

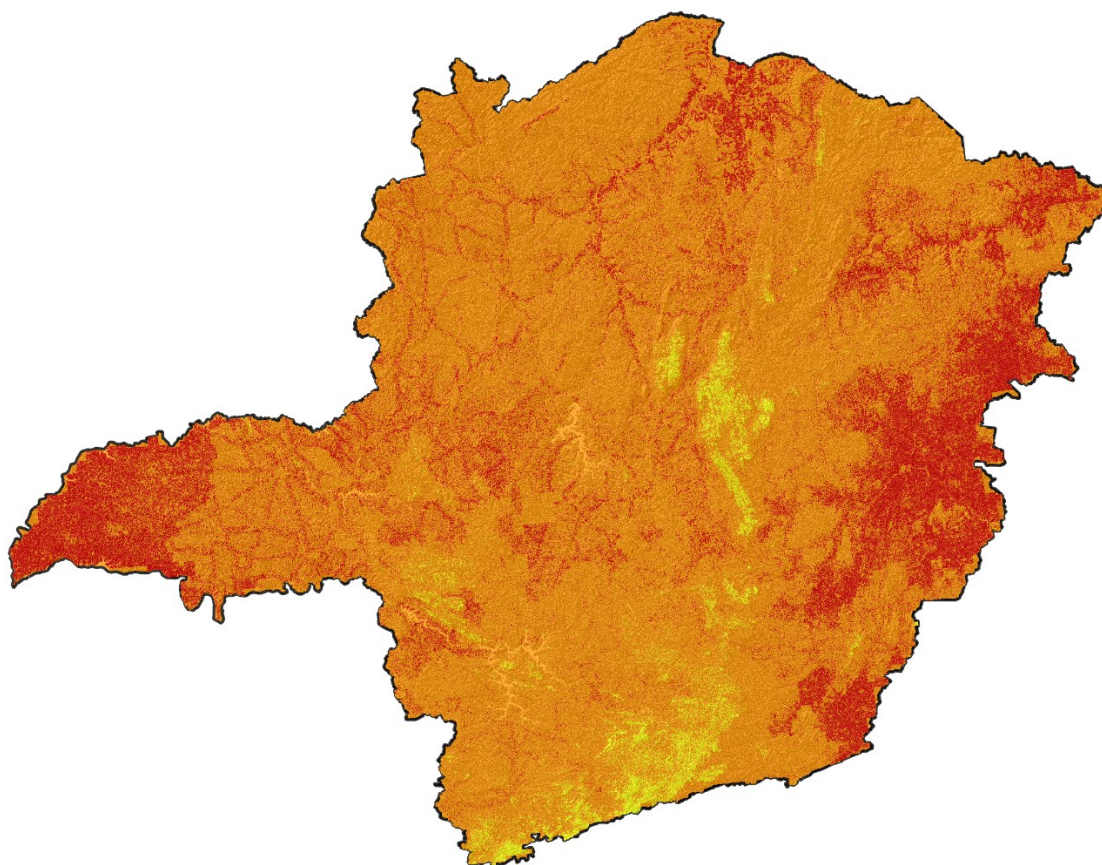


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



**BRUNA APARECIDA SILVA DIAS**

**PROPOSTA PARA MAPEAMENTO DOS RISCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS  
EM MINAS GERAIS**



Uberlândia  
2023



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



---

**BRUNA APARECIDA SILVA DIAS**

**PROPOSTA PARA MAPEAMENTO DOS RISCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS  
EM MINAS GERAIS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Dinâmicas territoriais e estudos ambientais.

Linha II – Estudos Ambientais e Geotecnologias

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito.

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Jussara dos Santos Rosendo.

**Uberlândia  
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

D541p  
2023

Dias, Bruna Aparecida Silva, 1993-  
Proposta para mapeamento dos riscos de queimadas e incêndios em Minas Gerais [recurso eletrônico] / Bruna Aparecida Silva Dias. - 2023.

Orientador: Jorge Luís Silva Brito.  
Coorientadora: Jussara dos Santos Rosendo.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.8066>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Brito, Jorge Luís Silva, 1966-, (Orient.). II. Rosendo, Jussara dos Santos, 1980-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. IV. Título.

---

CDU: 910.1

André Carlos Francisco  
Bibliotecário - CRB-6/3408



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia  
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppggeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, Número 249, PPGGEO				
Data:	25 de agosto de 2023	Hora de início:	13h:30min.	Hora de encerramento:	17h:00min.
Matrícula do Discente:	11913GEO003				
Nome do Discente:	BRUNA APARECIDA SILVA DIAS				
Título do Trabalho:	PROPOSTA PARA MAPEAMENTO DOS RISCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MINAS GERAIS				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	PRINT IG-UFU-CAPEs (Projeto CAPES-PRINT 8881.1311521/2018-01) - Colaborador (2019-2024) - Construção de cidades saudáveis: saúde, população e dinâmica social				

Reuniu-se no Campus Santa Mônica de forma on-line (Sala 14) do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: [Alécio Perini Martins - UFJ-GO](#); [Marcos Esdras Leite - UNIMONTES - MG](#); [Jussara dos Santos Rosendo - UFU-Pontal](#); [João Vítor Meza Bravo - IG - UFU](#) e [Jorge Luis Silva Brito - IG-UFU](#) (orientador da candidata). Os Professores externos participaram de forma on line.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, [Professor Jorge Luis Silva Brito - IG-UFU](#), apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

**Aprovada.**

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Doutora**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Luis Silva Brito, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/08/2023, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alécio Perini Martins, Usuário Externo**, em 25/08/2023, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCOS ESDRAS LEITE, Usuário Externo**, em 25/08/2023, às 17:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Vitor Meza Bravo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/08/2023, às 22:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jussara dos Santos Rosendo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/08/2023, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4679610** e o código CRC **AA1BA71A**.

Dedico a mim, aquela menina que ousou a superar  
a si mesma e que buscou trilhar seus objetivos,  
por mais difíceis que fossem...

## AGRADECIMENTOS

---

Em primeiro lugar, eu agradeço à minha família: aos meus pais (Antonina e Ronilson) e irmãos (Wesley e Wayme). Foi por vocês eu cheguei até aqui. Vocês são meus exemplos de força, vontade e determinação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito, por acompanhar minha jornada durante esses quatro anos.

À minha coorientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jussara dos Santos Rosendo, que esteve comigo desde meu terceiro período da graduação, me inspirou e motivou a ser a pesquisadora e profissional que sou. Agradeço-lhe por todos os momentos compartilhados, por todos os conselhos e pelas contribuições na banca de qualificação. Você é meu exemplo de mulher, amiga, professora e pesquisadora. Gratidão!

A todos os professores, colaboradores e funcionários que de alguma forma contribuíram para que este momento se consolidasse.

À UFU, pelo apoio e incentivo à pesquisa.

Às minhas amigas, Bruna Gueiros e Mariana Vinhal, que foram meu suporte durante o período em que morei em Uberlândia-MG.

À minha amiga e colega de trabalho, Vivian Las Casas, que nos últimos meses me apoiou nesta reta final de desenvolvimento da tese.

À Hellen Cristine pela correção ortográfica do trabalho.

Ao Prof. Dr. João Vítor Meza Bravo, pelas contribuições na banca de qualificação e pela participação na banca de defesa final.

