c) Rede da década 2010; d) Rede da década 2020; e) Rede do período de 1991-2022.

Na rede referente à década de 1990, identificou-se seis clusters, sendo os principais termos “desmatamento”, “uso e cobertura da terra”, “sensoriamento remoto” e “meio ambiente”. A análise dessa rede reflete que na década analisada (1990-1999) era significativa a utilização dos satélites de radar europeus ERS-1/2 para monitorar e analisar a conversão florestal e padrões de uso da terra (KUNTZ; SIEGERT, 1999), além disso os estudos já buscavam relacionar a influência das ações humanas no comportamento do fogo (HAO; LIU, 1994; LAMBIN; EHRLICH, 1997). Se tratando especificamente do Brasil, os estudos sobre o fogo no Brasil, estavam diretamente relacionados com a extração de madeira e o desmatamento (Nepstad et al., 1999)

Na rede da década de 2000, detectou-se doze clusters, além disso, os termos “uso e cobertura da terra”, “desmatamento”, “fogo”, “florestas”, “incêndios florestais” e “agricultura” tiveram maiores ocorrências nos estudos durante os anos de 2000 à 2009. Apresentando termos que retratam os avanços dos estudos relacionados ao risco e fatores condicionantes para a ocorrência de incêndios principalmente em florestas (KEELEY et al., 2009). O monitoramento das mudanças de uso da terra e do fogo passou por um salto de desenvolvimento nessa década, com utilização de novos satélites e sensores e a utilização de novos algoritmos na detecção de mudanças (KOETZ et al., 2008). Nota-se nessa década, a aparição de termos relacionados a modificação da paisagem, sendo aplicados nos estudos conceitos como dinâmica da paisagem, fragmentação e regeneração, de modo a entender o impacto do desmatamento na estrutura da paisagem e conseqüentemente na dinâmica do fogo (LAURANCE, 2000; OCHOA-GAONA, 2001). Os pesquisadores dessa década buscavam compreender as alterações no regime fogo a partir das mudanças no uso da terra, aplicando análises estatísticas como a regressão logística e análise de probabilidade (EVA; FRITZ, 2003; SORRENSEN, 2004).

A rede pertencente a década de 2010, apresenta vinte e um clusters, os termos “desmatamento”, “uso e cobertura da terra”, “fogo”, “incêndios florestais” e “floresta” apresentaram maior ocorrência no período. Esta rede englobou termos referentes a métodos aplicados no monitoramento e risco de incêndios, demonstrando possíveis tendências para a aplicação dessas metodologias para o estudo do fogo (Ahmed et al., 2019; Calviño-Cancela et al., 2016; Díaz-Avalos et al., 2016; Santos et al., 2019; Salvati & Ferrara, 2015). Destaca-se nessa década, termos relativos a programas e projetos de mapeamento de uso e cobertura da terra e monitoramento de fogo (BLANCO et al., 2013; LOEPFE; LLORET; ROMÁN-

CUESTA, 2012). Surge também estudos que buscavam a compreensão dos riscos de incêndios em áreas abandonadas (VIEDMA; MOITY; MORENO, 2015). O termo “pirogeografia”, que se refere ao estudo e projeção da distribuição dos incêndios florestais e o termo “fogo prescrito” e reflete a utilização do experimento de queima controlada para a análise de regimes de fogo (BALCH et al., 2015). Os termos “assentamento agrário” e “migração” apontando os impactos da colonização de áreas florestadas no regime de incêndios florestais (SCHNEIDER; PERES, 2015).

Na década de 2020, foram identificados vinte e quatro clusters. Nessa década está presente o termo “deep learning”, uma metodologia que vem sendo utilizada para o mapeamento de áreas queimadas (CHO et al., 2022; MCCARTHY et al., 2021). Estão englobados termos que remetem a estudos acerca da predição e monitoramento de incêndios (CASALLAS et al., 2022). Termos como “KBDI” e “Angstrom index” retratam índices que calculam o risco de incêndios a partir de dados meteorológicos (CAVALCANTE et al., 2021). Além disso, estão presentes estudos que buscavam entender a relação do fogo com as mudanças no uso da terra a partir da correlação espacial (CIREZI et al., 2022).

A rede total engloba 553 termos separados em vinte e dois clusters. Evidencia-se os termos “desmatamento”, “uso e cobertura da terra”, “fogo”, “incêndios florestais”, “floresta”, “meio ambiente”, “sensoriamento remoto”, “clima”, “vegetação” e “dados de satélite” que apresentaram maiores ocorrências e se encontram localizados no centro da rede, o que aponta que os mesmos são temas pioneiros e estabeleceram as bases dos estudos e funcionam como o ponto de convergência das discussões nos estudos acerca da relação entre o uso da terra e o fogo, realizados no período de 1990 a 2022. O que reflete grande vínculo entre os estudos que relacionam o fogo e o uso da terra com o desmatamento e o clima, além disso, esses vêm sendo realizado em sua maioria com a utilização de dados de satélites através do Sensoriamento Remoto.

3.7. ARTIGOS MAIS CITADOS

Os artigos mais citados estão listados no Material Suplementar, assim como a quantidade de citações e respectivas referências. A leitura dos mesmos possibilitou a análise dos principais dados e metodologias utilizados nas pesquisas e em quais áreas estas foram desenvolvidas. As principais áreas de estudo, dados e métodos utilizados estão descritos na Figura 4

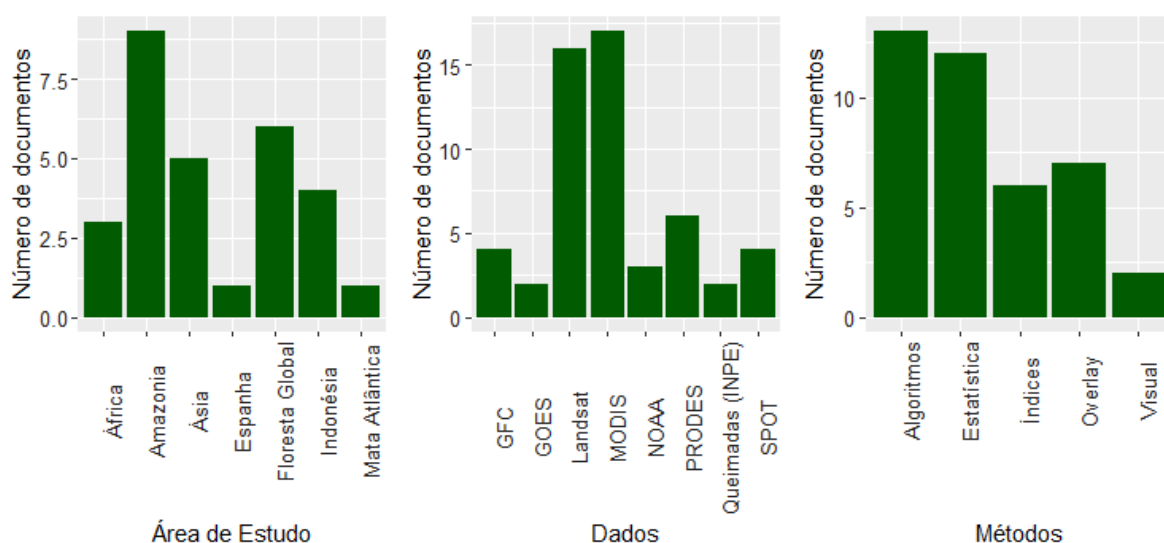


Figura 6: Gráfico das principais áreas de estudo, dados e métodos utilizados nos artigos mais citados, com as seguintes abreviações: Global Forest Change: GFC; Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES); Metodologia de Interpretação Visual: Visual

Em função da quantidade de publicações, na década 1990 foi selecionado apenas um artigo, na década de 2000 quatro, para a década de 2010 dezesseis e para a década de 2020, nove. Nos artigos, verifica-se que os estudos foram aplicados principalmente em áreas de florestas tropicais, das 30 publicações, nove eram artigos com enfoque na Amazônia brasileira, 6 estudaram as florestas em escala global, quatro tiveram como área de estudo as florestas da Indonésia, cinco em outras florestas asiáticas e três no continente africano. Além disso tiveram estudos realizados na Mata Atlântica brasileira e na Espanha.

Destaca-se como mais citado o artigo intitulado “*High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*”, publicado por Hansen et al. (2013), citado 6128 vezes, cujo objetivo foi observar a relação entre a perda da floresta boreal e o fogo, nesse estudo os autores identificaram um total de 2,3 milhões de km² de floresta foram perdidos devido a perturbações durante o período de estudo, ocorrendo nas florestas tropicais da América do Sul as maiores taxas de perdas devido ao desmatamento.

Seguido de dois artigos, realizados na Amazônia brasileira, intitulados “*Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire*” que destaca como a extração de madeira e o fogo, podem aumentar a incidência de futuras queimadas na região Amazônica (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999) e “*Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands*” que retrata sobre a importância de áreas protegidas para a inibição do desmatamento e do fogo (NEPSTAD et al., 2006).

Os dados dos satélites Landsat e MODIS foram os mais utilizados nos artigos analisados, destaca-se também, a utilização de dados de projetos desenvolvidos pelo INPE, que visam o monitoramento tanto do desmatamento (PRODES) como de queimadas (Projeto de Monitoramento de Incêndios). Além disso foram utilizados dados de Perda da Cobertura Florestal Global (Global *Forest Change* - GFC) e dos satélites GOES, SPOT e NOAA.

Dentre os principais métodos utilizados nesses estudos, destaca-se o uso de diversos algoritmos tanto na detecção de mudanças da cobertura da terra quanto nos estudos acerca dos incêndios, como o Boosted Regression Tree (BRT) e o Random Forest (RF). Diversos estudos aplicaram cálculos de índices espectrais, estes que podem detectar características biofísicas da vegetação, dentre eles, destaca-se Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) por ser o índice com maior aplicação nos estudos analisados, o Normalised Burn Ratio (NBR), índice desenvolvido para o mapeamento de áreas queimadas e o Chandler Burning Index (CBI), um índice de suscetibilidade ao fogo. O uso de análises estatísticas e de probabilidade também foi recorrente, principalmente a análise de regressão e o Teste Mann-Kendall. Além disso, destaca-se a ampla utilização do método *overlay* para análise de relação entre os dados de focos de calor/ área queimada e os dados de uso da terra.

4. DISCUSSÃO

A partir desse estudo é possível compreender a evolução e a situação atual da pesquisa científica acerca da relação entre o fogo e as mudanças de uso da terra, analisando a partir de uma bibliometria as principais palavras-chave, autores, países, instituições e artigos mais citados dentro da temática.

Ainda que identificadas poucas publicações que buscavam compreender a relação entre o fogo e as mudanças de uso da terra na década de 1990, desde o ano de 1991, observa-se um claro interesse pela pesquisa do tema. A evolução desses estudos está diretamente relacionada com o crescimento da preocupação acerca da influência das atividades humanas sobre os regimes de fogo, visto que o homem possui papel dominante nas ignições e também na modificação do material combustível disponível para a queima (KOLANEK; SZYMANOWSKI; RACZYK, 2021; PARK et al., 2021; PIVELLO, 2011).

Outro fator condicionante para a intensificação das pesquisas sobre o fogo está relacionado as discussões acerca das mudanças climáticas, um dos tópicos de pesquisa mais comum nos últimos anos (ANGRA; SAPOUNTZAKI, 2022). Isto por que, mudanças

climáticas provocadas pelo homem são capazes de aumentar significativamente o risco de incêndios (ABATZOGLOU; WILLIAMS, 2016). Ademais, a mudança nos padrões do fogo podem aumentar as emissões de carbono, e consequentemente interferir e acelerar as mudanças climáticas (BLOEM et al., 2022). O homem, por sua vez, é o principal agente modificador tanto dos incêndios, quanto das mudanças climáticas (MARQUES et al., 2021).

Os países com maior destaque de publicações são o EUA e o Brasil. O que é concernente com o fato de que o EUA possui e opera a grande maioria dos satélites lançados nos últimos anos (ZHANG et al., 2017) e ao Brasil ter boa parte do noroeste coberto pela Floresta Amazônica, a maior floresta tropical do mundo, e consequentemente uma das regiões mais pesquisadas em termos de incêndios florestais (JUAREZ-OROZCO; SIEBE; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, 2017). Estes países destacam-se também na cooperação entre si para a produção de estudos e também são os países que sediam as principais instituições que investigam a relação entre o fogo e as mudanças no uso da terra.

As áreas das pesquisas desenvolvidas foram principalmente Florestas Tropicais, sobretudo da Amazônia e Indonésia que vem sendo realizadas desde a década de 1990 até os dias atuais, uma vez que são áreas que apresentam altas taxas de ações antrópicas, consequentemente mudança de uso da terra, que contribuem para a ocorrência de incêndios. (Cardozo et al., 2014; Hao & Liu, 1994; Kuntz & Siegert, 1999; Langner et al., 2007; Silveira et al., 2020).

Florestas tropicais são majoritariamente úmidas e tendem a não queimar naturalmente, de modo que o efeito antropogênico é determinante para os incêndios destas áreas (BUDININGSIH et al., 2022). Na região Amazônica, 32% das áreas queimadas anualmente são terras agrícolas composta por lavouras e pastagem (Silveira et al., 2022). Na Indonésia, a prática de drenagem e limpeza de turfeiras para a plantação de dendezeiros, vem tornando a área cada vez mais susceptível a incêndios florestais (PURNOMO et al., 2017). Consequentemente, a recorrência dos incêndios e prováveis alterações no regime de fogo das florestas tropicais podem influenciar na dinâmica desses ecossistemas transformando-as de sumidouro de carbono a fonte de carbono (BOWMAN et al., 2020)

As savanas são ambientes mais inflamáveis que as florestas tropicais, de maneira que os incêndios nessas áreas são mais rápidos, mais intensos e com maiores comprimentos de chama (HOFFMANN et al., 2012). É um desafio relacionar índices com a variáveis de incêndios nessas áreas, pois para determinar os fatores influenciadores de uma queimada é

necessário considerar a complexa interação dos drivers (KELLEY et al., 2019). Apesar disso, estudos em áreas de savana, como o Cerrado brasileiro vem se tornando mais frequentes, uma vez que mesmo sendo comum na vegetação do bioma distúrbios relacionados ao fogo, as alterações antrópicas estão afetando significativamente os padrões de regime do fenômeno (DURIGAN; DE SIQUEIRA; FRANCO, 2007; LOPES DOS SANTOS et al., 2021; SHIMABUKURO et al., 2020; WELCH et al., 2013).

Com as análises das redes de coocorrência de palavras-chaves, pode-se observar que o termo mais ocorrente nos estudos foi desmatamento, apontando que os principais interesses dos pesquisadores estão em entender o efeito do desmatamento sobre os incêndios. Esse realizado com fim de extração de madeira ou como prática agropastoril, sendo o primeiro passo para a conversão de áreas de vegetação natural para a agricultura, acompanhado de fogo para a limpeza (EVA; LAMBIN, 2000). De acordo com Santos et al. (2021), focos de incêndios são predominantes em ambientes com vegetação altamente degradada.

Outrossim, pode-se observar que a evolução desses estudos está diretamente relacionada com o avanço do Sensoriamento Remoto no que concerne principalmente ao surgimento de novos satélites e algoritmos de detecção e monitoramento da terra. Dados de satélites são imprescindíveis para análise e estimativa de impactos causados pelo homem (LIZUNDIA-LOIOLA; PETTINARI; CHUVIECO, 2020). De tal forma que, estudos que utilizavam o Sensoriamento Remoto cresceram significativamente nas últimas duas décadas (ZHUANG et al., 2013).

O acelerado desenvolvimento de satélites, sensores e técnicas, as aplicações do Sensoriamento Remoto vem se destacando no monitoramento de incêndios e mudanças de uso da terra. Desse modo, as redes analisadas demonstram uma consolidação nas metodologias utilizadas para a detecção de fatores condicionantes para o surgimento de incêndios, mapeamento de áreas queimadas e sua relação com as mudanças de uso da terra. Diferentes abordagens foram sendo utilizadas durante o período analisado, evidenciando uma evolução nos métodos aplicados que podem ou não se tornarem tendências.