Ao Prof. Dr. Alécio Perini Martins e ao Prof. Dr. Marcos Esdras Leite por aceitarem compor a banca examinadora.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

*"All dreams are within reach. All you have to do is  
keep moving towards them".*

*- Viola Davis*



DIAS, B. A. S. **Proposta para mapeamento dos riscos de queimadas e incêndios em Minas Gerais**. 2023. 167f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.8066>

## RESUMO

---

De 2002 a 2016, aproximadamente 423 milhões de hectares da superfície terrestre queimaram anualmente. Todavia, existem quatro fatores que devem associar o aumento anual no número de registros a áreas queimadas e incendiadas: i) atividades humanas; ii) característica do material combustível; iii) atividades de manejo do fogo; iv) mudanças no uso da terra e no clima. Nesse sentido, este torna-se um dos principais temas a ser discutido, sendo pouco ou insuficientemente abordada em territórios específicos, como o estado de Minas Gerais. O resultado disso são os efeitos observados nas temporadas mais longas de incêndio, tamanho das áreas, impactos climáticos, ocorrência de incêndios em áreas em que estes não ocorriam no passado, e que podem se agravar bem mais quando não prevenidos ou controlados. Com foco em Minas Gerais, por ser o estado com maior número de ocorrências de fogo na Região Sudeste do Brasil, o principal objetivo foi analisar o risco à ocorrência de queimadas e incêndios em todo o território mineiro, por meio do modelo analítico de decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP), no período de 2017 a 2021. Os objetivos específicos foram: a) investigar o progresso da legislação brasileira e mineira referente ao uso do fogo e suas consequências; b) identificar a dinâmica espacial dos focos de calor, visando determinar os padrões de distribuição dos incêndios e queimadas; e c) identificar as variáveis físicas, climáticas e antrópicas que podem ser favoráveis à ignição ou propagação das incidências do fogo, para obtenção do mapa de risco de incêndio e queimadas. A hipótese deste trabalho é que a análise multicritério pode ser empregada no mapeamento dos riscos de queimadas e incêndios. Para testar essa hipótese foi realizado a escolha de variáveis físicas, climáticas e antrópicas que possivelmente interferem no regime do fogo. A coleta das informações vetoriais sobre os focos de incêndios e queimadas foi realizada por meio do banco de dados do Programa Queimadas, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As informações climáticas de temperatura e precipitação foram adquiridas junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)/INPE; os dados demográficos dos municípios mineiros foram obtidos através do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos do Mapbiomas; e declividade, orientação das encostas e altitude foram gerados por meio dos dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os resultados apontam que, as regiões de ocorrência para o intervalo de classe de risco muito alto em relação ao risco de incêndios e queimadas estão distribuídas, principalmente nas mesorregiões do Vale do Rio Doce, Vale do Mucuri e Zona da Mata. Estas regiões possuem forte influência da precipitação, temperatura, do uso da terra, onde há predominância da pastagem, da altitude e da localização das rodovias. Porém, tiveram os menores números de incêndios e queimadas registrados, isso pode ser explicado pela extensão territorial, que são relativamente menores quando comparado as mesorregiões Norte e o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba que são os maiores em extensão territorial e em número de incidências de focos. Os resultados obtidos tanto nas análises do método AHP quanto na comparação com os focos de queimadas e incêndios detectados pelo INPE, validam a metodologia utilizada e os mapas de risco do fogo.

**Palavras-chave:** Incêndios; Queimadas; Processo Hierárquico Analítico; geotecnologias.



## RESUMEN

---

De 2002 a 2016, aproximadamente 423 millones de hectáreas de la superficie terrestre se quemaron anualmente. Sin embargo, hay cuatro factores que deberían asociar el aumento anual en el número de registros con áreas quemadas y quemadas: i) actividades humanas; ii) característica del material combustible; iii) actividades de manejo de incendios; iv) cambios en el uso del suelo y el clima. En este sentido, éste se convierte en uno de los principales temas a discutir, siendo poco o insuficientemente abordado en territorios específicos, como el estado de Minas Gerais. El resultado de esto son los efectos observados en temporadas de incendios más largas, tamaño de las áreas, impactos climáticos, ocurrencia de incendios en áreas donde no ocurrieron en el pasado, y que pueden empeorar mucho si no se previenen o controlan. Centrándose en Minas Gerais, por ser el estado con mayor número de ocurrencias de incendios en la Región Sudeste de Brasil, el objetivo principal fue analizar el riesgo de quemaduras e incendios en todo el territorio de Minas Gerais, utilizando el modelo de decisión analítica Proceso Analítico Jerárquico. (AHP), de 2017 a 2021. Los objetivos específicos fueron: a) investigar los avances de la legislación brasileña y de Minas Gerais sobre el uso del fuego y sus consecuencias; b) identificar la dinámica espacial de los puntos calientes, con el objetivo de determinar los patrones de distribución de incendios y quemas; y c) identificar las variables físicas, climáticas y antropogénicas que puedan ser favorables a la ignición o propagación de incidentes de incendio, para obtener el mapa de riesgo de incendios y quemas. La hipótesis de este trabajo es que el análisis multicriterio se puede utilizar para mapear los riesgos de incendios e incendios. Para probar esta hipótesis se eligieron variables físicas, climáticas y antropogénicas que posiblemente interfieran con el régimen de incendios. La recopilación de información vectorial sobre incendios y focos de quemas se realizó utilizando la base de datos del Programa Queimadas, puesta a disposición por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE). La información climática sobre temperatura y precipitación fue adquirida del Centro de Predicción Meteorológica y Estudios Climáticos (CPTEC)/INPE; los datos demográficos de los municipios de Minas Gerais fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE); los datos de uso y cobertura del suelo se obtuvieron de Mapbiomas; y la pendiente, la orientación de la pendiente y la altitud se generaron utilizando datos de la Misión Topográfica de Radar Shuttle (SRTM). Los resultados indican que las regiones de ocurrencia para el intervalo de clase de riesgo muy alto en relación al riesgo de incendios y quemas están distribuidas, principalmente en las mesorregiones de Vale do Rio Doce, Vale do Mucuri y Zona da Mata. Estas regiones están fuertemente influenciadas por la precipitación, la temperatura, el uso del suelo, donde predomina el pasto, la altitud y la ubicación de las carreteras. Sin embargo, tuvieron el menor número de incendios y quemas registrados, esto se puede explicar por la extensión territorial, que son relativamente menores en comparación con las mesorregiones Norte y el Triângulo Mineiro y Alto Paranaíba, que son las mayores en extensión territorial y número de incidencias de brotes. Los resultados obtenidos tanto en el análisis del método AHP como en la comparación con los incendios e incendios detectados por el INPE, validan la metodología utilizada y los mapas de riesgo de incendio.

**Palabras clave:** Incendios forestales; incendios; Proceso Analítico Jerárquico; geotecnologías.



## ABSTRACT

---

From 2002 to 2016, approximately 423 million hectares of the Earth's surface burned annually. However, there are four factors that should associate the annual increase in the number of records with burned and burned areas: i) human activities; ii) characteristic of the combustible material; iii) fire management activities; iv) changes in land use and climate. In this sense, this becomes one of the main topics to be discussed, being little or insufficiently addressed in specific territories, such as the state of Minas Gerais. The result of this is the effects observed in longer fire seasons, size of areas, climate impacts, occurrence of fires in areas where they did not occur in the past, and which can become much worse when not prevented or controlled. Focusing on Minas Gerais, as it is the state with the highest number of fire occurrences in the Southeast Region of Brazil, the main objective was to analyze the risk of burning and fires throughout the Minas Gerais territory, using the analytical decision model Analytic Hierarchy Process (AHP), from 2017 to 2021. The specific objectives were: a) to investigate the progress of Brazilian and Minas Gerais legislation regarding the use of fire and its consequences; b) identify the spatial dynamics of hot spots, aiming to determine the distribution patterns of fires and burnings; and c) identify the physical, climatic and anthropogenic variables that may be favorable to the ignition or spread of fire incidents, to obtain the fire and burning risk map. The hypothesis of this work is that multi-criteria analysis can be used to map the risks of fires and fires. To test this hypothesis, physical, climatic and anthropogenic variables that possibly interfere with the fire regime were chosen. The collection of vector information on fire and burning outbreaks was carried out using the Queimadas Program database, made available by the National Institute for Space Research (INPE). Climate information on temperature and precipitation was acquired from the Weather Forecasting and Climate Studies Center (CPTEC)/INPE; the demographic data of the Minas Gerais municipalities were obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) database; land use and cover data were obtained from Mapbiomas; and slope, slope orientation and altitude were generated using data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). The results indicate that the regions of occurrence for the very high risk class interval in relation to the risk of fires and burning are distributed, mainly in the mesoregions of Vale do Rio Doce, Vale do Mucuri and Zona da Mata. These regions are strongly influenced by precipitation, temperature, land use, where there is a predominance of pasture, altitude and the location of highways. However, they had the lowest number of fires and burnings recorded, this can be explained by the territorial extension, which are relatively smaller when compared to the North mesoregions and the Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba, which are the largest in territorial extension and number of outbreak incidences. . The results obtained both in the analysis of the AHP method and in the comparison with the fires and fires detected by INPE, validate the methodology used and the fire risk maps.

**Keywords:** Wildfires; burns; *Analytic Hierarchy Process*; geotechnologies.



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 - Mapa das mesorregiões de Minas Gerais. ....	6
Figura 2 - Mapa dos biomas de Minas Gerais. ....	9
Figura 3 - Fluxograma das atividades.....	28
Figura 4 - Mapa de densidade demográfica de Minas Gerais. ....	32
Figura 5 - Mapa de altitude de Minas Gerais. ....	36
Figura 6 - Mapa da malha rodoviária federal e estadual de Minas Gerais. ....	38
Figura 7 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2017) .....	42
Figura 8 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2018) .....	43
Figura 9 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2019) .....	44
Figura 10 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2020) .....	45
Figura 11 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2021) .....	46
Figura 12 - Evolução no percentual das classes de uso e cobertura da terra em Minas Gerais (2017-2021) .....	47
Figura 13 - Mapa de precipitação acumulada (2017) .....	50
Figura 14 - Mapa de precipitação acumulada (2018) .....	51
Figura 15 - Mapa de precipitação acumulada (2019) .....	52
Figura 16 - Mapa de precipitação acumulada (2020) .....	53
Figura 17 - Mapa de precipitação acumulada (2021) .....	54
Figura 18 - Mapa de temperatura média mensal (2017).....	58
Figura 19 - Mapa de temperatura média mensal (2018).....	59
Figura 20 - Mapa de temperatura média mensal (2019).....	60
Figura 21 - Mapa de temperatura média mensal (2020).....	61
Figura 22 - Mapa de temperatura média mensal (2021).....	62
Figura 23 - Mapa de declividade de Minas Gerais.....	65
Figura 24 - Mapa de declividade de Minas Gerais.....	68
Figura 25 - Comparação da densidade de Kernel (R- e R+) .....	74
Figura 26 - Mapa de Kernel para os focos de incêndios e queimadas (2017 a 2021) .....	83
Figura 27 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Campo das Vertentes. ....	89
Figura 28 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Central.....	92
Figura 29 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Jequitinhonha. ....	95
Figura 30 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte. ....	98
Figura 31 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Noroeste. ....	101
Figura 32 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Norte. ....	104
Figura 33 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Oeste. ....	107
Figura 34 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Sul/Sudoeste. ....	110
Figura 35 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. ....	113
Figura 36 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Vale do Mucuri. ....	116
Figura 37 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Vale do Rio Doce. ....	119
Figura 38 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Zona da Mata. ....	122

## LISTA DE TABELAS QUADROS

---

Tabela 1 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a densidade demográfica. .31	
Tabela 2 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável densidade demográfica. ....33	33
Tabela 3 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para altitude.....35	35
Tabela 4 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável altitude.....35	35
Tabela 5 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para as rodovias federais e estaduais .....37	37
Tabela 6 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável rodovias.....39	39
Tabela 7 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável uso e cobertura da terra.....48	48
Tabela 8 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a precipitação acumulada. 49	49
Tabela 9 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável precipitação. ....55	55
Tabela 10 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a temperatura .....57	57
Tabela 11 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável temperatura.....63	63
Tabela 12 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a declividade.....64	64
Tabela 13 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável declividade. ....66	66
Tabela 14 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a orientação das encostas 67	67
Tabela 15 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável orientação das encostas.....69	69
Tabela 16 - Exemplo do arquivo gerado pela Matriz de Distância no formato xlsx.....73	73
Tabela 17 - Matriz de Comparação de Julgamentos e os Pesos .....78	78
Tabela 18 - Índices de consistência aleatória. ....79	79
Tabela 19 - Prejuízos causados pelas queimadas e incêndios em Minas Gerais de 2017 a 2021 (R\$).....81	81
Tabela 20 - Recursos autorizados x recursos pagos pela União no combate e prevenção de queimadas e incêndios (2017 a 2021) .....82	82



## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1 - Síntese das principais leis sobre o fogo no Brasil .....	12
Quadro 2 - Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra .....	41
Quadro 3 - Funções de estimação de Kernel .....	71
Quadro 4 - Escala Fundamental de Saaty .....	77
Quadro 5 - Estrutura de uma matriz quadrada (n x n) de critérios .....	77
Quadro 6 - Classes de uso e cobertura da terra Mapbiomas - Coleção 7 .....	145

## LISTA DE EQUAÇÕES

---

Equação 1 .....	70
Equação 2 .....	78
Equação 3 .....	78
Equação 4 .....	79
Equação 5 .....	79

## LISTA DE GRÁFICOS

---

Gráfico 1 - Percentual de focos para as classes de risco da densidade demográfica.....	33
Gráfico 2 - Percentual de focos para as classes de risco da altitude.....	35
Gráfico 3 - Percentual de focos para as classes de risco das rodovias. ....	39
Gráfico 4 - Percentual de focos para as classes de risco do uso e cobertura da terra.....	48
Gráfico 5 - Percentual de focos para as classes de risco da precipitação. ....	55
Gráfico 6 - Percentual de focos para as classes de risco da temperatura.....	63
Gráfico 7 - Percentual de focos para as classes de risco da declividade. ....	66
Gráfico 8 - Percentual de focos para as classes de risco da orientação das encostas. ....	69
Gráfico 9 - Focos de queimadas e incêndios detectados em Minas Gerais no período de seca e chuvoso (2017 a 2021) .....	80
Gráfico 10 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2017).....	84
Gráfico 11 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2018).....	85
Gráfico 12 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2019).....	85
Gráfico 13 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2020).....	86
Gráfico 14 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2021).....	86
Gráfico 15 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Campo das Vertentes (2017 a 2021).....	88
Gráfico 16 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Campo das Vertentes (2017 a 2021).....	88
Gráfico 17 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Central (2017 a 2021) .....	91
Gráfico 18 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Central (2017 a 2021).....	91
Gráfico 19 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Jequitinhonha (2017 a 2021).....	94

Gráfico 20 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Jequitinhonha (2017 a 2021).....	94
Gráfico 21 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (2017 a 2021).....	97
Gráfico 22 -Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (2017 a 2021).....	97
Gráfico 23 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Noroeste (2017 a 2021).....	99
Gráfico 24 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Noroeste (2017 a 2021).....	100
Gráfico 25 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Norte (2017 a 2021).....	103
Gráfico 26 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Norte (2017 a 2021).....	103
Gráfico 27 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Oeste (2017 a 2021).....	106
Gráfico 28 - - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Oeste (2017 a 2021).....	106
Gráfico 29 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Sul/Sudoeste (2017 a 2021).....	109
Gráfico 30 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Sul/Sudoeste (2017 a 2021).....	109
Gráfico 31 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (2017 a 2021).....	112
Gráfico 32 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (2017 a 2021).....	112
Gráfico 33 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Vale do Mucuri (2017 a 2021).....	115
Gráfico 34 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Vale do Mucuri (2017 a 2021).....	115
Gráfico 35 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Vale do Rio Doce (2017 a 2021).....	117
Gráfico 36 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Vale do Rio Doce (2017 a 2021).....	118
Gráfico 37 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Zona da Mata (2017 a 2021).....	121
Gráfico 38 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Zona da Mata (2017 a 2021).....	121
Gráfico 39 - Percentual de área de risco a incêndios e queimadas em Minas Gerais no período de seca (2017 a 2021).....	123
Gráfico 40 - Percentual de área de risco a incêndios e queimadas em Minas Gerais no período chuvoso (2017 a 2021).....	123

## GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CINDS	Centro Integrado de Informações de Defesa Social
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CFB	Código Florestal Brasileiro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONACIF	Comissão Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios
COP21	Conferência do Clima
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
EUA	Estados Unidos da América
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
FJP	Fundação João Pinheiro
FTP	Força Tarefa Previncêndio
<i>GMT</i>	<i>Greenwich Mean Time</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Consistência
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IEM	Indústria Extrativa Mineral
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
<i>IPCC</i>	<i>Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas</i>
<i>KDE</i>	<i>Kernel Density Estimation</i>
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