Dos artigos mais citados, 16 utilizaram as imagens Landsat (53%) e 17 utilizaram dados dos produtos MODIS (57%). Desde seus lançamentos, os satélites Landsat e MODIS vem sendo amplamente utilizados no monitoramento de mudanças globais (ZHUANG et al., 2013). A escolha do satélite a ser utilizado em um estudo depende de diversos fatores como: objetivo da pesquisa, a disponibilidade de dados, as restrições orçamentárias, e a localização da área de

estudo (TRAN; REEF; ZHU, 2022). Os principais objetivos da utilização do Sensoriamento Remoto nos estudos estavam relacionados com o mapeamento de áreas queimadas e de uso da terra (YIN, 2020; ZHOU et al., 2019), susceptibilidade e risco de incêndios (QUINTERO et al., 2019; RAZAVI-TERMEH; SADEGHI-NIARAKI; CHOI, 2020) e alteração do regime de incêndios (GUEDES et al., 2020; SILVA et al., 2018; VETRITA; COCHRANE, 2020).

Diversos algoritmos de detecção de incêndios foram utilizados, destaca-se nos artigos mais citados: o *Random Forest* e o *Boosted Regression Tree* (BRT). Esses algoritmos são utilizados na seleção de variáveis que mais estão relacionadas e contribuem para a ocorrência de incêndios florestais (POURTAGHI et al., 2016). Dessa forma, é possível identificar a distribuição espacial e temporal dos incêndios, assim como os principais fatores que influenciam para a ocorrência do fenômeno de modo a auxiliar o planejamento e implementação de medidas de prevenção (OLIVEIRA et al., 2012).

De acordo com Sano *et al.* (2021), o Brasil destaca-se no desenvolvimento de sistemas de monitoramento de florestas tropicais. Os programas brasileiros de monitoramento como o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass) e o Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Brasileira (PRODES), surgem como alternativas de mapeamento consistente de uso e cobertura da terra (LULC) essenciais para gerar estudos ambientais confiáveis, uma vez que são realizados por especialistas e possuem série temporal que facilitam a compreensão histórica dos usos da terra na área. Além disso, outros programas como o *Global Observation for Forest Cover and Land Dynamics* (GOFC-GOLD), *Global Forest Change* (GFC) e Globeland30 foram utilizados nos estudos e possuem o mesmo objetivo, apesar disso, cada iniciativa possui metodologia e sistemas de classificação próprias o que torna a integração entre elas complexa (ZIOTI et al., 2022).

5. CONCLUSÕES

O objetivo desse estudo foi realizar uma análise bibliométrica para compreender como as discussões relacionadas ao uso e cobertura da terra e dinâmica do fogo estão evoluindo nas últimas décadas, permitindo a análise do impacto das atividades humanas relacionadas as mudanças de uso da terra nas alterações do regime do fogo. Os resultados demonstraram um aumento exponencial da publicação científica sobre o tema que começaram a ser desenvolvidas na década de 1990, destacando o período de 2014 a 2022 que abrangeu aproximadamente 65,4% das publicações.

Os pesquisadores e a distribuição espacial entre eles permitem a conclusão de que o tema é assunto de pesquisa global e o conhecimento está sendo construído com colaboração entre diferentes países e organizações. O autor Shimabukuro Y. teve o maior número de publicações. Além disso, o país com maior número de artigos publicados é os EUA, isso está diretamente relacionado com o fato de o país ser responsável pelo lançamento de grande parte dos satélites em operação atualmente. O Brasil destaca-se como o segundo país com o maior número de publicações, com cinco instituições no ranking das principais, o INPE, o IPAM, o INPA, o CEMADEN e a Universidade de São Paulo, a grande participação do Brasil, pode estar relacionado com o fato de o país ter na sua área, a maior floresta tropical do mundo, a Floresta Amazônica.

Vários tipos de dados e abordagens teóricas e metodológicas foram utilizadas para relacionar as mudanças de uso da terra e o regime de fogo em paisagens distintas. Salienta-se a utilização dos satélites Landsat e MODIS e a aplicação de algoritmos como o *Boosted Regression Tree*, e *Random Forest* e dos índices espectrais NDVI e NBR.

No entanto, apesar da extensa pesquisa já existente acerca do tema, existe uma concentração dos mesmos no efeito das mudanças de uso da terra em áreas de vegetações em florestas tropicais, sendo menos expressivos os estudos em áreas com vegetações diferentes como os biomas Cerrado e Caatinga no Brasil, se tornando uma lacuna, o impacto das mudanças no uso da terra no regime de fogo em áreas já susceptíveis a ocorrência do mesmo.

De acordo com as análises obtidas nesse estudo, é possível observar uma evolução expressiva do Sensoriamento Remoto e algoritmos que podem ser empregados no estudo do fogo, de modo que existe uma tendência para o crescimento de estudos que tratam sobre a modelagem, predição e mudanças no regime do mesmo. Em termo de estudos em áreas propensas a ocorrência de incêndios como savanas e o Cerrado brasileiro, metodologias que consigam estabelecer o impacto das atividades humanas sobre os regimes de fogo devem ser cada vez mais aparentes, além disso, a temática sobre o fogo prescrito, como meio de proteger vegetações sensíveis e amenizar o risco de incêndios mais severos, visto que, a inexistência de incêndios nesses ambientes também causam graves consequências socioambientais.

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, J. T.; WILLIAMS, A. P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 42, p. 11770–11775, 2016.
- ABREU, M. C. et al. Temporal and spatial patterns of fire activity in three biomes of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 844, n. June 2021, 2022.
- AHMED, M. R. et al. Introducing a new remote sensing-based model for forecasting forest fire danger conditions at a four-day scale. **Remote Sensing**, v. 11, n. 18, p. 1–16, 2019.
- ALEIXANDRE-BENAVENT, R. et al. Trends in global research in deforestation. A bibliometric analysis. **Land Use Policy**, v. 72, n. January, p. 293–302, 2018.
- ALENCAR, A. A. et al. Landscape Fragmentation, Severe Drought and the New Amazon Forest Fire Regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493–1505, 2015.
- ÁLVAREZ-GARCÍA, J.; DURÁN-SÁNCHEZ, A.; DEL RÍO-RAMA, M. C. Scientific coverage in community-based tourism: Sustainable tourism and strategy for social development. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 4, 2018.
- ALVINO, F. et al. Intellectual capital and sustainable development: a systematic literature review. **Journal of Intellectual Capital**, v. 22, n. 1, p. 76–94, 2020.
- ANGRA, D.; SAPOUNTZAKI, K. Climate Change Affecting Forest Fire and Flood Risk—Facts, Predictions, and Perceptions in Central and South Greece. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 20, 2022.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in amazonian forests with implications for REDD. **Science**, v. 328, n. 5983, p. 1275–1278, 2010.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- ARROGANTE-FUNES, F.; AGUADO, I.; CHUVIECO, E. Global assessment and mapping of ecological vulnerability to wildfires. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 22, n. 9, p. 2981–3003, 2022.
- ASNER, G. P. et al. A contemporary assessment of change in humid tropical forests. **Conservation Biology**, v. 23, n. 6, p. 1386–1395, 2009.
- AUSTIN, K. G. et al. What causes deforestation in Indonesia? **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 2, 2019.
- BAIER-FUENTES, H. et al. International entrepreneurship: a bibliometric overview. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 15, n. 2, p. 385–429, 2019.
- BALCH, J. K. et al. The Susceptibility of Southeastern Amazon Forests to Fire: Insights from a Large-Scale Burn Experiment. **BioScience**, v. 65, n. 9, p. 893–905, 2015.
- BALCH, J. K. et al. Human-started wildfires expand the fire niche across the United States.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 114, n. 11, p. 2946–2951, 2017.

BLANCO, P. D. et al. A land cover map of Latin America and the Caribbean in the framework of the SERENA project. **Remote Sensing of Environment**, v. 132, p. 13–31, 2013.

BLOEM, S. et al. The Role of International Resource Sharing Arrangements in Managing Fire in the Face of Climate Change. **Fire**, v. 5, n. 4, 2022.

BOND, W. J.; KEELEY, J. E. Fire as a global “herbivore”: The ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 7, p. 387–394, 2005.

BOWMAN, D. M. J. S. et al. The human dimension of fire regimes on Earth. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 12, p. 2223–2236, 2011.

BOWMAN, D. M. J. S. et al. Vegetation fires in the Anthropocene. **Nature Reviews Earth and Environment**, v. 1, n. 10, p. 500–515, 2020.

BOYLE, F.; SHERMAN, D. ScopusTM: The Product and Its Development. **The Serials Librarian**, v. 49, n. 3, p. 147–153, 2005.

BUDININGSIH, K. et al. Forest Management Units’ Performance in Forest Fire Management Implementation in Central Kalimantan and South Sumatra. **Forests**, v. 13, n. 6, p. 1–19, 2022.

BUTSIC, V.; KELLY, M.; MORITZ, M. A. Land use and wildfire: A review of local interactions and teleconnections. **Land**, v. 4, n. 1, p. 140–156, 2015.

CALDARARO, N. Human ecological intervention and the role of forest fires in human ecology. **Science of the Total Environment**, v. 292, n. 3, p. 141–165, 2002.

CALVIÑO-CANCELA, M. et al. Wildfire risk associated with different vegetation types within and outside wildland-urban interfaces. **Forest Ecology and Management**, v. 372, p. 1–9, 2016.

CARDOZO, S. F. et al. Analysis and assessment of the spatial and temporal distribution of burned areas in the amazon forest. **Remote Sensing**, v. 6, n. 9, p. 8002–8025, 2014.

CASALLAS, A. et al. Design of a Forest Fire Early Alert System through a Deep 3D-CNN Structure and a WRF-CNN Bias Correction. **Sensors**, v. 22, n. 22, 2022.

CAVALCANTE, R. B. L. et al. Assessment of fire hazard weather indices in the eastern Amazon: a case study for different land uses. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 4, p. 352–362, 2021.

CHO, A. Y. et al. Burned Area Mapping using Uni-temporal PlanetScope Imagery with a Deep Learning-based Approach. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 16, p. 242–253, 2022.

CHUVIECO, E. et al. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 1, p. 46–58, 2010.

CIREZI, N. C. et al. Contribution of ‘human induced fires’ to forest and savanna land

conversion dynamics in the Luki Biosphere Reserve landscape, western Democratic Republic of Congo. **International Journal of Remote Sensing**, v. 43, n. 17, p. 6406–6429, 2022.

DÍAZ-AVALOS, C.; JUAN, P.; SERRA-SAURINA, L. Modeling fire size of wildfires in Castellon (Spain), using spatiotemporal marked point processes. **Forest Ecology and Management**, v. 381, p. 360–369, 2016.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, n. April, p. 285–296, 2021.

DOS SANTOS, J. F. C. et al. Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 809–821, 2019.

DURIGAN, G.; DE SIQUEIRA, M. F.; FRANCO, G. A. D. C. Threats to the Cerrado remnants of the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 355–363, 2007.

ECKERT, S. et al. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. **Journal of Arid Environments**, v. 113, p. 16–28, 2015.

ELLEGAARD, O.; WALLIN, J. A. The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 1809–1831, 2015.

ELSEVIER. **Scopus**. Disponível em: <https://www-elsevier-com.ez77.periodicos.capes.gov.br/solutions/scopus?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030>. Acesso em: 5 nov. 2022.

EVA, H.; FRITZ, S. Examining the potential of using remotely sensed fire data to predict areas of rapid forest change in South America. **Applied Geography**, v. 23, n. 2–3, p. 189–204, 2003.

EVA, H.; LAMBIN, E. F. Fires and land-cover change in the tropics: A remote sensing analysis at the landscape scale. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 3, p. 765–776, 2000.

FAHIMNIA, B.; SARKIS, J.; DAVARZANI, H. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 162, p. 101–114, 2015.

FIDELIS, A. Is fire always the “bad guy”? **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 268, n. 151611, 2020.

GAVEAU, D. L. A. et al. Four decades of forest persistence, clearance and logging on Borneo. **PLoS ONE**, v. 9, n. 7, p. 1–11, 2014.

GEANEY, F. et al. Type 2 diabetes research yield, 1951-2012: Bibliometrics analysis and density-equalizing mapping. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, p. 1–14, 2015.

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. DA C. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? **Forest Ecology and Management**, v. 417, n. February, p. 281–290, 2018.

GONÇALVES, W. L. Fogo No Pantanal: Uma Análise Conceitual Sobre As Contribuições Bibliográficas. **Biodiversidade**, v. 20, n. 1, p. 160–175, 2021.

- GUEDES, B. J. et al. Vulnerability of small forest patches to fire in the Paraíba do Sul River Valley, southeast Brazil: Implications for restoration of the Atlantic Forest biome. **Forest Ecology and Management**, v. 465, n. April, p. 118095, 2020.
- HADDAWAY, N. R. et al. Making literature reviews more reliable through application of lessons from systematic reviews. **Conservation Biology**, v. 29, n. 6, p. 1596–1605, 2015.
- HAGHANI, M. et al. The state of wildfire and bushfire science: Temporal trends, research divisions and knowledge gaps. **Safety Science**, v. 153, n. May, p. 105797, 2022.
- HANSEN, M. C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v. 342, n. November, p. 850–853, 2013.
- HAO, W. M.; LIU, M. Spatial and temporal distribution of tropical biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 8, n. 4, p. 495–503, 1994.
- HE, T.; LAMONT, B. B.; PAUSAS, J. G. Fire as a key driver of Earth's biodiversity. **Biological Reviews**, v. 94, n. 6, p. 1983–2010, 2019.
- HERRERA-FRANCO, G. et al. Worldwide research on geoparks through bibliometric analysis. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 3, p. 1–32, 2021.
- HISHE, H. et al. Analysis of Land Use Land Cover Dynamics and Driving Factors in Desa'a Forest in Northern Ethiopia. **Land Use Policy**, v. 101, n. July, p. 105039, 2021.
- HOFFMANN, W. A. et al. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna-forest boundaries. **Austral Ecology**, v. 37, n. 6, p. 634–643, 2012.
- JONES, M. W. et al. Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. **Reviews of Geophysics**, v. 60, n. 3, p. 1–76, 2022.
- JUAREZ-OROZCO, S. M.; SIEBE, C.; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, D. Causes and Effects of Forest Fires in Tropical Rainforests : A Bibliometric Approach. **Tropical Conservation Science**, v. 10, 2017.
- KEELEY, J. E. et al. The 2007 southern California wildfires: Lessons in complexity. **Journal of Forestry**, v. 107, n. 6, p. 287–296, 2009.
- KEELEY, J. E. et al. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 8, p. 406–411, 2011.
- KELLEY, D. I. et al. How contemporary bioclimatic and human controls change global fire regimes. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 9, p. 690–696, 2019.
- KOETZ, B. et al. Multi-source land cover classification for forest fire management based on imaging spectrometry and LiDAR data. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 3, p. 263–271, 2008.
- KOLANEK, A.; SZYMANOWSKI, M.; RACZYK, A. Human activity affects forest fires: The impact of anthropogenic factors on the density of forest fires in Poland. **Forests**, v. 12, n. 6, p. 1–21, 2021.
- KUMAR, A.; PAUL, J.; UNNITHAN, A. B. 'Masstige' marketing: A review, synthesis and

research agenda. **Journal of Business Research**, v. 113, n. September 2019, p. 384–398, 2020.

KUNTZ, S.; SIEGERT, F. Monitoring of deforestation and land use in Indonesia with multitemporal ERS data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 14, p. 2835–2853, 1999.

LAMBIN, E. F.; EHRLICH, D. The identification of tropical deforestation fronts at broad spatial scales. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 17, p. 3551–3568, 1997.