MG	Minas Gerais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
<i>MODIS</i>	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
<i>NASA</i>	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NIR	<i>Near infrared</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNMC	Política Nacional sobre a Mudança do Clima
Pnuma	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PORDATA	Base de Dados de Portugal Contemporâneo
ppm	Partes por milhão
PRA	Programa de Regularização Ambiental
PREVFOGO	Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios
PROARCO	Programa de Monitoramento de Queimadas e Prevenção e Controle de Incêndios no Arco do Desflorestamento da Amazônia
RC	Razão da Consistência
RI	<i>Random Index</i>
SAMeT	<i>South American Mapping of Temperature</i>
SCD-1	Satélite de Coleta de Dados
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
Senar	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
<i>SRTM</i>	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
<i>SWIR</i>	<i>Shortwave infrared</i>
TMAP	Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba
<i>USGS</i>	<i>United States Geological Survey</i>

## SUMÁRIO

---

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Área de estudo .....	5
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	10
2.1 Evolução da legislação sobre o fogo no Brasil.....	10
2.2 Legislação do estado de Minas Gerais, de combate e prevenção contra incêndios e queimadas .....	19
2.3 Histórico de monitoramento das queimadas e incêndios no Brasil .....	22
2.4 Variáveis físicas, climáticas e socioeconômicas de ignição do fogo .....	24
<b>3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	28
3.1 MATERIAIS .....	29
3.1.1 Dados cartográficos .....	29
<b>3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	30
3.2.1 Densidade Demográfica .....	30
3.2.2 Altitude .....	34
3.2.3 Rodovias .....	37
3.2.4 Uso e cobertura da terra.....	40
3.2.5 Precipitação mensal .....	49
3.2.6 Temperatura mensal .....	56
3.2.7 Declividade.....	64
3.2.8 Orientação das Encostas .....	67
3.2.9 Densidade de Kernel dos focos de queimadas e incêndios em Minas Gerais .....	70
3.2.10 <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) .....	75
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	80
4.1 Avaliação dos focos de queimadas e incêndios em Minas Gerais .....	80
4.2 Avaliação do Risco a incêndios e queimadas em Minas Gerais .....	87
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	125

## INTRODUÇÃO

---

O número de queimadas e incêndios cresceu mais de 9% de 2021 para 2022, especialmente em razão das mudanças climáticas, questões políticas, econômicas e ambientais em todo o mundo. Exemplos atuais são as grandes ocorrências no ano de 2019, em diversos países do mundo, que provocaram indagações sobre onde aconteceram, quem as iniciou, o quanto rápido podemos apagar um incêndio, quais efeitos e como evitar desastres a exemplo dos ocorridos na Amazônia brasileira e na Austrália, que devastaram áreas em proporções gigantescas.

As queimadas e incêndios são resultados de uma fonte de ignição, materiais combustíveis e condições que possibilitam seu crescimento (PRESTEMON *et al.*, 2013). As fontes de ignição podem ser: intencional – caracterizada pela presença de múltiplos focos iniciais, acrescentando-se agentes potencializadores como álcool, gasolina, querosene, etc.; acidental- causada por falhas elétricas, pontas de cigarro, fagulhas de máquinas, dentre outros; e natural- relacionada a fenômenos ambientais, como raios. As fontes intencionais e acidentais merecem atenção, visto que podem ser prevenidas, mitigadas e gerenciadas por meio da fiscalização da gestão pública. Porém, é sabido que grande parte das ignições está associada a causas humanas, como no preparo e manutenção de áreas de cultivo, renovação de pastagens, eliminação de resíduos e pragas, atividade anterior à colheita manual ou mecanizada e limpeza de terrenos.

No Brasil, de 2000 a 2020, foram registrados quase 5 milhões de focos de calor, uma média de, aproximadamente, 230 mil incidentes anuais. Para termos uma ideia, a área queimada no período de 2003 a 2020 chegou a 602.320.200 hectares e, apenas os anos de 2007 e 2010, representou quase 20% do percentual queimado, sendo os biomas Amazônico e Cerrado os mais atingidos pelo fogo. Segundo o Relatório Anual do Desmatamento do Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2019), houve uma perda de ao menos 1,2 milhões de hectares de vegetação nativa em 2019, sendo os biomas Amazônico e Cerrado responsáveis por 96,7%. Em Minas Gerais, o Cerrado representa 54% do território, reforçando ainda mais que o estado merece atenção quanto a perda de vegetação em decorrência do fogo. Além dos danos ambientais, a repercussão desses dados afeta negativamente a economia de países como o Brasil, cujo prejuízo econômico para o mundo, em decorrência do fogo na Amazônia, chega a R\$1,22 trilhão (BORGES, 2022).

Outro grande impacto provocado pelos incêndios e queimadas é a alta concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>. No Brasil, as mudanças de uso da terra contribuíram com 92,1% das emissões (emissão de CO<sub>2</sub>) em 2016, decorrentes de processos de queima, e grande parte das áreas queimadas e/ou incendiadas ocorrera em áreas já desmatadas anteriormente, ou foi usada para limpeza e, posteriormente, para dar lugar ao agronegócio (BRASIL, 2019).

De fato, os níveis atuais de aquecimento global estão associados a riscos de escassez de água, erosão do solo, perda de vegetação, danos causados por incêndios, degelo e redução no rendimento das culturas tropicais. É o que aponta o Relatório sobre Mudanças Climáticas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019). Ainda de acordo com o relatório, a perda de vegetação e danos causados por incêndio corresponde a cerca de 3°C do risco de aquecimento global.

Além disso, o Brasil, na Conferência das Partes (COP21), se comprometeu, por meio do Acordo de Paris, a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis até 2025, e 43% até 2030, utilizando como base das porcentagens o ano de 2005 (KÄSSMAYER e FRAXE NETO, 2016).

Em casos de incidências contínuas de queimadas e incêndios, o sensoriamento remoto tornou-se uma fonte valiosa de informações para o monitoramento e tomada de decisão, pois a disponibilidade de dezenas de sensores capazes de detectar tanto a localização geográfica bem como calcular a área atingida, e posteriormente, até mesmo dimensionar a capacidade regenerativa do local, o faz ser altamente benéfico para avaliar o antes e depois. O sensoriamento remoto tem sido utilizado nas seguintes situações: a) na compreensão das condições pós-incêndio (ZHOU *et al.*, 2019); b) na previsão de perigo e risco (AHMED *et al.*, 2019); c) na modelagem comportamental de incêndios (HESS *et al.*, 2019); e) no monitoramento da vegetação pós incêndios (HENRY, *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2018); e f) área queimada e seus impactos (CAMPANHARO *et al.*, 2019; FILIPPONI, 2019).

Atualmente, no Brasil, o Portal do Monitoramento de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020) é o principal canal de divulgação de dados relacionados à queima da vegetação. Por meio de imagens digitais de sensores em satélites, eles empregam imagens de nove satélites e sensores ópticos cuja resolução espacial varia de 375m a 2km. Para captar a energia de objetos com alta temperatura radiométrica é utilizada a faixa espectral do infravermelho médio termal-média de 3,7 µm a 4,1 µm. Essa energia captada é denominada de focos de calor. Segundo o INPE, focos de queima, focos de calor, focos de queimadas, focos de incêndios, focos ativos, *fire pixel*, *active fire pixel*, *hotspot* são termos que têm o mesmo

significado, haja vista a impossibilidade de classificar, pela imagem de sensor remoto, se um fogo é de queima controlada ou de um incêndio.

Portanto, um foco de calor é um ponto de alta temperatura, muitas vezes causado por fontes como fogo, faíscas ou objetos aquecidos. Um incêndio é um evento mais amplo e destrutivo, que ocorre quando o fogo se espalha rapidamente e causa danos significativos. Já uma queimada refere-se a uma prática controlada ou não controlada de queimar vegetação, muitas vezes com fins agrícolas ou de limpeza, mas que pode sair do controle e se transformar em incêndios florestais. Portanto, a diferença principal está na escala e na natureza do fogo, com um foco de calor sendo uma fonte pontual, um incêndio sendo uma propagação descontrolada e uma queimada sendo uma ação planejada ou não planejada que envolve queimar vegetação.

Por que pesquisar sobre as queimadas e incêndios? A escolha de pesquisar as queimadas e incêndios se deve aos grandes impactos negativos para a sociedade e ecossistemas, nas escalas local, regional e global. Temos as grandes perdas ambientais, como a supressão da biomassa, cujas matas, após três décadas, ainda têm 25% a menos de biomassa do que uma floresta não queimada, e ainda as perdas econômicas, relacionadas a doenças respiratórias, bem como o restabelecimento de culturas agrícolas, a perda de produção, a perda de infraestrutura e as emissões de CO<sub>2</sub>. Por isso, torna-se necessária a busca de padrões, até mesmo para o conhecimento da sua fonte de ignição, ocorrência, propagação e efeitos, o que, consequentemente, melhora a gestão de risco de queimadas e incêndios, bem como contribuiu para a diminuição de emissões de gases de efeito estufa.

A escolha da área de estudo ser o estado de Minas Gerais deu-se em virtude de o estado possuir o maior número de focos detectados em toda a região Sudeste. Em números, o estado passou de 4.627 para 9.999 focos, de 2018 para 2019, constatando um aumento de mais de 100% (INPE, 2020). Portanto, saber sobre o impacto desses altos números, a relevância do estado frente aos demais em relação ao tema, pode tornar a pesquisa ainda mais sólida, justificando a efetivação do presente trabalho nessa área de estudo.

A importância da realização da pesquisa baseia-se no objetivo 15 da ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), que é proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Nesse contexto, as metas a serem cumpridas visam garantir a vida, equilíbrio e a manutenção da Terra, assegurando a conservação, recuperação e o uso sustentável dos ecossistemas.



Este objetivo tende a ser um grande desafio para as nações do mundo, principalmente aqueles em desenvolvimento, como o Brasil, onde os números e os desafios tendem a ser maiores, e se as metas não forem cumpridas, novas medidas não forem tomadas urgentemente para reduzir a degradação ambiental, os danos poderão ser irreversíveis.

Ademais, de acordo com o Art. 225, da Constituição da República Federativa Brasileira de 1988, “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988). Deste modo, é dever do Estado promover meios e buscar ferramentas eficazes no combate a crimes ambientais, e, a partir desses fatos, demonstramos a relevância das pesquisas científicas e suas contribuições para a sociedade como todo.

Considerando os apontamentos anteriores, foi estabelecido o seguinte problema para esta pesquisa: quais variáveis mais contribuem com a existência das queimadas e incêndios, considerando as diferentes mesorregiões do Estado de Minas Gerais?

A hipótese se permeia no fato de que (1) o modelo *Analytic Hierarchy Process* (AHP) junto à álgebra de mapas pode indicar as áreas mais susceptíveis à ocorrência de incêndios e queimadas, (2) as variáveis antrópicas tem um peso maior na ocorrência de queimadas e incêndios, principalmente nos municípios de maior concentração da população do que as variáveis naturais e (3) há falhas de implementação na legislação ambiental brasileira no que tange o combate e prevenção das queimadas e incêndios.

Partindo do que é observado nos trabalhos de Catry *et al.*, (2007) e Bistinas *et al.*, (2013), e levando em consideração a escassez de informações sobre a área de trabalho, a presente pesquisa visa propor uma metodologia com o intuito de responder ao problema de pesquisa: a) Como explicar o risco de ocorrências de queimadas e incêndios nas diferentes mesorregiões de Minas Gerais? O modelo analítico multicritérios para identificar o risco a queimadas e incêndios é completo e suficiente para entender a dinâmica do fogo em MG?

Esta pesquisa tem como objetivo geral propor um mapeamento para os riscos de queimadas e incêndios no período de 2017 a 2021, em Minas Gerais, a partir do modelo de análise espacial de multicritérios, visando contribuir para um melhor conhecimento das ocorrências, bem como melhorar a gestão do risco, por meio da identificação dessas áreas.

Os objetivos específicos são: a) pesquisar o progresso da legislação brasileira e mineira referente ao uso do fogo e suas consequências, bem como o seu monitoramento em todo território; b) identificar a dinâmica espacial dos focos de calor, visando determinar as áreas de fragilidade; e c) avaliar o método AHP no risco de queimadas e incêndios.

Esta tese foi estruturada de forma que o capítulo I, além da Introdução, apresenta a problemática e justificativa o trabalho, objetivo geral e específicos, e as hipóteses, assim como, a caracterização da área de estudo.

O Referencial Teórico (capítulo 2) faz uma breve fundamentação teórica dos principais temas abordados neste trabalho, como a análise histórica da legislação no que tange aos incêndios e queimadas no território brasileiro, às políticas e programas de monitoramento do fogo, que contribuíram e contribuem para preservação e conservação do meio ambiente.

O capítulo 3 é apresentado as variáveis físicas, climáticas e antrópicas, que podem auxiliar na investigação das ocorrências e contribuir na explicação de que as transformações na paisagem aumentam o risco de fogo no estado.

Os resultados e discussão são mostrados no capítulo 4, nele é analisado o método AHP na identificação das áreas de risco a queimadas e incêndios em cada mesorregião de Minas Gerais. Nesse capítulo, são apontadas as vantagens e as desvantagens da utilização desse método, assim como as possíveis alternativas para melhorar os resultados encontrados.

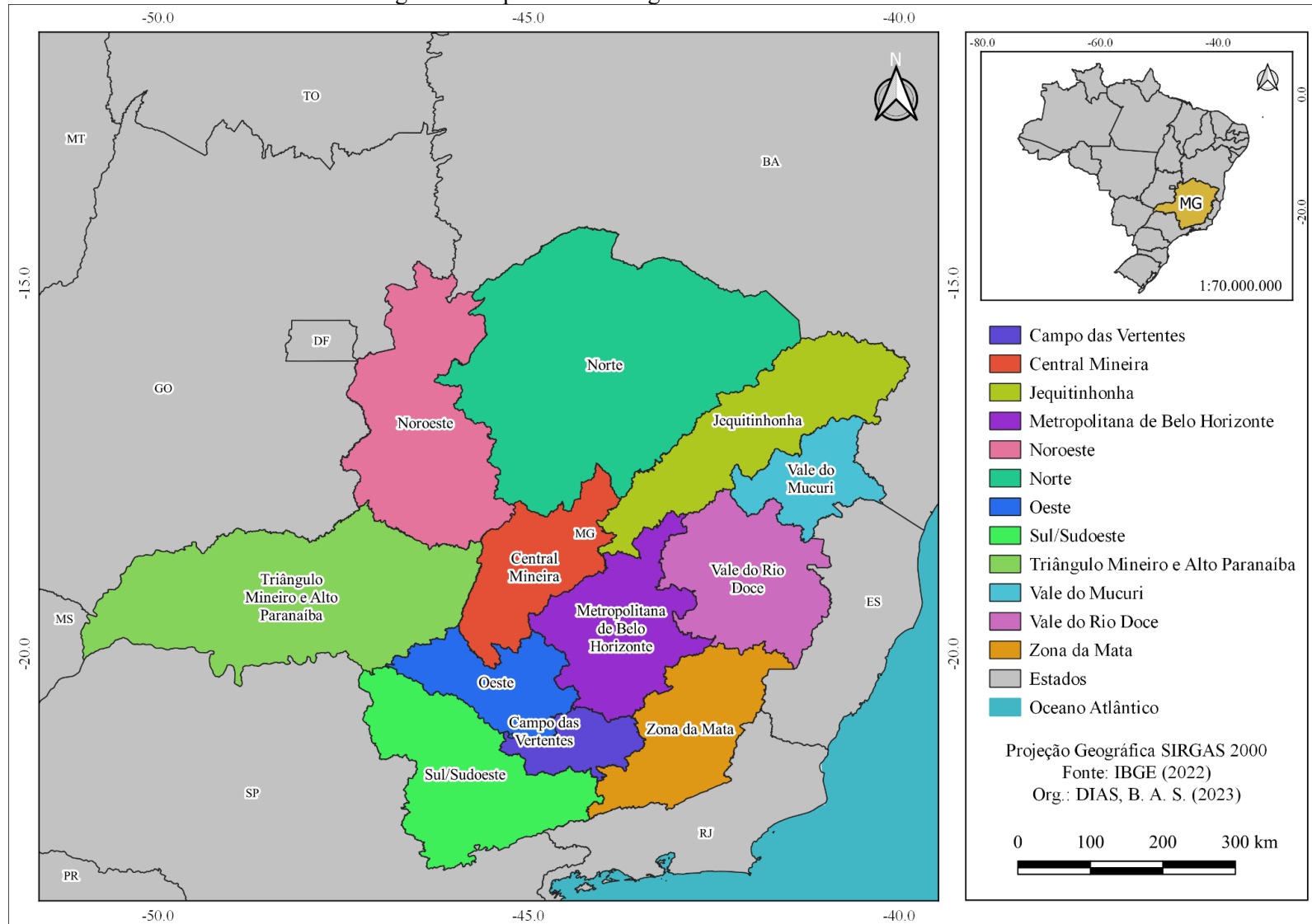
Por fim, temos as Conclusões, na qual sintetizamos os principais resultados, apresentamos algumas propostas de melhoria e minimização das queimadas e incêndios, bem como expomos as principais dificuldades encontradas no desenvolvimento desta pesquisa.