LANGNER, A.; MIETTINEN, J.; SIEGERT, F. Land cover change 2002-2005 in Borneo and the role of fire derived from MODIS imagery. **Global Change Biology**, v. 13, n. 11, p. 2329–2340, 2007.

LARIS, P. Integrating land change science and savanna fire models in West Africa. **Land**, v. 2, n. 4, p. 609–636, 2013.

LAURANCE, W. F. Mega Development Trends in the Amazon: Implications for Global Change. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 61, p. 113–122, 2000.

LE PAGE, Y. et al. Seasonality of vegetation fires as modified by human action: Observing the deviation from eco-climatic fire regimes. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 4, p. 575–588, 2010.

LINNENLUECKE, M. K. .; MARRONE, M. .; SINGH, A. K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, v. 45, n. 2, p. 175–194, 2020.

LIZUNDIA-LOIOLA, J.; PETTINARI, M. L.; CHUVIECO, E. Temporal anomalies in burned area trends: Satellite estimations of the amazonian 2019 fire crisis. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, 2020.

LOEPFE, L.; LLORET, F.; ROMÁN-CUESTA, R. M. Comparison of burnt area estimates derived from satellite products and national statistics in Europe. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 12, p. 3653–3671, 2012.

LOPES DOS SANTOS, G. et al. Degradation of the Brazilian Cerrado: Interactions with human disturbance and environmental variables. **Forest Ecology and Management**, v. 482, n. August 2020, 2021.

MARQUES, J. F. et al. Fires dynamics in the Pantanal: Impacts of anthropogenic activities and climate change. **Journal of Environmental Management**, v. 299, n. March, p. 113586, 2021.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 5, p. 1117–1129, 2010.

MCCARTHY, N. F. et al. A deep learning approach to downscale geostationary satellite imagery for decision support in high impact wildfires. **Forests**, v. 12, n. 3, p. 1–12, 2021.

MCLAUHLAN, K. K. et al. Fire as a fundamental ecological process: Research advances

and frontiers. **Journal of Ecology**, v. 108, n. 5, p. 2047–2069, 2020.

MIETTINEN, J.; SHI, C.; LIEW, S. C. Two decades of destruction in Southeast Asia's peat swamp forests. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 10, n. 3, p. 124–128, 2012.

MOHAJANE, M. et al. Application of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area. **Ecological Indicators**, v. 129, n. June, p. 107869, 2021.

MORTON, D. C. et al. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, 2013.

NELSON, A.; CHOMITZ, K. M. Effectiveness of strict vs. multiple use protected areas in reducing tropical forest fires: A global analysis using matching methods. **PLoS ONE**, v. 6, n. 8, 2011.

NEPSTAD, D. et al. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65–73, 2006.

NEPSTAD, D. . et al. Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 398, n. 6727, p. 505–508, 1999.

NEPSTAD, D.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A. **Floresta em Chamas - Origens , Impactos e Prevenção do Fogo na Amazônia**. Brasília: Brasília, Brasil, 1999.

OCHOA-GAONA, S. Traditional land-use systems and patterns of forest fragmentation in the highlands of Chiapas, Mexico. **Environmental Management**, v. 27, n. 4, p. 571–586, 2001.

OLIVEIRA, S. et al. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 275, p. 117–129, 2012.

PADILLA, F. M.; GALLARDO, M.; MANZANO-AGUGLIARO, F. Global trends in nitrate leaching research in the 1960–2017 period. **Science of the Total Environment**, v. 643, n. 2, p. 400–413, 2018.

PARK, I. W. et al. Relationships of climate, human activity, and fire history to spatiotemporal variation in annual fire probability across California. **PLoS ONE**, v. 16, n. 11 November, p. 1–20, 2021.

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

PECHONY, O.; SHINDELL, D. T. Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century. **PNAS**, v. 107, n. 45, p. 19167–19170, 2010.

PERIANES-RODRIGUEZ, A.; WALTMAN, L.; VAN ECK, N. J. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. **Journal of Informetrics**, v. 10, n. 4, p. 1178–1195, 2016.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and

present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.

POURTAGHI, Z. S. et al. Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 72–84, 2016.

PURNOMO, H. et al. Fire economy and actor network of forest and land fires in Indonesia. **Forest Policy and Economics**, v. 78, p. 21–31, 2017.

QUINTERO, N. et al. Assessing landscape fire hazard by multitemporal automatic classification of landsat time series using the Google Earth Engine in West-Central Spain. **Forests**, v. 10, n. 6, 2019.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing** Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2021. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RAZAVI-TERMEH, S. V.; SADEGHI-NIARAKI, A.; CHOI, S. M. Ubiquitous GIS-based forest fire susceptibility mapping using artificial intelligence methods. **Remote Sensing**, v. 12, n. 10, 2020.

REIS, M. et al. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. **Journal of Environmental Management**, v. 288, n. October 2020, p. 112310, 2021.

SAKELLARIOU, S. et al. Remotely sensed data fusion for spatiotemporal geostatistical analysis of forest fire hazard. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 17, p. 1–20, 2020.

SALVATI, L.; FERRARA, A. Validation of MEDALUS Fire Risk Index using Forest Fires Statistics through a multivariate approach. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 365–369, 2015.

SANO, E. E. et al. Comparative Analysis of the Global Forest / Non-Forest Maps Derived from SAR and Optical Sensors. Case Studies from Brazilian Amazon and Cerrado Biomes. **Remote Sensing**, v. 13, n. 367, 2021.

SANSEVERO, J. B. B. et al. Fire drives abandoned pastures to a savanna-like state in the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 1, p. 31–36, 2020.

SANTANA, M. M. M. et al. of remote sensing in fire ecology. **Scientometrics**, n. 0123456789, 2021.

SANTOS, G. L. et al. Degradation of the Brazilian Cerrado: Interactions with human disturbance and environmental variables. **Forest Ecology and Management**, v. 482, n. August 2020, 2021.

SANTOS, S. B. M.; BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A. Research on Wildfires and Remote Sensing in the Last Three Decades : A Bibliometric Analysis. **Forests**, v. 12, n. 604, 2021.

SCHNEIDER, M.; PERES, C. A. Environmental costs of government-sponsored agrarian settlements in Brazilian Amazonia. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, p. 1–23, 2015.

- SHIMABUKURO, Y. E. et al. Mapping burned areas of mato grosso state brazilian amazon using multisensor datasets. **Remote Sensing**, v. 12, n. 22, p. 1–23, 2020.
- SILVA, C. H. L. et al. Deforestation-induced fragmentation increases forest fire occurrence in central Brazilian Amazonia. **Forests**, v. 9, n. 6, 2018.
- SILVEIRA, M. V. F. et al. Drivers of fire anomalies in the Brazilian Amazon: Lessons learned from the 2019 fire crisis. **Land**, v. 9, n. 12, p. 1–24, 2020.
- SILVEIRA, M. V. F. et al. Amazon fires in the 21st century: The year of 2020 in evidence. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 10, p. 2026–2040, 2022.
- SORRENSEN, C. Contributions of fire use study to land use/cover change frameworks: Understanding landscape change in agricultural frontiers. **Human Ecology**, v. 32, n. 4, p. 395–420, 2004.
- SOUZA JR, C. M. et al. Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the brazilian amazon. **Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 5493–5513, 2013.
- SPINAK, E. Cienciometricos. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, p. 141–148, 1998.
- THANUSKODI, S.; VENKATALAKSHMI, V. The growth and development of research on ecology in India: A bibliometric Study. **Library Philosophy and Practice**, v. 359, p. 1–10, 2010.
- THELWALL, M. Scopus 1900 – 2020 : Growth in articles , abstracts , countries , fields , and journals. **Quantitative Science Studies**, v. 3, n. 1, p. 37–50, 2022.
- TRAN, T. V.; REEF, R.; ZHU, X. A Review of Spectral Indices for Mangrove Remote Sensing. **Remote Sensing**, v. 14, n. 19, p. 4868, 2022.
- TYUKAVINA, A. et al. Types and rates of forest disturbance in Brazilian Legal Amazon, 2000–2013. **Science Advances**, v. 3, n. 4, p. 1–16, 2017.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey : VOSviewer , a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, p. 523–538, 2010.
- VAN WEES, D. et al. The role of fire in global forest loss dynamics. **Global Change Biology**, v. 27, n. 11, p. 2377–2391, 2021.
- VASCONCELOS, R. N. et al. Oil Spill Detection and Mapping : A 50-Year Bibliometric Analysis. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3647, p. 1–18, 2020.
- VENTER, Z. S.; CRAMER, M. D.; HAWKINS, H. J. Drivers of woody plant encroachment over Africa. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1–7, 2018.
- VETRITA, Y.; COCHRANE, M. A. Fire frequency and related land-use and land-cover changes in Indonesia’s Peatlands. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, 2020.
- VIEDMA, O.; MOITY, N.; MORENO, J. M. Changes in landscape fire-hazard during the second half of the 20th century: Agriculture abandonment and the changing role of driving factors. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 207, p. 126–140, 2015.

- WALTMAN, L.; VAN ECK, N. J. .; NOYONS, E. C. M. A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. **Journal of Informetrics**, v. 4, n. 4, p. 629–635, 2010.
- WELCH, J. R. et al. Indigenous burning as conservation practice: Neotropical savanna recovery amid agribusiness deforestation in Central Brazil. **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, 2013.
- WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. [s.l.] Springer-Verlag New York, 2016.
- WILLIAMS-JARA, G. M. et al. Fires in coastal wetlands: a review of research trends and management opportunities. **Wetlands**, v. 42, n. 6, 2022.
- XIANG, C.; WANG, Y.; LIU, H. A scientometrics review on nonpoint source pollution research. **Ecological Engineering**, v. 99, p. 400–408, 2017.
- YIN, S. Biomass burning spatiotemporal variations over South and Southeast Asia. **Environment International**, v. 145, p. 106153, 2020.
- ZHAN, X. et al. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 336–350, 2002.
- ZHANG, H. et al. Bibliometric analysis of global remote sensing research during 2010–2015. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 11, 2017.
- ZHOU, L. et al. Contrasting post-fire dynamics between Africa and South America based on MODIS observations. **Remote Sensing**, v. 11, n. 9, 2019.
- ZHUANG, Y. et al. Global remote sensing research trends during 1991-2010: A bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 96, n. 1, p. 203–219, 2013.
- ZIOTI, F. et al. A platform for land use and land cover data integration and trajectory analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 106, n. 102655, 2022.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Quadro 1: Artigos mais citados por década, suas respectivas citações, os dados e métodos utilizados e a área de estudo pesquisada.

TÍTULO	CITAÇÃO	REFERÊNCIA	DADOS	MÉTODOS	ÁREA DE ESTUDO
High-resolution global maps of 21st-century forest cover change	6128	(HANSEN et al., 2013)	Landsat	Algoritmo de classificação	Floresta Global
Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire	982	(Nepstad et al., 1999)	Entrevistas, Landsat TM	<i>Overlay</i>	Amazônia
Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands	573	(NEPSTAD et al., 2006)	Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES), Mapas de incêndios ativos derivados do GOES-8	Estatística Não Paramétrica Kruskal-Wallis e <i>overlay</i>	Amazônia
Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies	341	(CHUVIECO et al., 2010)	Imagens AVHRR/ NOAA, dados Terra-MODIS	Regra Probabilística de Kolmogorov	Espanha
A contemporary assessment of change in humid tropical forests	336	(ASNER et al., 2009)	<i>Global Forest Change (GFC)</i> ; Quickbird, GeoEye-1 e SPOT-4	Algoritmo de classificação	Florestas Tropicais
Four decades of forest persistence, clearance and logging on Borneo	304	(GAVEAU et al., 2014)	Imagens Landsat MSS, ALOS, MODIS Surface Reflectance	Algoritmo de classificação supervisionado com base em árvores	Borneo - Indonésia

Effectiveness of strict vs. multiple use protected areas in reducing tropical forest fires: A global analysis using matching methods	302	(NELSON; CHOMITZ, 2011)	Imagens SPOT; MODIS Thermal Anomalies/Fire e MODIS Burned Area	Métrica de Distância Mahalanobis	Floresta Tropical (países em desenvolvimento)
Detection of land cover changes using MODIS 250 m data	255	(ZHAN et al., 2002)	MODIS Surface Reflectance; Perímetro de incêndio compilado pelo Serviço Florestal do USDA	Vegetative Cover Conversion (VCC)	Idaho – Montana, México, Tailândia e Brasil
Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia	234	(ECKERT et al., 2015)	MCD12Q1 (Land Cover Type); MOD13Q1 (Vegetation Indices); Imagens Landsat	Análise de regressão	Mongólia - Ásia
Land cover change 2002-2005 in Borneo and the role of fire derived from MODIS imagery	226	(LANGNER; MIETTINEN; SIEGERT, 2007)	MODIS Surface Reflectance; MODIS Thermal Anomalies/Fire	Algoritmo ISODATA e Overlay	Borneo - Indonésia
The incidence of fire in amazonian forests with implications for REDD	219	(ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010)	Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES); Projeto de Monitoramento de Incêndios – INPE; Imagens AVHRR/ NOAA; MODIS Thermal Anomalies/Fire	<i>Overlay</i>	Amazônia
Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the brazilian amazon	187	(SOUZA JR et al., 2013)	Imagens Landsat TM e ETM+; SPOT-5 e dados do Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES)	Algoritmo de Classificação Genérico; Normalized Difference Fraction Index (NDFI)	Amazônia

Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime	157	(ALENCAR et al., 2015)	Imagens Landsat TM e ETM+; dados NOAA	CLAS-BURN algorithm	Amazônia
Two decades of destruction in Southeast Asia's peat swamp forests	148	(MIETTINEN; SHI; LIEW, 2012)	Imagens Landsat TM; MODIS Surface Reflectance; MODIS Thermal Anomalies/Fire e ATSR	<i>Overlay</i>	Ásia
What causes deforestation in Indonesia?	133	(AUSTIN et al., 2019)	<i>Global</i> Forest Change (GFC); Imagens Landsat	Interpretação Visual e distribuição bootstrap via reamostragem	Indonésia
Drivers of woody plant encroachment over Africa	131	(VENTER; CRAMER; HAWKINS, 2018)	MCD12Q1 (Land Cover Type), MODIS Burned Area Imagens Landsat TM, ETM+ e OLI;	Índices NDVI, SAVI e EVI; Boosted Regression Tree (BRT) e Random Forest (RF)	África Subsaariana
Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques	129	(POURTAGHI et al., 2016)	MODIS Thermal Anomalies/Fire; Imagens Landsat	Algoritmos Boosted Regression Tree (BRT); Generalized Additive Model (GAM) e Random Forest (RF)	Irã - Ásia
Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia	124	(MORTON et al., 2013)	Imagens MODIS Surface Reflectance; Landsat e AIRS.	Índice NDVI e Algoritmo Burn Damage and Recovery (BDR)	Floresta Amazônica
Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery	119	(MATRICARDI et al., 2010)	Imagens Landsat TM e ETM+; Imagens GOES	Índices NDVI, MSAVI, GEMI, AFRI; correlação de Pearson e análise de regressão múltipla	Amazonia
Seasonality of vegetation fires as modified by human action: Observing the deviation from eco-climatic fire regimes	118	(LE PAGE et al., 2010)	MODIS Thermal Anomalies/Fire	Chandler Burning Index (CBI)	Floresta Global