## **1.1 Área de estudo**

A área escolhida para ser objeto de estudo desta pesquisa é o estado de Minas Gerais (MG), uma das 27 unidades da República Federativa do Brasil, que está localizado na região Sudeste do Brasil. Na divisão territorial atual, o estado possui uma área de 588.528 km<sup>2</sup> e é o quarto maior estado do país de acordo com este critério (IBGE, 2020). Faz divisa com seis estados (São Paulo, Rio de Janeiro, Goiás, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul e Bahia), além do Distrito Federal.

Possui 853 municípios, distribuídos em 66 microrregiões e 12 mesorregiões, divisão esta baseada em múltiplos critérios físicos (clima, vegetação e relevo) e socioeconômicos. É o único estado da Região Sudeste que não possui acesso direto ao mar, porém, seu posicionamento, o relevo e a hidrografia beneficiam a produção agrícola e industrial, são características que destacam o estado frente aos demais, favorecendo seu desenvolvimento econômico. Quanto à população, dados do último Censo do IBGE (2022) estimou em 20.538.718 habitantes, sendo Belo Horizonte, capital do Estado, possui o maior número de habitantes. A Figura 1 mostra a localização geográfica da área de estudo, bem como algumas das suas características:

Figura 1- Mapa das mesorregiões de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2022).

Em Minas Gerais temos três biomas: Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga (Figura 2), predominando o Cerrado (54%), abrangendo o Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (TMAP), o Noroeste e parte da mesorregião Central, totalizando uma área de 317.082km<sup>2</sup>. Esse bioma trata-se de um dos maiores e mais complexos ecossistemas tropicais da Terra, e uma das principais características está relacionada a ação do fogo, na qual, compreende-se que os incêndios provocam a estabilidade do bioma, favorecendo a existência de espécies com maior efetividade de rebrota, inclusive, o aspecto retorcido das árvores e arbustos, se deve a ocorrência do fogo. Além disso, geram habitats abertos para uma diversidade de plantas e animais intolerantes à sombra, controlam pragas e doenças e contribuem para a regulação de ciclos biogeoquímicos. (COSTA e RODRIGUES, 2015; NASCIMENTO, 2001).

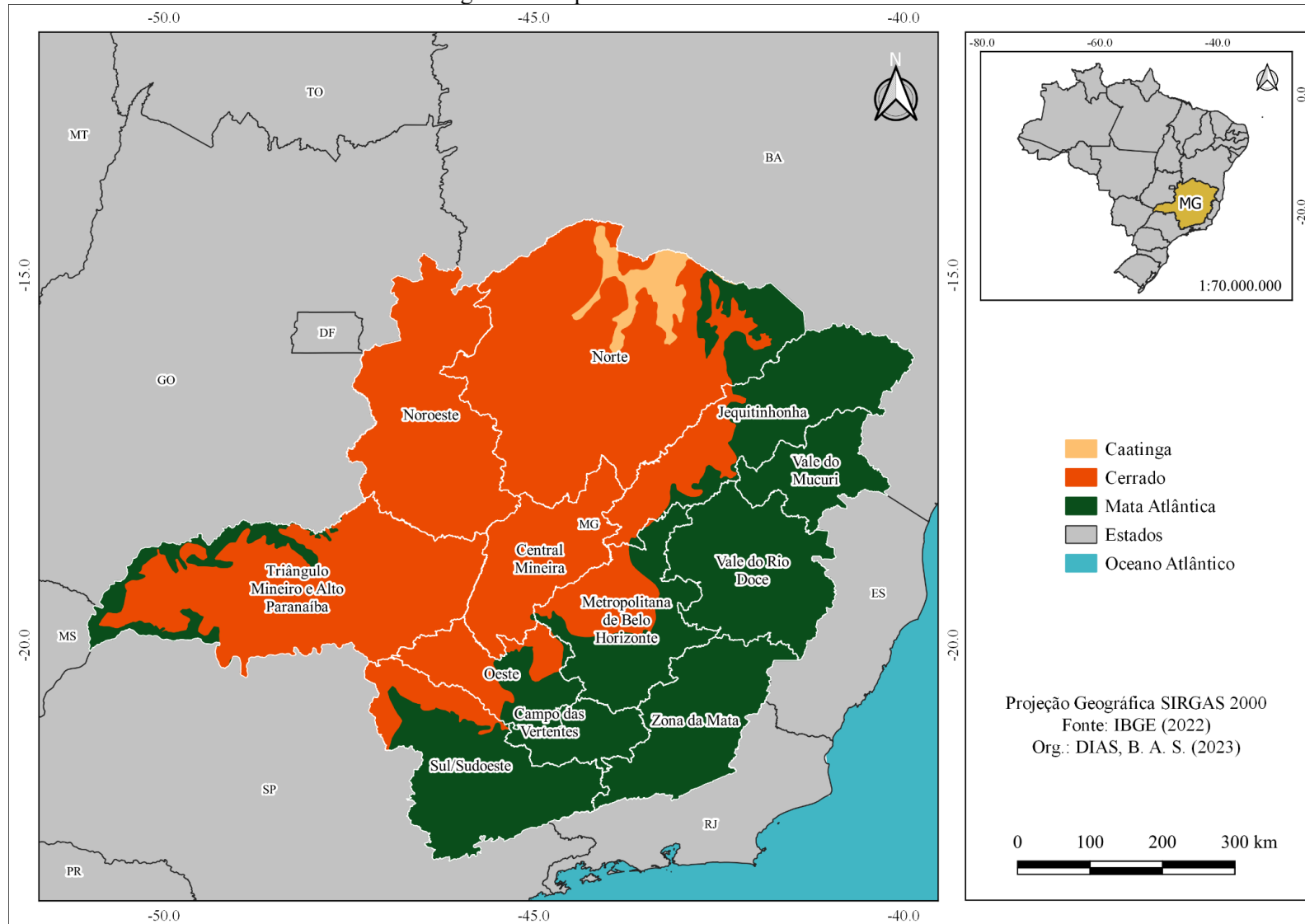
Em contrapartida, o bioma Cerrado ocupa o segundo lugar em incidências de focos de queimadas, só em 2022 foram 56.885 registros (INPE, 2023), perdendo apenas para o bioma Amazônia. Inclusive Campanharo *et al.* (2021) relatam que no Cerrado, bioma predominante no estado, os incêndios naturais ocorrem na estação chuvosa, de outubro a abril; entretanto, observa-se que as maiores extensões de áreas queimadas ocorrem entre julho e novembro. Portanto, percebe-se que em regiões cuja estação chuvosa é concentrada em alguns meses, e com longos períodos de estiagem em outros, a chance de ocorrência de queimadas e incêndios são bem maiores (WHITE e RIBEIRO, 2011),

Vale ressaltar que os autores sustentam que grande parte desses incêndios são processos naturais. Ponisio *et al.* (2016), Martin e Sapsis (1992) e Mola e Williams (2018) também são autores de estudos que destacam as alterações e mudanças induzidas pelo fogo nos ecossistemas. Outros trabalhos como os de Dennis *et al.*, (2001) e Pausas e Keeley (2009) mostraram a importância ecológica do fogo em algumas formações florestais, cujo fogo estimula espécies resistentes e substituem as atuais. No entanto, em ambientes onde o fogo é uma perturbação natural, os efeitos podem ser devastadores, levando espécies da fauna e flora à extinção.