Types and rates of forest disturbance in Brazilian Legal Amazon, 2000–2013	111	(TYUKAVINA et al., 2017)	Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES) e <i>Global Forest Change</i> (GFC) e Imagens Landsat e Google Earth	<i>Overlay</i> ; estimador direto de área e interpretação visual	Amazônia Legal Brasileira
Application of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area	40	(MOHAJANE et al., 2021)	Inventário de incêndios, Landsat OLI, DEM 30m (SRTM), ERA-Interim	Razão de frequência (FR), Rede neural multicamada perceptron (MLP), Regressão logística (LR), Árvore de classificação e regressão (CART), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM)	Marrocos - África
Fire frequency and related land-use and land-cover changes in Indonesia's Peatlands	36	(VETRITA; COCHRANE, 2020)	MODIS <i>Burned Area</i> , Landsat e SPOT 4	Equações de porcentagem anual de área queimada e intervalos médios de retorno do fogo	Indonésia
The role of fire in global forest loss dynamics	28	(VAN WEES et al., 2021)	Global Forest Change (GFC), MODIS <i>Burned Area</i> , MODIS Thermal Anomalies/Fire, VIIRS (VNP14IMGML active fires) e FireCCISFD11	Overlay, probabilidade, teste não paramétrico de Mann–Kendall, estimador de inclinação de Sem e coeficiente de correlação de Pearson	Floresta Global
Ubiquitous GIS-based forest fire susceptibility mapping using artificial intelligence methods	27	(RAZAVI-TERMEH; SADEGHINIARAKI; CHOI, 2020)	MODIS Thermal Anomalies/Fire, ASTER (DEM), Landsat 7 ETM +	Frequency ratio (FR), neuro fuzzy interface system (ANFIS), algorithm combined genetic (GA), algorithm simulated annealing (SA), imperialist competitive algorithm (ICA), algorithms radial basis function (RBF), fire cycle, Moran's I index	Irã - Ásia
Drivers of fire anomalies in the Brazilian Amazon: Lessons learned from the 2019 fire crisis	26	(Silveira et al., 2020)	MODIS Thermal Anomalies/Fire, Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES), CHIRPS, MapBiomias	Receiver Operating Characteristic (ROC) e area under the curve (AUC), teste t de Welch, local bivariate relationships	Amazônia

Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics	24	(REIS et al., 2021)	Landsat 5-TM, Landsat 8-OLI, Resourcesat-1 - LISS III, Projeto Queimadas (INPE), Projeto de Mapeamento de Desmatamento (PRODES)	Delta Normalized Burn Ratio (dNBR), Mann–Kendall (MK) statistic, weights-of-evidence contrast (WOEC)	Amazonas
Analysis of Land Use Land Cover Dynamics and Driving Factors in Desa'a Forest in Northern Ethiopia	22	(HISHE et al., 2021)	Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM, Landsat 8-OLI	Maximum Likelihood, focus group discussions	África
Fire drives abandoned pastures to a savanna-like state in the Brazilian Atlantic Forest	21	(SANSEVERO et al., 2020)	Parcelamento, fotografias hemisféricas	Índice de área foliar (IAF), cobertura de grama C ₄ e abundância de plantas rebrotadas, análise de variância baseada em permutação	Mata Atlântica
Biomass burning spatiotemporal variations over South and Southeast Asia	20	(YIN, 2020)	MODIS Thermal Anomalies/Fire, MCD12Q1 (Land Cover Type), TerraClimate	Theil–Sem, Mann–Kendall (MK) statistic, análises de distribuição geográfica	Ásia

CAPITULO III - INFLUÊNCIA DA MUDANÇA DO USO E COBERTURA DA TERRA NO COMPORTAMENTO DO FOGO NA REGIÃO MATOPIBA

RESUMO

As mudanças no uso da terra, intensificadas pelo desmatamento e agricultura, estão diretamente relacionadas com o fogo. No Brasil, a região do MATOPIBA, última fronteira agrícola do país, vem passando por extensas modificações nos usos e cobertura da terra, além disso, está inserida majoritariamente no bioma Cerrado, esse naturalmente adaptado e dependente do fogo. O objetivo deste estudo foi entender os padrões de queima e as mudanças espaciais da paisagem, e a relação entre a frequência de queima e as transições de uso da terra através da correlação espacial local, a partir de dados do projeto MapBiomias. Com os dados de uso e cobertura da terra foi gerado o mapa de transição e calculadas as métricas da paisagem: área, porcentagem de ocupação, número de manchas, índice de maior mancha e índice de divisão da paisagem. Os dados de cicatrizes de queimadas foram utilizados para análise da frequência de queima e a distribuição espacial do fogo. Por fim, os dados de transição e frequência de queima foram correlacionados, por meio da correlação espacial local, utilizando o software RStudio. Nos 36 anos de análise, observou-se uma diminuição da cobertura vegetal natural em detrimento da inserção de áreas de agropecuária que vem se tornando cada vez maiores e mais homogêneas. As áreas de transição ocorreram principalmente em áreas no oeste da região, no Arco do Desmatamento e também no oeste da Bahia e sudoeste do Piauí. Em relação ao fogo, observou-se que pelo menos 58% da área do MATOPIBA já queimou pelo menos uma vez, sendo as áreas com maior frequência de queima cobertas por vegetação natural, apesar disso, as áreas onde a agricultura está inserida queimaram de 2 a 10 vezes em 36 anos. A correlação foi significativa predominantemente no oeste da região MATOPIBA e no estado da Bahia. Desse modo, os esforços para a gestão do fogo na região precisam se concentrar na relação do mesmo com as mudanças do uso e cobertura da terra.

Palavras chave: detecção de mudanças, áreas queimadas, dinâmica da paisagem, incêndios, cerrado

ABSTRACT

Changes in land use, intensified by deforestation and agriculture, are directly related to fire. In Brazil, the MATOPIBA region, the last agricultural frontier of the country, has been undergoing extensive modifications in land use and land cover, and is mostly located in the Cerrado biome, which is naturally adapted and dependent on fire. The objective of this study was to understand the patterns of burning and spatial changes in the landscape, and the relationship between burning frequency and land use transitions through local spatial correlation, based on data from the MapBiomias project. With the land use and land cover data, the transition map was generated and landscape metrics were calculated: area, occupancy percentage, number of patches, largest patch index, and landscape partition index. Burn scar data were used to analyze burn frequency and the spatial distribution of fire. Finally, the transition and burn frequency data were correlated, by local spatial correlation, using RStudio software. In the 36 years of analysis, we observed a decrease in natural vegetation cover in detriment of the insertion of agricultural areas, which are becoming larger and more homogeneous. The transition areas occurred mainly in areas in the west of the region, in the Arc of Deforestation and also in western Bahia and southwestern Piauí. Regarding fire, it was observed that at least 58% of the MATOPIBA area has burned at least once, being the areas with the highest frequency of burning covered by natural vegetation, despite that, the areas where agriculture is inserted have burned from 2 to 10 times in 36 years. The correlation was significant predominantly in the west of the MATOPIBA region and in the state of Bahia. Thus, fire management efforts in the region need to focus on the relationship of fire to land use and land cover change.

Keywords: change detection, burned areas, landscape dynamics, fires, cerrado

1. INTRODUÇÃO

O fogo é um distúrbio que está presente na maioria dos tipos de vegetação do Brasil, em maior ou menor grau, sendo sua ocorrência, intensidade, extensão e taxa de propagação, resultado de complexas interações entre fatores climáticos, biológicos e humanos (BOWMAN et al., 2019). É historicamente, um importante agente das mudanças de uso e cobertura da terra, exigindo assim monitoramento do seu impacto no meio ambiente (SHIMABUKURO et al., 2020).

O fogo descontrolado, provocado principalmente de forma antrópica, é um agente de degradação que pode causar danos em florestas, áreas agrícolas e zonas residenciais, afetando também as propriedades do solo (CATARINO et al., 2020; ONDIK et al., 2022). A influência das ações humanas na dinâmica do fogo está diretamente relacionados ao desenvolvimento socioeconômico, fragmentação da paisagem e manejo da terra (ANDELA et al., 2017).

O regime de fogo é influenciado drasticamente com o aumentos das fontes de ignição e a fragmentação florestal (ALENCAR et al., 2015). A fragmentação pode afetar o regime de fogo facilitando a ignição e o aumento das queimadas ou suprimindo a propagação de incêndios entre os fragmentos (ROSAN et al., 2022). O fogo afeta diretamente a heterogeneidade da paisagem, logo, o padrão espacial das áreas queimadas é resultado do equilíbrio entre o combustível presente e a sua conectividade (LOEPFE; LLORET; ROMÁN-CUESTA, 2012). Dessa forma, a compreensão e a análise das mudanças do padrão da paisagem ao longo do tempo são imprescindíveis para o monitoramento e avaliação do fogo (GOUNARIDIS et al., 2014)

No Brasil, o fogo está diretamente relacionado a fatores como as mudanças no uso da terra e condições climáticas podendo se tornar extensos incêndios florestais com proporções incontroláveis (PIVELLO et al., 2021). O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, é um ecossistema adaptado e dependente do fogo, isso porque ao mesmo tempo em que evoluiu a partir da recorrência dos incêndios, o mesmo pode auxiliar nos processos ecológicos do bioma como aumento da produção de frutos e dispersão de sementes (PIVELLO, 2011).

Nas últimas décadas, o bioma vem sendo transformado de uma região escassamente habitada para uma potência agrícola (SPERA et al., 2016). Essas alterações causam impactos nos regimes de incêndio, alterando as cargas de combustível e as taxas de ignição, conseqüentemente alterando os padrões do fogo (BOWMAN et al., 2011). As queimadas provocadas pelo homem durante a estação seca, são mais intensas, severas e extensas do que os

incêndios naturais causados por relâmpagos que geralmente acontecem entre as estações chuvosa e seca (BERLINCK; BATISTA, 2020).

A região do MATOPIBA, possui 90% da sua área inserida no bioma Cerrado e é considerada atualmente como uma das principais fronteiras agrícolas do Brasil, principalmente devido às condições edafoclimáticas favoráveis, disponibilidade e preço de terras e políticas agrícolas (SCHNEIDER et al., 2021). Por se tratar de uma região sem histórico de pecuária em larga escala, quando comparada a outras áreas do Cerrado, a expansão agrícola na área vem crescendo a partir do desmatamento da vegetação nativa (SPERA et al., 2016). Logo, alterações substanciais foram feitas no uso e cobertura da terra ao longo do tempo na região, que resultam em diversas modificações ambientais como fragmentação, perda de biodiversidade, degradação da terra, mudanças no regime de fogo e conseqüentemente modificação do clima regional (KLINK; MACHADO, 2005; SILVA et al., 2006).

Dara *et al.* (2020), afirma que é necessária uma melhor compreensão acerca de como as mudanças na intensidade do uso da terra afetam os padrões de fogo, diante dessa problemática, torna-se necessária a realização de estudos científicos que apresentem métodos e técnicas capazes de relacionar a incidência das queimadas com as mudanças de uso e cobertura da terra. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar espacialmente e temporalmente os padrões do fogo na região MATOPIBA a partir de cicatrizes de queimadas, e as mudanças espaciais da paisagem por meio de métricas da paisagem e transições de uso da terra, além de entender a relação entre a frequência de queima e as transições de uso da terra através da correlação espacial local.

2. METODOLOGIA

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O MATOPIBA abrange 337 municípios inseridos nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, possuindo 73 milhões de hectares (Figura 1). A região tem aproximadamente 90% da sua área inserida no bioma Cerrado, com pequenas manchas pertencentes aos biomas Caatinga e Amazônia. Está consolidada como a área mais significativa do Brasil para a expansão da agricultura em grande escala, sendo atualmente uma das regiões do país aonde a conversão de terras vem acontecendo em um ritmo acelerado (ESPINDOLA et al., 2021; VIEIRA et al., 2021). Apesar da sua oficialização ter sido realizada por meio do Decreto Nº 8447 que dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA (PDA-

MATOPIBA) em 06 de maio de 2015, o processo de expansão das áreas agrícolas na região teve seu início na década de 1970, sendo fortemente impulsionada pelo governo federal que buscava na época incentivar o povoamento do sul do Maranhão (SALOMON, 2020).

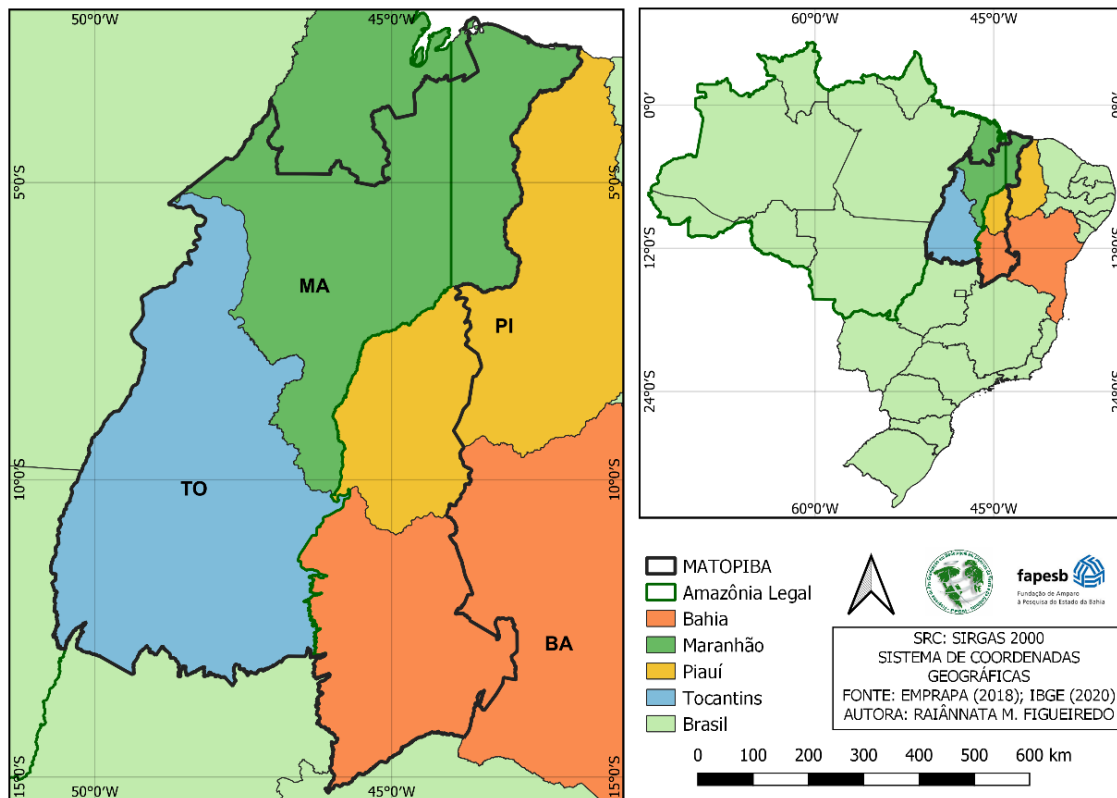


Figura 1: Localização da região MATOPIBA destacando os estados que fazem parte da área.

A região possui 11% do território coberto por formações florestais principalmente na região nordeste, enquanto as formações savânicas estão distribuídas em 61% do território, além disso três bacias hidrográficas estão inseridas no MATOPIBA: Bacia do Rio Tocantins (ocupando 43% da área do MATOPIBA), Bacia do Atlântico – Trecho Norte/Nordeste (com 40%) e Bacia do Rio São Francisco (com 17%) (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014).

Do ponto de vista edáfico, predomina na área solos classificados como Latossolos, seguidos de Argissolos, Plintossolos Pétricos, Neossolos Quartzarênicos Órticos, Neossolos Litólicos e Cambissolos (LUMBRERAS et al., 2015). Os latossolos são solos altamente intemperizados, profundos com alta permeabilidade de água; os argissolos possuem o horizonte B mais argiloso e estruturado do que o horizonte A, o que aumenta os problemas de erosão; os plintossolos possuem séria restrição à percolação de água; os neossolos quartzarênicos possuem baixos teores de argila e matéria orgânica; os neossolos litólicos são solos rasos que devidos as

suas características são inaptos para a agricultura; e os cambissolos se encontram em relevos mais íngremes ou são mais rasos (REATTO et al., 2008).