A Mata Atlântica, bioma que corresponde a 40% do território mineiro, engloba as regiões do nordeste, sudeste e leste do Estado, totalizando 236.826km<sup>2</sup>, apresentando grande diversidade biológica devido as variações altitudinais, abrangendo um conjunto de diferentes fitofisionomias florestais. Dentro do bioma da Mata Atlântica, a ação do fogo pode variar de acordo com a composição florística e a quantidade de material combustível, tornando as áreas mais susceptíveis a incêndios. O bioma ocupa o terceiro lugar em área e número de focos entre os demais biomas, foram 10.916 focos registrados em 2022 (INPE, 2023).

Com apenas 6% ocupado pelo bioma Caatinga, compreendendo o extremo norte do Estado (IBGE, 2020), o nome, de origem Tupi-Guarani, que significa floresta branca, totaliza-se 32.614km<sup>2</sup> no estado, é o bioma menos conhecido botanicamente e caracteriza-se por clima semiárido. Possui precipitação em torno de 800mm por ano, e temperatura média anual varia de 25°C a 30°C (SENA, 2011). Em 2022, o Programa Queimadas registrou 5.030 focos neste bioma, podendo estar associado a fenômenos climáticos, episódios de seca, baixa umidade relativa do ar, desmatamento e mudança do uso e cobertura da terra, que potencializam a fragilidade do ambiente a ação do fogo, visto que, incêndios naturais são raros, pois sua vegetação não fornece combustível contínuo e facilmente inflamável, e porque há baixa incidência de raios na região (PIVELLO *et al.*, 2021).

Figura 2 - Mapa dos biomas de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2022).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

---

### 2.1 Evolução da legislação sobre o fogo no Brasil

O fogo é um processo químico complexo, cuja descoberta foi um marco tecnológico e ecológico. É impossível imaginar a sociedade sem a sua utilização. No decorrer da história, o homem encontrou múltiplas formas de utilizá-lo: esquentar alimentos, criar luz, criar calor, afugentar animais ferozes e formar vida social; porém, em contrapartida, o fogo possui alta capacidade de destruição, seja no meio urbano ou rural. Sua má utilização provoca incêndios e as queimadas que trazem inúmeras consequências à humanidade.

A palavra “Fogo” vem do Latim *focus*, significando “lareira, local de fazer fogo numa casa”. Porém, há algumas outras definições, como no Dicionário de Ecologia e Ciências ambientais (1998), que define fogo como a forma visível de oxidação que produz uma chama ou brilho visível. Há definições científicas, como a da *National Wildfire Coordinating Group* (2006): “*Rapid oxidation, usually with the evolution of heat and light; heat fuel, oxygen and interaction of the three*”. E da Norma Brasileira 13860/1997, que define que o fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz. Já o Senar (2018) o caracteriza como o calor e a luz produzidos pela queima, que gera as chamas e libera vapor de água e gás dióxido de carbono.

Na área econômica, por exemplo, os incêndios são vistos como externalidades das queimadas, isto é, referem-se ao impacto provocado por uma decisão sobre aqueles que não participaram dela, ou seja, ao mesmo tempo em que o uso do fogo controlado (queimada) pode trazer benefícios para sociedade, o uso descontrolado do fogo (incêndios) pode resultar em externalidades negativas, como a emissão de grandes quantidades de carbono para a atmosfera ou potencializando doenças respiratórias, devido à presença da fuligem sobre a população local (MORELLO *et al.*, 2017).

O fogo é empregado mais ativamente na agricultura e pastagem, para limpeza do pasto ou retirada da vegetação natural para conversão agrícola. Também se utiliza o fogo para combater as plantas invasoras e doenças, rebrotamento de pastagens e espécies florestais, melhoria de atributos do solo e, ainda, na colheita da cultura da cana-de-açúcar. Seu emprego até os dias de hoje pode ser explicado pelo baixo custo do processo (SCHUMACHER e DICK, 2018; MENDONÇA *et al.*, 2004). Contudo, quando o fogo sai do controle, gera altos prejuízos aos proprietários e agricultores. Calcula-se mais de 567,8 milhões em prejuízos no setor

pecuário, enquanto na agricultura foram R\$ 57,3 milhões, em 2019, provocados pelo fogo (CNM, 2021). Outro dado que chama atenção é que nos últimos seis anos (de 2016 a 2021) 3.470.163 pessoas foram afetadas pelos incêndios e queimadas, incluindo óbitos, feridos, enfermos, desabrigados e desalojados (CNM, 2021).

Para termos uma ideia da dimensão que o fogo pode provocar, no Brasil, tivemos uma perda de 31.214.000 hectares no ano de 2020 (INPE, 2020), enquanto países da Europa, como Portugal, Espanha e Itália, tiveram neste mesmo ano áreas totalizadas em 67.170 hectares, 65.923 hectares e 55.656 hectares, respectivamente (PORDATA, 2020), ou seja, o Brasil perdeu quase 170 vezes mais a área somada desses três países juntos, dado alarmante e preocupante.

Todavia, de acordo com o relatório divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) em 2022, o desmatamento rápido e generalizado de savanas e florestas tropicais, agravado por secas e limitações das políticas de manejo de incêndios, aumenta os desastres por incêndios nas últimas décadas na América Latina, pois os países em desenvolvimento não têm capacidade para gerenciar incêndios, a não ser quando torna-se ameaça à vida e à propriedade. Ou seja, segundo o relatório, para redução dos riscos de incêndios e queimadas, precisaríamos de maiores investimentos, incluindo recursos em produtos do sensoriamento remoto, bem como o desenvolvimento de políticas e leis que abordem a prevenção dos incêndios, englobando também as comunidades vulneráveis, rurais, tradicionais e indígenas.

Com base nestas premissas iniciais, a escolha da legislação sobre as queimadas e incêndios no Brasil, com ênfase em Minas Gerais, deu-se em virtude de o estado possuir o maior número de focos detectados em toda região Sudeste, quando passou de 8.737 (2020) para 12.110 (2021) focos, o que representou um aumento de quase 40% em um curto espaço de tempo (INPE, 2020). O (re)conhecimento dos impactos causados pelas queimadas e incêndios, associados à relevância do estado mineiro, quando comparado aos demais e à expressividade de dados secundários disponíveis, torna a presente pesquisa fundamental à compreensão do tema.

As leis são um conjunto de regras determinadas e aplicadas por uma autoridade política soberana, e sua aplicação dar-se-á em conformidade com os princípios da justiça, respeitando suas especificidades (RAWLS, 2009); ou seja, de maneira mais geral, lei significa uma regra aplicada indiscriminadamente a todos os indivíduos. Portanto, ao tratarmos do tema fogo, temos as principais identificações na legislação brasileira sintetizadas no Quadro 1.