Possui um relevo majoritariamente plano (até 3% de declividade), cerca de 50% e 33,7% de áreas suavemente onduladas (de 3% a 8%) (BOLFE et al., 2016). Souza et al., (2020) identificaram que 83,4% das áreas desmatadas de savana na região MATOPIBA, concentravam-se em declividades inferiores a 3°, enquanto aproximadamente 16% foram observadas em inclinações de 4 a 13°. Ainda segundo os autores, a agricultura mecanizada na região ocorrem principalmente em áreas de alta elevação e baixa inclinação.

De acordo com a classificação climática de Köppen, possui clima Aw, Tropical com inverno seco (ALVARES et al., 2013). Especificamente, o clima predominante na extensão central do território do MATOPIBA é o tropical semiúmido (~78% do território), caracterizado por temperaturas médias acima de 18°C em todos os meses do ano. Já o limite leste, na zona de transição entre o Cerrado e a Caatinga, o clima predominante é o semiárido, com baixa umidade e precipitação, com seis meses secos, e temperaturas elevadas, acima de 18°C (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014).

A expansão da região se iniciou nas proximidades de Balsas, município do estado do Maranhão, no final da década de 1970, a partir de iniciativas do governo federal ao incentivo do povoamento do sul do Maranhão (SALOMON, 2020). Apesar disso, a expansão agrícola no Sul Maranhense e Sudoeste Piauiense, não foi tão expressiva como no oeste baiano devido as condições biofísicas da área, como a diminuição da pluviometria e a maior presença de solos arenosos (ARAÚJO et al., 2019).

A intensificação dessa expansão se deu com a implantação do Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento Agrícola dos Cerrados (PRODECER), onde com o apoio de investimentos da Agência Japonesa de Cooperação Internacional (JICA) novas variedades de culturas foram desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para permitir o cultivo de soja em áreas com solos de baixa fertilidade e adaptada as condições climáticas da área, provocando mudanças fundiárias e incentivando a criação de fazendas de grande porte (Dourado, 2019; Hamaguchi, 2019; Sano, 2019).

Segundo Araújo et al., (2019) houve na área do MATOPIBA, um crescimento de 4.028% na produção de soja entre os anos de 1990 a 2015. Estes números tendem a aumentar ainda mais, de acordo com o estudo “Projeções do Agronegócio – Brasil 2016/17 a 2026/27”, a área plantada de grãos na região, deve aumentar em 15% até 2027, uma área equivalente a 8,4

milhões de hectares, podendo atingir 11 milhões de hectares, com uma produção capaz de chegar a 33 milhões de toneladas de grãos (BRASIL, 2017).

2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados de uso e cobertura da terra e cicatrizes de fogo foram obtidos do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS, 2021). Utilizou-se as informações dos anos de 1985 a 2020, que correspondem aos dados da Coleção 6 do mapeamento de uso e cobertura da terra e Coleção 1 do MapBiomias Fogo.

O Projeto MapBiomias, a partir da união entre o Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto e Ciência da Computação, produz diversos dados de acesso gratuito, dentre eles o mapeamento anual de uso e cobertura do solo, utilizando a plataforma Google Earth Engine. Esses dados são desenvolvidos a partir de mosaicos anuais de imagens Landsat, sem nuvem, com 30 metros de resolução e implementados algoritmos de processamento de imagem para treinar um classificador Random Forest. Após a classificação são aplicados filtros espaciais e temporais nas imagens (SOUZA et al., 2020).

Outro dado disponibilizado pelo projeto é a série temporal de área queimada, desenvolvidos a partir de mosaicos anuais do índice NBR (Normalized Burn Ratio), baseados em imagens Landsat de 30m de resolução, onde cada mosaico anual é composto pelo menor valor de NBR em um ano de cada pixel, utilizando como modelo de classificação o Deep Neural Network (DNN) para o mapeamento mensal e anual das cicatrizes de incêndio, a área queimada acumulada e a frequência de fogo (ALENCAR et al., 2022).

Os dados de cicatrizes de fogo foram analisados em relação a área e a frequência. Os dados de uso e cobertura da terra foram reclassificados a fim de unir as classes de coberturas naturais, agropecuária e áreas não vegetadas. O Quadro 1 apresenta a reclassificação das classes de uso e cobertura da terra com base na Coleção 6 do projeto MapBiomias.

Quadro 1: Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra com base na coleção 6 do MapBiomias.

CLASSE MAPBIOMAS	RECLASSIFICAÇÃO
Formação Florestal	Vegetação Natural
Formação Savânica	
Mangue	
Campo Alagado/Áreas Pantanosas	
Formação Campestre	
Afloramento Rochoso	
Apicum	
Silvicultura	Agropecuária
Pastagem	
Cana	
Mosaico Agricultura/Pastagem	
Soja	
Arroz	
Outras Lavouras Temporárias	
Café	
Outras Lavouras Perenes	
Praia, Duna, Areal	Áreas Não Vegetadas
Área Urbana	
Outras Áreas Não Vegetadas	
Mineração	
Aquicultura	Água
Rio, Lago, Oceano	

2.3. MÉTRICAS DA PAISAGEM

As ações humanas são capazes de impactar nos processos ecológicos principalmente através de alterações nos padrões espaciais da paisagem (TANNER; FUHLENDORF, 2018).

A paisagem foi analisada com base em métricas aplicadas nos níveis de classe, a fim de calcular as características espaciais específicas das manchas que integram os tipos de uso e cobertura da terra na área de interesse (LEGARRETA-MIRANDA et al., 2021). Utilizou-se também a regra de vizinhança de oito células vizinhas, ou seja, levou-se em consideração que duas células estão conectadas quando compartilham um lado ou uma extremidade. Para o

cálculo das métricas utilizou-se o pacote *SDMTools* do software R (versão 3.5) e RStudio (versão 1.3), esse pacote abarca ferramentas para a modelagem de distribuição de espécies, contendo métodos para visualizar resultados, selecionar limites, calcular medidas de precisão e estatísticas de fragmentação da paisagem (VANDERWAL et al., 2014).

Foram calculadas cinco métricas da paisagem (Quadro 2): a área total de cada classe (TA), a porcentagem de ocupação de cada classe na paisagem (PLAND), número de manchas (NP), índice de maior mancha (LPI) e índice de divisão da paisagem (LDI). O TA calcula a área total de cada classe, enquanto o PLAND representa a porcentagem da paisagem que é compreendida pelo tipo de classe. O NP quantifica a quantidade de manchas. O LPI mede a proporção da paisagem composta pela maior mancha e o LDI, baseia-se na distribuição cumulativa da área de mancha e é interpretado como a probabilidade de dois pixels escolhidos aleatoriamente na paisagem não estarem situados na mesma mancha de classe correspondente (MCGARIGAL et al., 2015).

Quadro 2: Descrição das métricas da paisagem utilizadas para quantificar a estrutura da paisagem na região MATOPIBA.

Métrica	Descrição	Unidade	Intervalo	Equação	Categoria
Área total de cada classe (TA)	Área total da classe	Hectares (ha)	CA > 0	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right)$ a _{ij} = área (m ²) do patch ij	Métrica de área
Porcentagem de ocupação das classes na paisagem (PLAND)	Porcentagem da paisagem composta pelo tipo de classe	Porcentagem (%)	0 < PLAND ≤ 100	$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$ P _i = proporção da paisagem ocupada pelo patch da classe i a _{ij} = área (m ²) do patch ij A = área total da paisagem	Métrica de área
Numero de manchas (NP)	Número de manchas em uma determinada classe	None	NP ≥ 1	$NP = n_i$ n _i = número de patches na paisagem da classe i	Métrica de agregação
Índice de maior mancha (LPI)	Porcentagem da paisagem compreendida pela maior mancha	Porcentagem (%)	0 < LPI ≤ 100	$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$ a _{ij} = área (m ²) do patch ij. A = área total da paisagem (m ²).	Métrica de área
Índice de Divisão da Paisagem (LDI)	Probabilidade de dois pixels escolhidos aleatoriamente na paisagem não estarem situados na mesma mancha de classe correspondente.	Proporção	0 ≤ LDI < 1	$DIVISION = \left[1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \right]$ a _{ij} = área (m ²) do patch ij. A = área total da paisagem (m ²).	Métrica de agregação

Fonte: (MCGARIGAL et al., 2015)

2.4. ANÁLISE DE TRANSIÇÕES DE USO DA TERRA

A análise de transição é uma metodologia que permite a compreensão das alterações que ocorrem em diferentes paisagens ao longo de um período (BARNIEH et al., 2020). Baseia-se no estudo das mudanças no uso e cobertura da terra entre um determinado período a partir da análise de uma matriz de tabulação (PONTIUS; SHUSAS; MCEACHERN, 2004).

Na plataforma do Google Earth Engine (GEE) as transições de uso da terra foram calculadas a partir dos mapas reclassificados de uso e cobertura da terra gerados pelo MapBiomas dos anos de 1985 e 2020 para cálculo das transições totais do período, além disso foi feito o cálculo das transições ano a ano para analisar como essas mudanças ocorreram no tempo. Empregou-se operações de álgebra de mapa para construir uma matriz de transição e calcular ganhos e perdas líquidos relativos as classes de uso. A área total para cada tipo de transição foi calculada de modo a identificar quais as mudanças mais expressivas entre as áreas de classes durante o período de análise.

2.6. CORRELAÇÃO ESPACIAL

O método de correlação é utilizado na determinação da dependência entre dois fatores e a partir disso define-se a direção e o grau da correlação (ZHANG; JIANG; ZHANG, 2019). Dessa forma, utilizou-se o mapa de frequência de área queimada e transição de uso e cobertura da terra para determinar a correlação utilizando a regra de quatro vizinhos, onde as células são consideradas conectadas quando compartilham os lados.

Para isso utilizou-se a função “*Local correlation coeficiente*” do pacote “*raster*” no *software* R. Essa função calcula o coeficiente de correlação local para dois raster utilizando usando uma vizinhança focal (HIJMANS et al., 2022). O objetivo final é gerar um mapa com indicadores locais de associação espacial, identificar os padrões de agrupamentos espaciais entre áreas com transição e as frequentemente queimadas.

Além disso, é necessário um coeficiente de correlação a ser aplicado no processamento, nesse estudo foi utilizado Pearson. O Coeficiente de Correlação de Pearson verifica a possibilidade de relações lineares exatas entre variáveis independentes, ou seja, a multicolinearidade entre elas (KALOGIROU, 2012). Ainda segundo o autor, o Coeficiente de Correlação Local Pearson (LPCC) é calculado para cada ponto de observação com base em informações dos vizinhos mais próximos.

O LPCC varia entre os valores de -1 a 1. Cohen (1988) aponta que os coeficientes de correlação entre 0.10 e 0.29 são considerados pequenos, entre 0.30 e 0.49 médios e acima de 0.5 grandes. Para os cálculos do LPCC foi utilizado um p-value de 0,05.

3. RESULTADOS

3.1. TRANSIÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA

Nas últimas quatro décadas, houveram mudanças na extensão e distribuição espacial das classes de cobertura da terra na região do MATOPIBA, destacando-se as áreas de vegetação natural e a agropecuária. A Figura 2 retrata as transferências entre as classes durante o período de estudo de 36 anos.

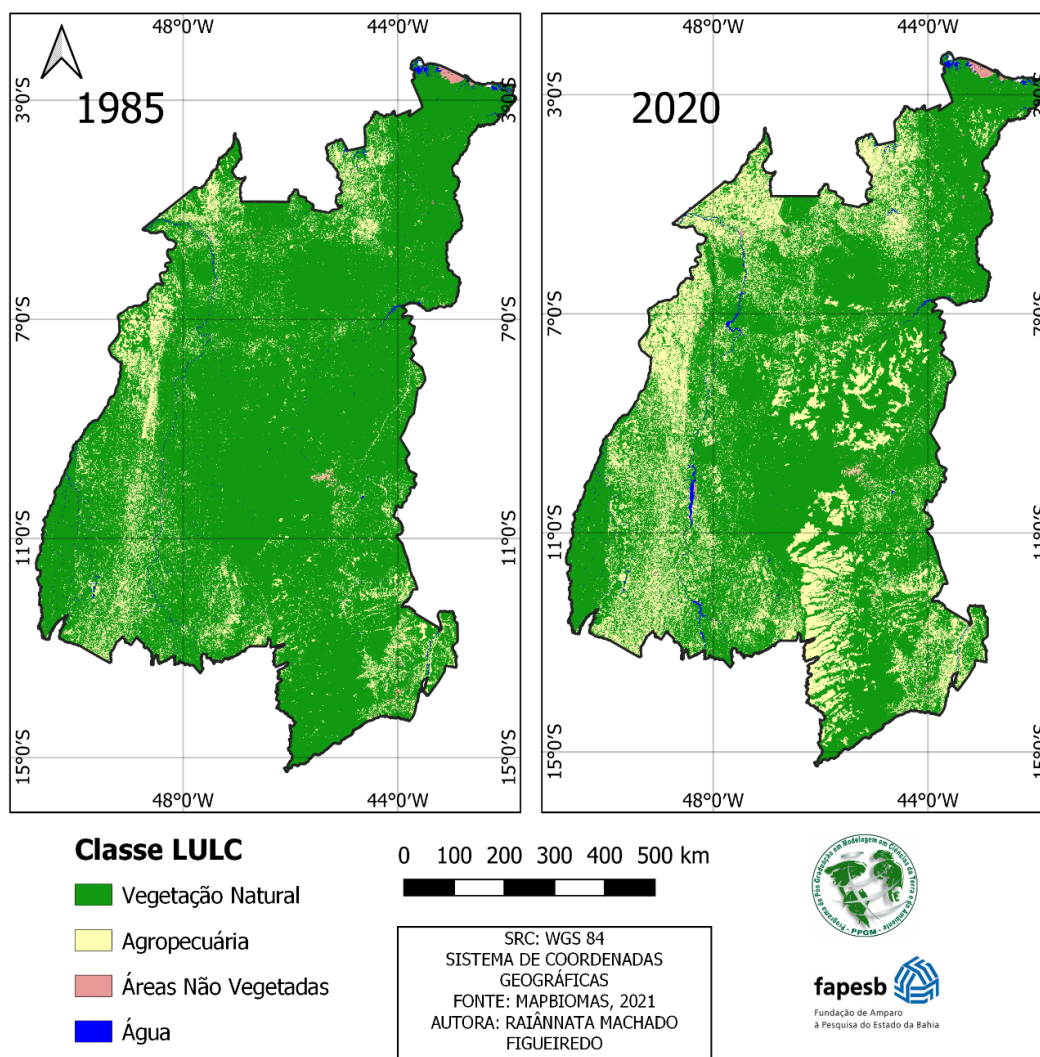


Figura 2: Mudanças no uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA ocorrida entre os anos de 1998 à 2020.

Nos 36 anos analisados, as maiores transições ocorreram entre as classes de vegetação natural e agropecuária (Figura 3). Cerca de 589727 km² (80,63%) dos usos da terra persistiram no período, dentre eles 515575 km² (70,49%) são áreas de vegetação natural e 68094 km² (9,31%) destinadas a agropecuária. A cobertura de vegetação natural teve a maior redução, cerca de 109512 km² foram perdidas, com uma taxa média de 3042 km² perdidos por ano. Ao contrário, a classe de agropecuária teve o maior acréscimo, cerca de 108086 km² surgiram entre 1985 e 2020.

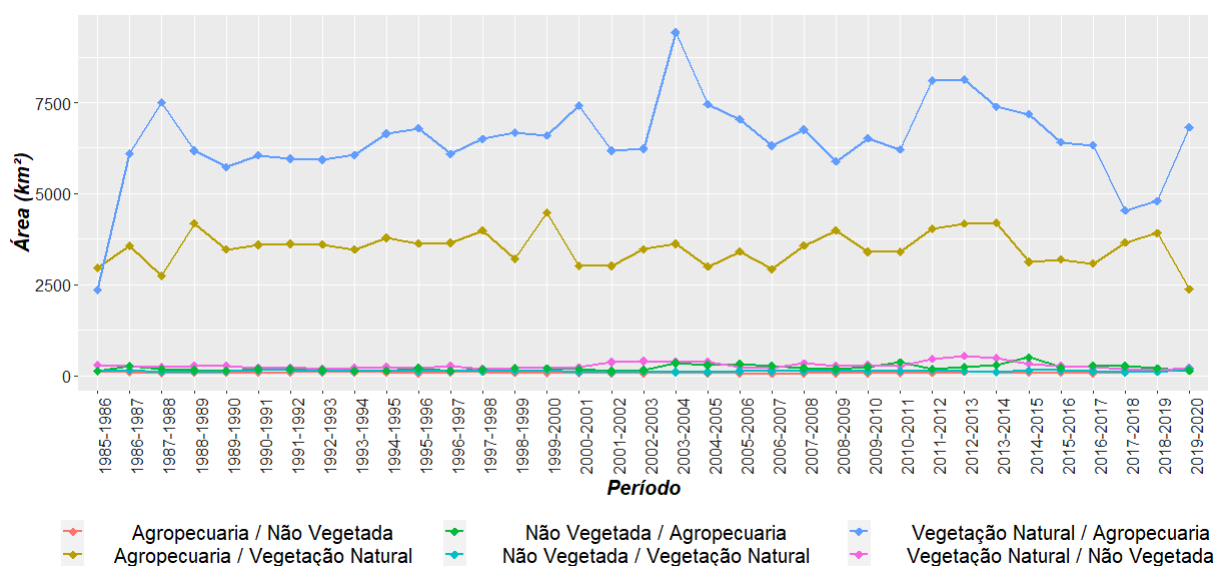


Figura 3: Transições que ocorreram nos usos e coberturas da terra no MATOPIBA, entre os anos de 1985 e 2020.

Como principal transição, 121729 km² de vegetação natural deram espaço para implementação da agropecuária, destacando como essas áreas expandiram principalmente às custas da perda da vegetação, com picos nos períodos de 1987-1988, 2000-2001, 2003-2004 e 2011-2013, e transição média de 3381,4 km²/ano. É possível observar um decréscimo nessa transição a partir do período 2013-2014, com tendência a um novo crescimento desde 2019.

No período de 1985-1986 a transição Agropecuária - Vegetação Natural superou a transição Vegetação Natural - Agropecuária, mas após o ano de 1986, as mudanças que apontam uma regeneração não atingiram a perda da vegetação nativa. Nas classes áreas não vegetadas e água houveram uma quantidade relativamente pequena de transições no período em comparação com os outros tipos de cobertura do solo.

A Figura 4 ilustra a distribuição espacial das transições que ocorreram na região MATOPIBA entre os anos de 1985 e 2020. Durante todo o período de estudo, as áreas estáveis situaram-se majoritariamente na parte Norte do MATOPIBA, área onde predomina a cobertura

por Formações Florestais, no centro da região, ao Sul do estado do Maranhão e Leste do Tocantins, onde encontram-se quatro Unidades de Conservação (UCs), sendo três delas de Proteção Integral, a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, o Parque Estadual do Jalapão e o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (MMA, 2022). Outra área que manteve sua cobertura estável foi a região Sudoeste do Tocantins, uma área coberta por Campos Alagados e Áreas Pantanosas.

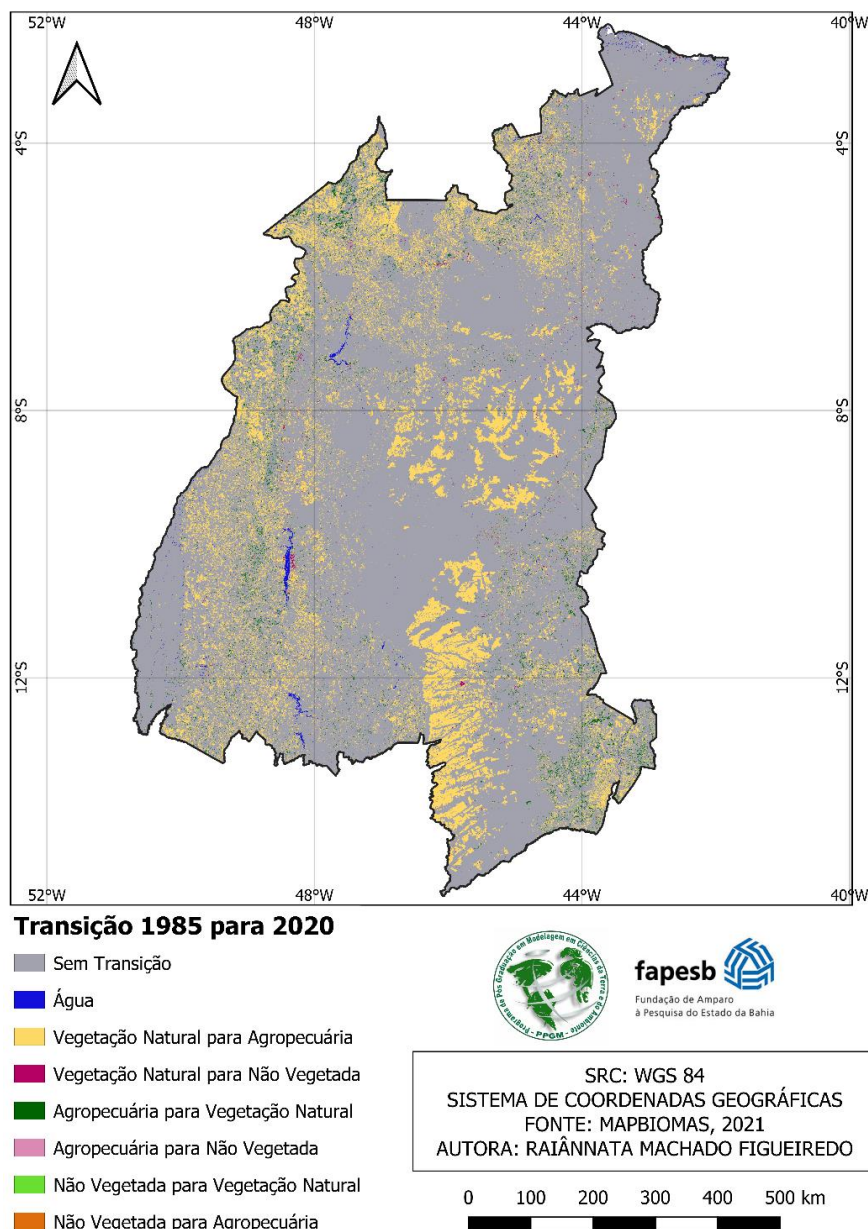


Figura 4: Distribuição espacial das transições entre usos da terra na região do MATOPIBA no período entre 1985 e 2020.

A conversão de terras cobertas por vegetação natural para outros tipos de uso da terra, principalmente agropecuária, ocorreram principalmente em áreas do Oeste da região MATOPIBA, e em áreas próximas ao Arco do Desmatamento, região localizada na transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, um ambiente ambientalmente complexo que favorece a interação de espécies de bioma para outro, mas que são mais sensíveis às alterações ambientais (LEVY et al., 2018; MARQUES et al., 2020). Outra área de destaque para essa transição é a região Oeste do estado da Bahia e Sudoeste do Piauí.

3.2. MÉTRICAS DA PAISAGEM

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos no cálculo das métricas de paisagem avaliadas a nível de classe para a região do MATOPIBA, para cada ano um valor foi gerado para cada métrica em cada classe analisada.

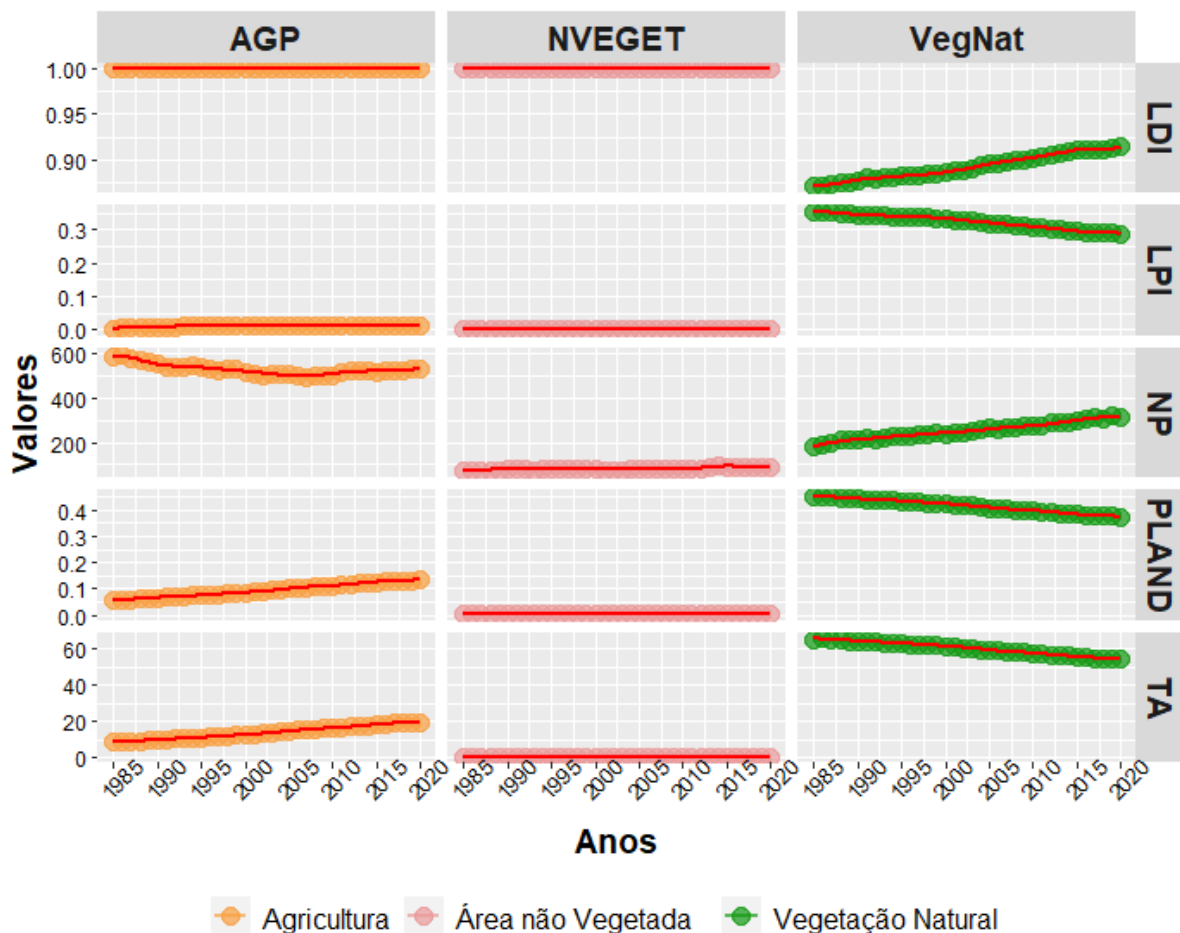


Figura 5: Variação temporal das métricas da paisagem para cada tipo de uso e cobertura da terra, com as seguintes abreviações: Agropecuária: AGP; Áreas Não Vegetadas: NVEGET; Vegetação Natural: VegNat;

Porcentagem de ocupação de cada classe na paisagem: PLAND; Número de manchas: NP; Índice de maior mancha: LPI; Índice de divisão da paisagem: LDI; Área total de cada classe: TA.

Em geral, é possível observar que a classe de vegetação natural seguiu uma tendência diferente das classes de áreas não vegetadas e agropecuária. Entre 1985 a 2020, de acordo com o índice área total (TA), houve um decréscimo de 11,18 milhões de hectares na área ocupada pela classe vegetação natural, de modo que a porcentagem de área ocupada (PLAND) decaiu de 45,17% para 37,44%, com um crescimento no número de manchas (NP) de 74% para as classes de vegetação natural. Ademais, essa classe apresenta um maior índice de maior mancha (LPI), isso é, possui durante todo o período analisado pelo menos uma mancha com tamanho superior a todas as manchas das restantes classes. Em 1985, a maior mancha representava 35% da paisagem, esta porcentagem caiu para 28,7 % em 2020, indicando a presença de mais e menores manchas, ou seja, uma maior fragmentação da classe. Para a métrica índice da divisão da paisagem (LDI), a classe de vegetação natural passou por uma mudança perceptiva durante os anos, em uma crescente de 0,87 para 0,91, o que indica um processo de maior subdivisão da classe, mas com manchas muito maiores e menos divididas do que o que se verifica nas outras classes de uso e ocupação da terra na região.

Para a classe de agropecuária observa-se para a TA um crescimento de 11,04 milhões de hectares, de forma que a PLAND aumentou de 5,8% para 13,46%. O NP teve um decréscimo até o ano de 2008, onde em comparação com o ano de 1985 menos 93 mil manchas são observadas, apontando um aumento da área ocupada pela agricultura e uma possível agregação de manchas menores. A partir do ano de 2008, essa métrica apresentou uma tendência ao crescimento, onde mais 34 mil manchas foram encontradas no período (2008-2020), representando uma taxa de crescimento de 6%, com uma tendência a estabilização a partir do ano de 2015. A análise da métrica LDI demonstra um comportamento igual e constante, muito próximo do valor 1, nas classes de agropecuária e áreas não vegetadas durante todo o período estudado, o que indica uma maior subdivisão.

Em relação a classe Áreas Não Vegetadas, houve um crescimento de 0,10 milhões de hectares, de modo que a porcentagem da área ocupada por esta classe permaneceu quase constante durante este período (1985-2020). Além disso, o Número de Manchas (NP) teve um acréscimo de 24% para áreas não vegetadas, com pico no ano de 2014, com 94 manchas.

3.3.DINÂMICA DO FOGO

Os dados do MapBiomas Fogo detectaram que no período de 36 anos, foram queimados em média 43948,16 km² por ano no MATOPIBA que corresponde a 6% de toda a área da região (aproximadamente 731 mil km²). O ano de 1998 foi o ano com a maior área queimada da série temporal, com 80070 km², já o ano com menor área queimada foi 2009, com 16274 km².

A Figura 6 apresenta a área queimada das classes de uso Vegetação Natural e Agropecuária na região MATOPIBA entre os anos de 1985 a 2020. A classe Vegetação Natural foi a classe com maior área queimada no período analisado com uma média de 38871 km² por ano e pico nos anos de 1987, 1998, 2007, 2010 e 2012. Outrossim, é possível observar que a reincidência de grandes áreas queimadas está cada vez mais frequente, além disso, os anos seguintes aos picos a partir do ano de 2000 queimaram áreas maiores que no período anterior a esse ano.

A classe Agropecuária possuiu uma menor amplitude entre os anos com maior e menor área queimada do que a classe Vegetação Natural, com uma média de 4970 km² queimados por ano, com pico no período entre 1986 e 1988. O ano em que a classe teve maior área queimada foi 1988 com 10129 km² e o ano com menor queima foi 2011 com 2065 km².

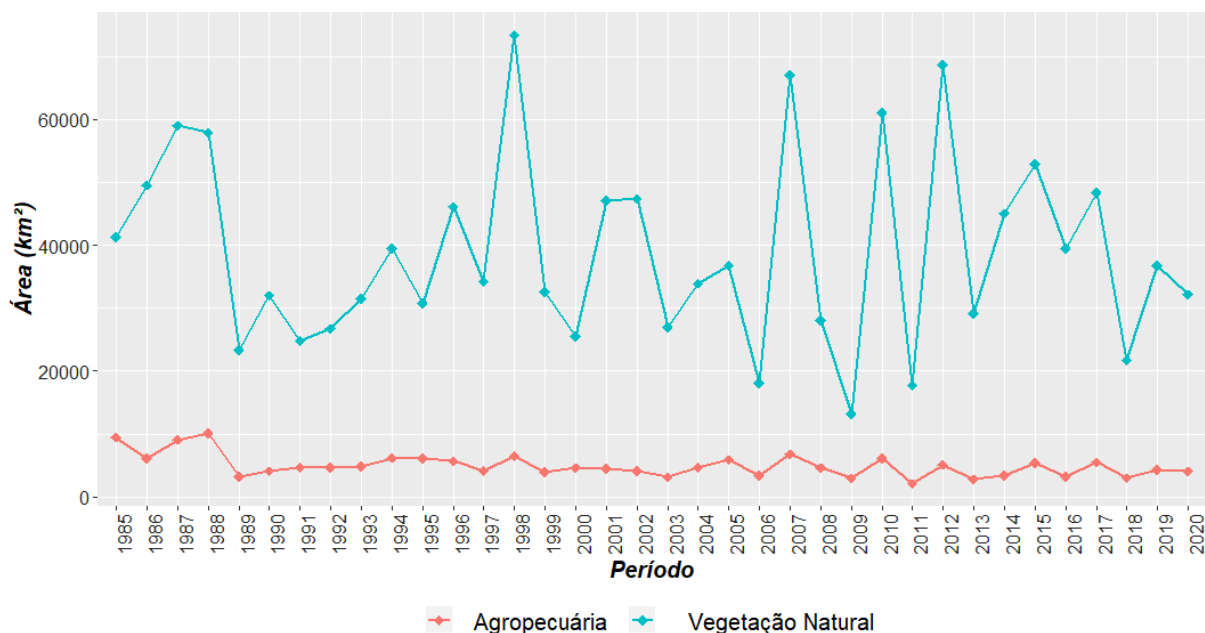


Figura 6: Série temporal da área queimada por classe de uso da terra na região do MATOPIBA.

A Figura 7 explicita os dados de frequência do fogo do produto MapBiomas onde se identificou que aproximadamente 58,42% da área de MATOPIBA (427302 km²) já queimou

pelo menos uma vez durante todo o período analisado. Sendo que destes, 211374 km² queimaram de 1 a 2 vezes, 193941 km² de 3 a 10, 21015 km² de 11 a 20, 904 km² de 21 a 30 e 68km² de 31 a 36. No MATOPIBA, 129569 km² queimaram somente uma vez e 28 km² queimaram todos os anos durante o período de 1985 e 2020.

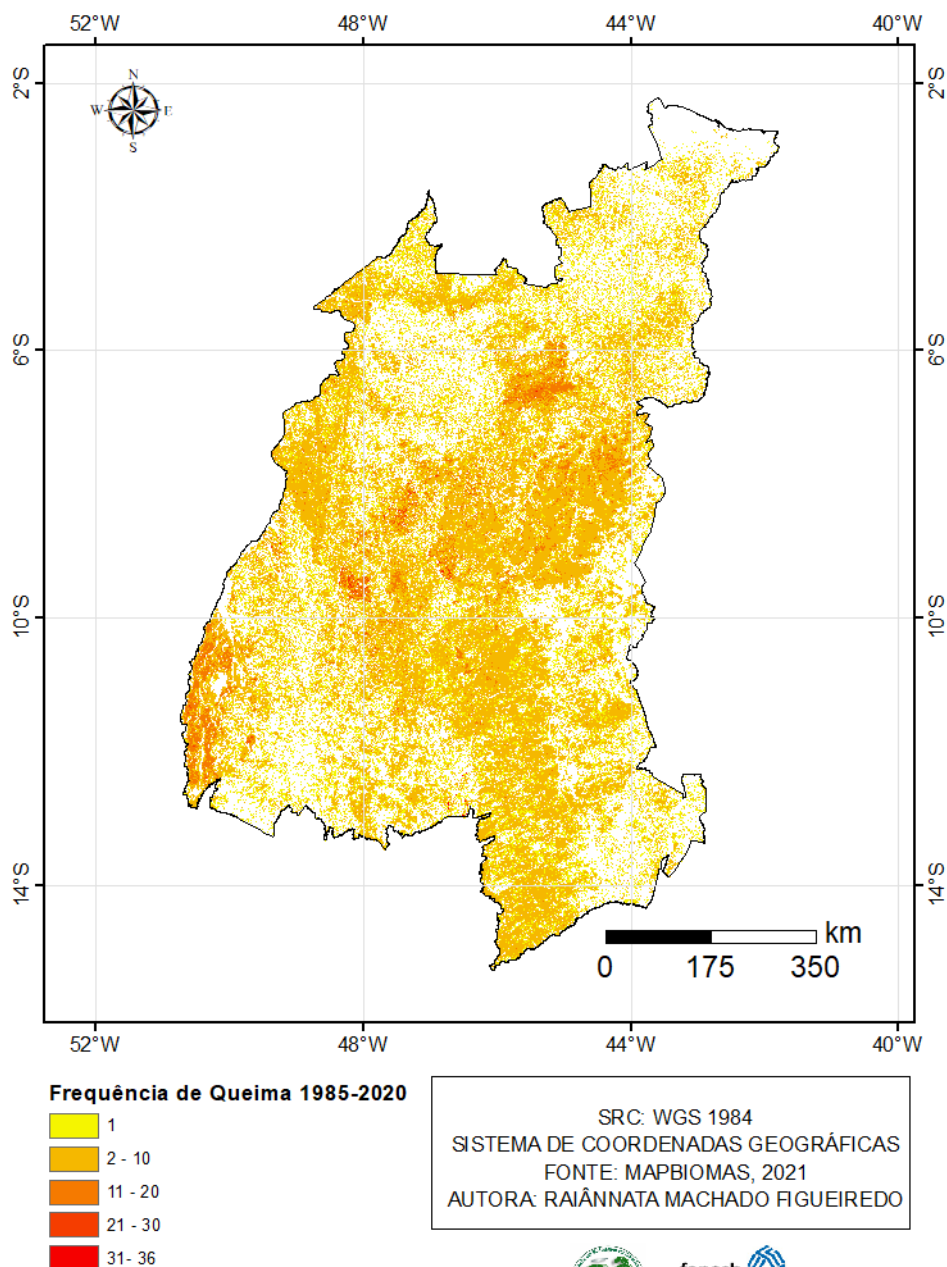


Figura 7: Mapa da frequência de queima na região do MATOPIBA, áreas mais avermelhadas indicam uma maior frequência de queima e áreas amareladas indicam menor frequência de queima. O valor 1 indica que a área queimou um ano e o 36 indica que a área queimou todos os anos dentro dos 36 anos de análise.

Espacialmente, as áreas queimadas ocorreram em praticamente toda a região de estudo com destaque para a frequência de queima no oeste, centro e nordeste do estado do Tocantins e região central do Maranhão. As maiores frequências de queima, são também em áreas onde o uso e cobertura da terra não mudaram nesses 36 anos de observação, sendo desde 1985 cobertas por vegetação natural. Nessas é possível localizar a presença de Unidades de Conservação (UCs) como o Parque Nacional do Araguaia (TO) e o Parque Estadual do Mirador (MA), ambos UCs de Proteção Integral.

Apesar das áreas de vegetação natural terem a maior recorrência de queima no MATOPIBA, grande parte das áreas onde ocorreram transições de vegetação natural para agricultura, tiveram dentro dos 36 anos de análise uma frequência de queima entre 2 a 10 vezes. As áreas transicionais da região do oeste baiano, sudoeste do Piauí e sul do Maranhão tiveram uma frequência de queima maior que as áreas do oeste do Tocantins e Maranhão.

3.4. CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE TRANSIÇÃO DE USO DA TERRA E FREQUÊNCIA DE QUEIMA

A Figura 8 mostra a correlação local entre as áreas com transições de uso da terra e a frequência de queima, sendo apresentados apenas os coeficientes com p-value inferior a 0,05. Essas, apontam uma correlação entre os dados, indicando a ocorrência do evento do fogo associado a mudança no uso e cobertura da terra. Na região, cerca de 22073 km² tiveram uma correlação considerada alta (0,5 - 0,9), 27702 km² média (0,3 - 0,49) e 591 km² perfeita (1) (Figura 8.b).

Em termos espaciais (Figura 8.a), é possível observar no mapa, o predomínio das correlações significativas, principalmente, inserida no estado da Bahia e também na faixa oeste da região, área onde está inserido o arco do desmatamento. A zona de transição entre o Cerrado e a Caatinga, na Bahia, também é uma área onde se destacam as correlações entre as mudanças no uso e o fogo. Além disso, dentro das áreas com maiores correlações estão presentes unidades de conservação como a Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio de Janeiro, situada no oeste da Bahia e a Área de Proteção Ambiental Ilha Do Bananal/Cantão, no Tocantins.

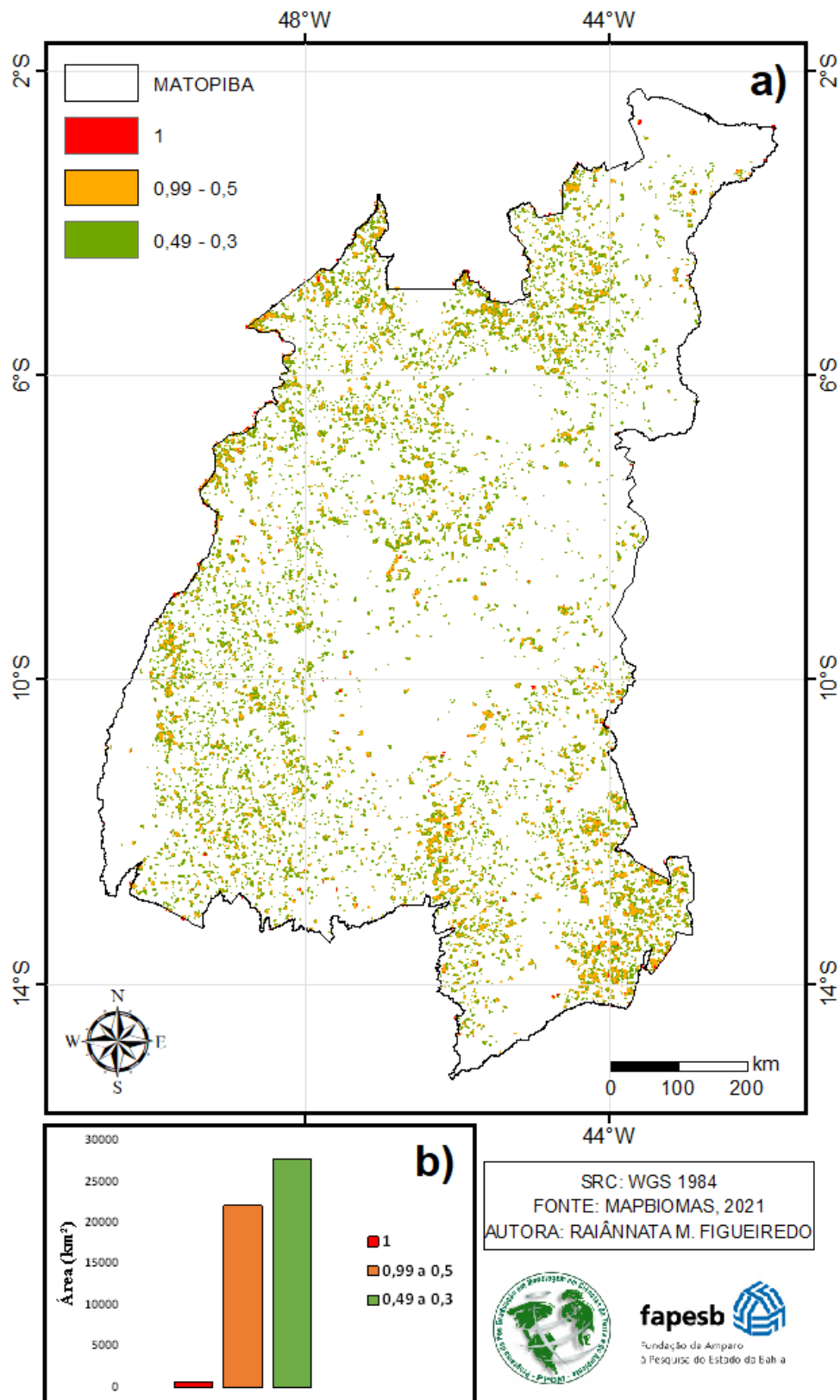


Figura 8: Correlação entre as áreas com transições e a frequência de queima, os valores não significativos (p -value >0,05) foram mascarados. A) mapa de correlação espacial entre as transições de uso da terra e frequência de queima. B) Gráfico da área correspondente a cada correlação.

4. DISCUSSÃO

A região do MATOPIBA é a área com maior taxa de desmatamento no Cerrado, cerca de 241% maior que a média do bioma (TRIGUEIRO; NABOUT; TESSAROLO, 2020). A análise da transição do uso da terra, entre 1985 e 2020, permite a visualização da transformação de grandes áreas de vegetação natural para instituição de agricultura. Esse aumento nas taxas de desmatamento podem provocar mudanças das características climáticas e consequentemente afetar o desenvolvimento agrícola na região. (MARENGO et al., 2022).

As mudanças no uso da terra, determinadas pelas ações antrópicas, vem resultando em diferentes configurações e alterações espaciais na estrutura da paisagem. Apesar disso, no MATOPIBA, existem 2,8 milhões de hectares de áreas que já foram convertidas e estão aptas para a plantação da soja, sendo a maior parte dessas áreas ocupadas atualmente por pastagens, que poderiam se tornar preferenciais para a expansão agrícola da região, diminuindo assim o impacto da conversão de áreas de vegetação natural (CARNEIRO-FILHO; COSTA, 2016).

O processo de fragmentação da vegetação nativa em detrimento da abertura de novas áreas agricultáveis observado nesse estudo é uma tendência também encontrada em outras áreas (BOURGOIN et al., 2021; SLATTERY; FENNER, 2021). Os resultados apontam perda da vegetação natural com aumento no número de manchas, que elucida o processo de fragmentação. Além disso, há uma tendência inversa nas áreas agrícolas refletida no aumento da área e diminuição do número de manchas, pois, a agricultura altamente mecanizada da região necessita de terras com áreas extensas e contínuas para ocorrer (ASSIS; ESCADA; AMARAL, 2021). Gibbs et al. (2015) afirmam que 40% da expansão da soja na região MATOPIBA, ocorreu pela conversão direta da vegetação nativa visto que áreas de savana possuem menos proteção que outras áreas como a Floresta Amazônica.

Isso pode estar atrelado a instituição da Moratória da Soja, acordo voluntário de exploração de soja, sem desmatamento, que visava a estagnação da conversão de terras da Floresta Amazônica, de modo que a expansão seguiu para áreas menos protegidas como a região MATOPIBA (GIBBS et al., 2015; MARANHÃO et al., 2019). Por outro lado, é possível que essa conversão não tenha tido relação com as políticas na Amazônia mas sim com as condições favoráveis de mercado, desenvolvimento de infraestrutura ou adequação da terra (ZALLES et al., 2019).

Aliado a isso, outro importante fator de preservação da vegetação natural é a instituição de áreas protegidas. O uso da terra no Brasil é fortemente influenciado pela presença de

Unidades de Conservação (UCs), uma grande estratégia de conservação ambiental no país (OLIVEIRA et al., 2017). Na área do MATOPIBA as áreas de vegetação natural estáveis durante o período de análise, se encontram majoritariamente dentro de limites de UCs. Apesar da criação dessas áreas serem eficazes na prevenção de perdas florestais, existe grande dificuldade em implementá-las, visto as divergências que surgem a respeito do uso da terra (PAYÉS; PAVÃO; SANTOS, 2013; WADE et al., 2020).

O fogo no Cerrado incluindo a região MATOPIBA está relacionado com a falta de manejo da vegetação natural, mas também com a abertura de novas áreas para a implementação da agricultura (SCHMIDT; ELOY, 2020). Na região, foi identificado que o total de área queimada anualmente varia entre 2 a 10% da área total, sendo a vegetação natural o principal uso afetado por estas queimadas, com a maior frequência de queima dentro dos 36 anos analisados. Na Indonésia, um resultado similar foi encontrado, devendo-se ao fato de os arbustos não serem geridos com o rigor de áreas florestais ou áreas agrícolas, dificultando a supressão rápida dos incêndios (ADRIANTO et al., 2020). Essa recorrência de queima afeta diretamente a vegetação que muitas vezes não consegue se recuperar até o próximo evento, tornando as mais sujeitas a escassez e extinção (OLIVEIRA et al., 2022).

As áreas de transições entre vegetação natural e agropecuária tiveram menores frequências de queima que as áreas estáveis. Isso, está associado ao fato de que em áreas agrícolas o fogo é melhor controlado. Outro estudo aponta que nas propriedades privadas, houve uma redução de 50% da queima, quando cadastradas em plataforma socioambiental com foco em melhoria das práticas agrícolas sustentáveis (OLIVEIRA et al., 2021). Apesar disso, em sistemas de pastagem dominados pelas gramíneas, as queimadas antropogênicas aumentaram a frequência do fogo em 2 a 3 vezes em relação as queimadas naturais que costumavam ocorrer a cada 3-6 anos (PIVELLO et al., 2021). O que reforça ainda a necessidade da explanação sobre a gestão do fogo para os proprietários de terra.

A correlação entre a frequência de queima e a transição do uso da terra apontam áreas em que a presença do fogo está diretamente relacionada com a supressão da vegetação natural e instituição da agricultura. Outras investigações realizadas no MATOPIBA e Cerrado mostram que a área queimada por ano na região está diretamente relacionada com o aumento do desmatamento da savana e intensidade do uso da terra (OLIVEIRA et al., 2022; SOUZA et al., 2020). A relação entre o fogo e a expansão agrícola perpassa pela derrubada da vegetação nativa em áreas propensas a inserção da agricultura, ou também sazonalmente em épocas de colheita

para limpar os campos agrícolas (SILVA et al., 2020). Outrossim, a utilização do fogo em áreas agrícolas pode atuar como fonte de ignição para a queima da vegetação natural do seu entorno (GOMES et al., 2020).

Destaca-se nas áreas de correlação significativa a presença de Áreas de Proteção Ambiental, que são unidades de conservação (UCs) de uso sustentável. Logo, existe uma associação entre fogo e a presença dessas UCs, que pode ser explicada pela alta cobertura vegetal nas áreas, ou devido conflitos no uso da terra (OLIVEIRA et al., 2022). De acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651), é proibido o uso de fogo na vegetação, estando dentro das exceções, o emprego da queima controlada em UCs (BRASIL, 2012).

Por consequência, foram implantadas, por algumas instituições governamentais como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), estratégias de manejo integrado do fogo nas áreas protegidas do Cerrado desde 2012, (FRANKE et al., 2018). E atitudes vem sendo tomadas para gerir o fogo em áreas propensas ao mesmo, como por exemplo, a implementação das queimadas prescritas, com o objetivo de gerenciar o combustível seco a fim de evitar grandes incêndios (MISTRY, 2019; SCHMIDT; ELOY, 2020).

No Cerrado, em áreas com regime regular de fogo, a área total queimada, e a proporção atingida por incêndios no final da estação seca, variaram menos do que em áreas onde foram implementadas a prática de fogo zero (ELOY et al., 2019). Contudo, atualmente a ênfase está no combate aos incêndios ainda que, estudos mostrem que o custo-benefício da prevenção é muito maior (OLIVEIRA et al., 2021).

Mas, para além da relação com as mudanças no uso da terra, é necessário levar em consideração também a influência de outros fatores que possam vir a afetar a dinâmica do fogo na região. Eventos climáticos, como o El Niño, estão diretamente relacionados com eventos de seca na área, que influencia diretamente na incidência de queimadas (MARENGO et al., 2022).

5. CONCLUSÕES

Nesse estudo, combinou-se informações acerca da distribuição espacial e temporal das cicatrizes de queimadas e das mudanças no uso e cobertura da terra para entender a relação entre elas na região do MATOPIBA. Nas últimas décadas, a antropização dessa área, considerada a última fronteira agrícola do país, tem resultado em mudanças no padrão espacial da paisagem e também do fogo.

As mudanças de uso da terra ocorreram principalmente com a redução da vegetação natural em detrimento da implementação de áreas de agropecuária. Além disso, foi possível observar que a classe de uso com maior frequência de queima dentro do período analisado foi a de vegetação natural, contudo, as áreas de agropecuária tiveram uma expressiva recorrência de queima.

A correlação local entre as mudanças no uso da terra e o fogo, dentro do MATOPIBA, permitiu a observação de áreas onde os dois fenômenos estão mais relacionados, diferenciando de outros estudos em que essa relação é analisada de maneira mais simplista, apresentando apenas um coeficiente de correlação para toda a área de estudo. Como resultado, áreas de transição e a frequência de queima tiveram correlação significativa principalmente na região do arco do desmatamento e também em áreas localizadas no estado da Bahia.

Ademais, é importante observar que muitas das áreas com maiores frequências de queima e das áreas com expressivas correlações do fogo com as transições estão incluídas em unidades de conservação, estas que por lei deveriam ser mais protegidas. Dessa forma, se torna indispensável a discussão acerca dos efeitos antrópicos, além de reforçar a necessidade do avanço na política e prática de manejo do fogo nessas áreas.

Desse modo, esse estudo é de grande contribuição para o debate acerca das mudanças nos padrões do fogo aliado as atividades antrópicas, apesar disso, é necessário pesquisas adicionais sobre a modelagem das interações entre o fogo e as mudanças no uso da terra e os impactos dessas transformações, uma vez que é imprescindível e urgente que se concilie os compromissos de conservação e restauração com a economia, principalmente no que diz respeito a expansão agrícola.

REFERÊNCIAS

- ADRIANTO, H. A. et al. Forest and land fires are mainly associated with deforestation in Riau Province, Indonesia. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, p. 1–12, 2020.
- ALENCAR, A. A. et al. Landscape Fragmentation, Severe Drought and the New Amazon Forest Fire Regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493–1505, 2015.
- ALENCAR, A. A. et al. Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning. **Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2510, 2022.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDELA, N. et al. A human-driven decline in global burned area. **Science**, v. 356, n. 6345, p. 1356–1362, 2017.
- ARAÚJO, M. L. S. et al. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). **Land Use Policy**, v. 80, n. July 2018, p. 57–67, 2019.
- ASSIS, T. O.; ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S. Effects of deforestation over the cerrado landscape: A study in the bahia frontier. **Land**, v. 10, n. 4, p. 1–15, 2021.
- BARNIEH, B. A. et al. Mapping land use land cover transitions at different spatiotemporal scales in West Africa. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 20, p. 1–52, 2020.
- BERLINCK, C. N.; BATISTA, E. K. L. Good fire, bad fire: It depends on who burns. **Flora**, v. 268, 2020.
- BOLFE, E. L. et al. Aspectos Sociais e Economicos do Matopiba. **Revista de Política Agrícola**, v. 4, p. 38–62, 2016.
- BOURGOIN, C. et al. Looking beyond forest cover: An analysis of landscape-scale predictors of forest degradation in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 11, 2021.
- BOWMAN, D. M. J. S. et al. The human dimension of fire regimes on Earth. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 12, p. 2223–2236, 2011.
- BOWMAN, D. M. J. S. et al. Human–environmental drivers and impacts of the globally extreme 2017 Chilean fires. **Ambio**, v. 48, n. 4, p. 350–362, 2019.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **BRASIL PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO 2016/2017 a 2026/2027** Brasília, 2017.
- BRASIL. **LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012**. Brasília-DF Diário Oficial da União (DOU), , 2012.
- CARNEIRO-FILHO, A.; COSTA, K. A expansão da soja no Cerrado - caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável. **Agroicone, INPUT**, p. 30, 2016.
- CATARINO, S. et al. Spatial and temporal trends of burnt area in angola: Implications for natural vegetation and protected area management. **Diversity**, v. 12, n. 8, 2020.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2^o ed. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

DARA, A. et al. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes. **Ecosystems**, v. 23, n. 5, p. 943–956, 2020.

DOURADO, C. J. S. **AGRONEGÓCIO E A REESTRUTURAÇÃO URBANO-REGIONAL DO OESTE DA BAHIA GOIÁS**. Dissertação (Mestrado)—Goiás, GO: Universidade Estadual de Goiás, 2019.

ELOY, L. et al. Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. **Ambio**, v. 48, n. 8, p. 890–899, 2019.

ESPINDOLA, G. M. et al. Cropland expansion as a driver of land-use change: the case of Cerrado-Caatinga transition zone in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, n. 0123456789, 2021.

FRANKE, J. et al. Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management. **Remote Sensing of Environment**, v. 217, n. January, p. 221–232, 2018.

GIBBS, H. K. et al. Brazil's Soy Moratorium. **Science**, v. 347, n. 6220, p. 377–378, 2015.

GOMES, L. et al. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, n. November, p. 1–11, 2020.

GOUNARIDIS, D.; ZAIMES, G. N.; KOUKOULAS, S. Quantifying spatio-temporal patterns of forest fragmentation in Hymettus Mountain, Greece. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 46, p. 35–44, 2014.

HAMAGUCHI, N. Spatial Diffusion of the PRODECER Effects: A Macro-spatial Approach. In: HOSONO, A.; HAMAGUCHI, N.; BOJANIC, A. (Eds.). . **Innovation with Spatial Impact: Sustainable Development of the Brazilian Cerrado**. Singapore: Springer, 2019. p. 69–96.

HIJMANS, R. J. et al. **Package ‘ raster ’**, 2022. Disponível em: <<https://rspatial.org/raster/>>

KALOGIROU, S. Testing local versions of correlation coefficients. **Jahrbuch fur Regionalwissenschaft**, v. 32, n. 1, p. 45–61, 2012.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

LEGARRETA-MIRANDA, C. K. et al. Long-Term Land-Use / Land-Cover Change Increased the Landscape Heterogeneity of a Fragmented Temperate Forest in Mexico. **Forests**, v. 12, n. 1099, 2021.

LEVY, M. C. et al. Land Use Change Increases Streamflow Across the Arc of Deforestation in Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 8, p. 3520–3530, 2018.

LOEPFE, L.; LLORET, F.; ROMÁN-CUESTA, R. M. Comparison of burnt area estimates derived from satellite products and national statistics in Europe. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 12, p. 3653–3671, 2012.

LUMBRERAS, J. F. et al. Aptidão Agrícola das Terras do Matopiba. **Embrapa Solos**, v. 179, p. 49, 2015.

MAGALHÃES, L. A.; MIRANDA, E. E. **MATOPIBA: Quadro Natural**. Campinas, SP: , 2014. (Nota técnica).

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 25 out. 2021.

MARANHÃO, R. L. A. et al. The Spatiotemporal Dynamics of Soybean and Cattle Production in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2150, 2019.

MARENCO, J. A. et al. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2022.

MARQUES, E. Q. et al. Redefining the Cerrado–Amazonia transition: implications for conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1501–1517, 2020.

MCGARIGAL, K. et al. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps**, 2015.

MISTRY, J. New perspectives in fire management in South American savannas : The importance of intercultural governance. **Ambio**, v. 48, n. 2, p. 172–179, 2019.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente. Dados Georreferenciados**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

OLIVEIRA, A. S. et al. Costs and effectiveness of public and private fire management programs in the Brazilian Amazon and Cerrado. **Forest Policy and Economics**, v. 127, n. January, 2021.

OLIVEIRA, S. N. et al. Deforestation analysis in protected areas and scenario simulation for structural corridors in the agricultural frontier of Western Bahia, Brazil. **Land Use Policy**, v. 61, p. 40–52, 2017.

OLIVEIRA, U. et al. Determinants of Fire Impact in the Brazilian Biomes. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, n. March, p. 1–12, 2022.

ONDIK, M. M. et al. Fire and land use impact soil properties in a Mediterranean dry sclerophyll woodland. **Journal of Environmental Management**, v. 324, n. September, 2022.

PAYÉS, A. C. L. M.; PAVÃO, T.; SANTOS, R. F. DOS. The conservation success over time: Evaluating the land use and cover change in a protected area under a long re-categorization process. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 177–185, 2013.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.

PIVELLO, V. R. et al. Understanding Brazil’s catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233–255, 2021.

PONTIUS, R. G.; SHUSAS, E.; MCEACHERN, M. Detecting important categorical land

changes while accounting for persistence. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 101, n. 2–3, p. 251–268, 2004.

REATTO, A. et al. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. DE; RIBEIRO, J. F. (Eds.). . **CERRADO Ecologia e Flora**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 410.

ROSAN, T. M. et al. Fragmentation-Driven Divergent Trends in Burned Area in Amazonia and Cerrado. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, n. February, p. 1–10, 2022.

SALOMON, M. M. R. **Quem Disputa O Matopiba ? Interesses E Sustentabilidade Na Fronteira Agrícola**. Tese (Doutorado)—Brasilia: Universidade de Brasilia - UNB, 2020.

SANO, E. E. Land Use Expansion in the Brazilian Cerrado. In: HOSONO, A.; HAMAGUCHI, N.; BOJANIC, A. (Eds.). . **Innovation with Spatial Impact: Sustainable Development of the Brazilian Cerrado**. Singapore: Springer, 2019. p. 137–162.

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 268, n. May, p. 151613, 2020.

SCHNEIDER, M.; MARQUES, A. A. B.; PERES, C. A. Brazil's Next Deforestation Frontiers. **Tropical Conservation Science**, v. 14, 2021.

SHIMABUKURO, Y. E. et al. Mapping burned areas of mato grosso state brazilian amazon using multisensor datasets. **Remote Sensing**, v. 12, n. 22, p. 1–23, 2020.

SILVA, J. F. et al. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 536–548, 2006.

SILVA, P. S. et al. DRIVERS OF BURNED AREA PATTERNS IN CERRADO : THE CASE OF MATOPIBA REGION. **EEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)**, p. 542–547, 2020.

SLATTERY, Z.; FENNER, R. Spatial analysis of the drivers, characteristics, and effects of forest fragmentation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 6, p. 1–22, 2021.

SOUZA, A. A. et al. Dynamics of savanna clearing and land degradation in the newest agricultural frontier in Brazil. **GIScience and Remote Sensing**, v. 57, n. 7, p. 965–984, 2020.

SPERA, S. A. et al. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global change biology**, v. 22, n. 10, p. 3405–3413, 2016.

TANNER, E. P.; FUHLENDORF, S. D. Impact of an agri-environmental scheme on landscape patterns. **Ecological Indicators**, v. 85, n. April 2017, p. 956–965, 2018.

TRIGUEIRO, W. R.; NABOUT, J. C.; TESSAROLO, G. Uncovering the spatial variability of recent deforestation drivers in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Management**, v. 275, 2020.

VANDERWAL, A. J. et al. **SDMTools: Species Distribution Modelling Tools: Tools for processing data associated with species distribution modelling exercises**R package.

Version 1.1-221, , 2014. Disponível em: <<http://www.rforge.net/SDMTools/>>

VIEIRA, R. M. S. P. et al. Land degradation mapping in the MATOPIBA region (Brazil) using remote sensing data and decision-tree analysis. **Science of the Total Environment**, v. 782, p. 146900, 2021.

WADE, C. M. et al. What is threatening forests in protected areas? A global assessment of deforestation in protected areas, 2001-2018. **Forests**, v. 11, n. 5, 2020.

ZALLES, V. et al. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 116, n. 2, p. 428–435, 2019.

ZHANG, R.; JIANG, G.; ZHANG, Q. Does urbanization always lead to rural hollowing? Assessing the spatio-temporal variations in this relationship at the county level in China 2000–2015. **Journal of Cleaner Production**, v. 220, p. 9–22, 2019.