Quadro 1 - Síntese das principais leis sobre o fogo no Brasil

<b>Lei</b>	<b>Objetivo da Lei</b>	<b>Link de Acesso</b>
<b>Código de Leis - volume V</b>	Legislação brasileira e portuguesa ordenando a execução das Ordenações Philippinas	<a href="https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/242733">https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/242733</a>
<b>Lei n.º 601/1850</b>	Dispõe sobre as terras devolutas no Império, e acerca das que são possuídas por título de sesmaria sem preenchimento das condições legais.	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/10601-1850.htm#:~:text=LEI%20No%20601%2C%20DE,sem%20preenchimento%20das%20condi%C3%A7%C3%B5es%20legais.">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/10601-1850.htm#:~:text=LEI%20No%20601%2C%20DE,sem%20preenchimento%20das%20condi%C3%A7%C3%B5es%20legais.</a>
<b>Decreto n.º 23.793/34</b>	Approva o código florestal que com este baixa.	<a href="http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793impressao.htm">http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793impressao.htm</a>
<b>Decreto-Lei 2.848/40</b>	Código Penal.	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848.htm</a>
<b>Lei n.º 4.771/65</b>	Institui o novo Código Florestal.	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771impressao.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771impressao.htm</a>
<b>Decreto n.º 73.030/73</b>	Cria, no âmbito do Ministério do Interior, a Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA, e da outras providências.	<a href="https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-73030-30-outubro-1973-421650-publicacaooriginal-1-pe.html">https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-73030-30-outubro-1973-421650-publicacaooriginal-1-pe.html</a>
<b>Lei n.º 6.938/81</b>	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm</a>
<b>Constituição de 1988</b>	Constituição da República Federativa do Brasil.	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm</a>
<b>Lei n.º 7.735/89</b>	Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências.	<a href="https://legislacao.presidencia.gov.br/atos?tipo=LEI&amp;numero=7735&amp;ano=1989&amp;ato=eaaQTUq1EeFpWTf9e">https://legislacao.presidencia.gov.br/atos?tipo=LEI&amp;numero=7735&amp;ano=1989&amp;ato=eaaQTUq1EeFpWTf9e</a>
<b>Decreto n.º 97.635/89 revogado pelo Decreto n.º 2.661/98</b>	Regula o artigo 27 do Código Florestal e dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal, e dá outras providências.	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97635impressao.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97635impressao.htm</a>
<b>Lei n.º 9.605/98</b>	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm</a>
<b>Lei n.º 12.651/12</b>	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; e dá outras providências	<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm</a>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

A primeira menção jurídica sobre o tema queimadas e incêndios data dos anos de 1603, época em que Portugal encontrava-se sob domínio da Espanha, e que, durante a unificação das duas coroas, tem-se a elaboração das Ordenações Filipinas (MACIEL E AGUIAR, 2013) que passaram a vigorar no Brasil. O Código de Leis foi estruturado em cinco livros, dos quais, no seu volume V, Título 86 – “Dos que põem fogo” citava:

Defendemos, que nenhuma pessoa, de qualquer qualidade e condição que seja, ponha fogo em parte alguma; e pondo-se algum fogo em lugar, de que se possa seguir dano, os Juizes e Officiaes das Cidades, Villas e Lugares, onde se taes fogos alevantarem, acudão e a eles acudir com muita diligencia, para prestes se haverem de apagar, fazendo para isso os constrangimentos, que lhes necessarios parecerem (ALMEIDA, 1957, p. 1233).

A lei previa as penas para aqueles que ateassem fogo na vegetação. Dentre as punições haviam: prisão e exílio do criminoso para África, pagamento do dano às partes, e o açoitamento público ou venda de escravos (ALMEIDA, 1957). O livro ainda menciona punição de acordo o Direito Comum para aqueles que pusessem fogo acidentalmente. A vigência das Ordenações Filipinas no Brasil se deu até 1822, ano da proclamação da Independência (NOVO, 2019).

A partir de 1824, temos a primeira Constituição do Brasil, visando atender aos interesses do império de D. Pedro I, esse dispositivo não previa ou mencionava as questões ambientais relacionadas aos incêndios e queimadas.

Um pouco mais adiante, em 1850, foi publicada a Lei n.º 601, de 18 de setembro, que dispunha sobre as terras devolutas do Império. Essa lei, e seu Art. 2º, estabeleceu pena e multas para aqueles que ateassem fogo:

Os que se apossarem de terras devolutas ou de alheias, e nellas derribarem mattos ou lhes puzerem fogo, serão obrigados a despejo, com perda de bemfeitorias, e de mais soffrerão a pena de dous a seis mezes da prisão e multa de 100\$, além da satisfação do damno causado. Esta pena, porém, não terá logar nos actos possessorios entre heréos confinantes (BRASIL, 1850).

Percebe-se que até 1934, as leis até então citadas visavam exclusivamente proteger as terras de domínio público e privada, sem preocupação alguma com as pautas ambientais e degradação ambiental que tais atividades poderiam causar para a população no geral. O Decreto n.º 23.793/34, que aprova o Código Florestal na época, no seu Art. 83, sobre o que constitui crime florestal, também previa a pena e multa para aquele que pusesse fogo em áreas de vegetação, seja pública ou privadas, bem como em produtos e subprodutos florestais.

O Decreto-Lei 2.848/40 do Código Penal, o Título VIII – “Dos crimes contra a incolumidade pública”, cita, no Cap. I, o Art. 250: “Causar incêndio, expondo a perigo a vida,

a integridade física ou o patrimônio de outrem”. Esse artigo do Código Penal aborda, de forma ampla, o uso do fogo. Todavia, ao analisarmos o mundo e o país dentro desse contexto de 1940, que foi marcado pela Segunda Guerra Mundial, acontecimento este que ecoou no Brasil, cujo comando estava sob o governo autoritário de Getúlio Vargas no estado Novo (BERCITO, 1999), nessa época não havia uma legislação ambiental que preocupasse com as pautas ambientais de preservação e conservação, e sim, tendo foco o fomento à exploração de recursos naturais visando a lucratividade e o crescimento econômico.

Em 1962, Rachel Carson publicou o livro “Primavera Silenciosa”, considerado um marco do movimento ambientalista, pois alertava sobre a utilização exacerbada de agrotóxicos, os danos causados ao meio ambiente e a necessidade de respeitar o ecossistema em que vivemos. Nesse período, debates ambientais já começavam a ganhar força devido à pressão popular (POTT e ESTRELA, 2017).

Apenas três anos mais tarde, em 1965, com a Lei n.º 4.771/65, que instituiu o Código Florestal Brasileiro (CFB), é introduzido com uma abordagem mais específica do tema “incêndios florestais”, no seu Artigo. 27: “É proibido o uso do fogo nas florestas e demais forma de vegetação”, entende-se a defesa das florestas para inibir a extração predatória desses recursos naturais. Nele, regulamenta que nenhum produtor rural tem o direito ilimitado em sua propriedade, o Código ainda estabelece regras para manter a vegetação nativa e para exploração da terra.

Este artigo da legislação menciona, em seu parágrafo único, que a única exceção à regra é “se peculiaridades locais e regionais justificarem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, a permissão será estabelecida em ato do poder público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução” (BRASIL, 1965). Portanto, apenas com a publicação desta lei passa-se a proibir o uso do fogo em terras independentemente da finalidade, porém, em alguns casos, exigindo autorização da autoridade florestal competente para utilizar o fogo.

Contudo, após aprovação do novo código, via-se que as normas seriam mais rígidas, mas com pouca aplicabilidade, beneficiava economicamente os ruralistas, fato visto em particular, quando foi retirado o artigo 26, que estabelecia pena de três a um ano de prisão ou multa para quem pusesse fogo, por qualquer modo, em florestas e demais formas de vegetação, sem tomar as precauções adequadas (RAJÃO *et al*, 2021).

Outra crítica da Lei n.º 4.771/65 foi feita pela Organização das Cooperativas Brasileiras (OCB, 2011), segundo a OCB, a lei apresentava dissociações e desconectividade da realidade prática, seja no âmbito social, ambiental ou econômico, pois afastavam-se da busca pelo desenvolvimento sustentável, e caso, a legislação não fosse urgentemente revisada, grande parte

das propriedades rurais permaneceria na ilegalidade e a proteção das áreas florestais e remanescentes estariam em risco.

Em 1972, diante do fenômeno de globalização e de um ideal plano para o desenvolvimento econômico, um novo cenário se instaura com a publicação do livro “*The Limits to Growth*”, de Meadows *et al.*, (1972) ao Clube de Roma e com Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano (Conferência de Estocolmo). O relatório alertava para o esgotamento dos recursos e da capacidade do sistema global da natureza não suportar as altas taxas de crescimento econômico e populacional, com base no aumento da população, produção agrícola, esgotamento de recurso não renováveis, produção industrial e geração de poluição, tais fatores levaria a economia a um colapso.

A Conferência de Estocolmo reuniu 113 países para discutirem os problemas ambientais, preocupados com a poluição atmosférica, poluição da água e do solo, oriundos da industrialização e da pressão do crescimento demográfico sobre os recursos naturais (RIBEIRO, 2001). A partir desses acontecimentos, vários países do mundo começaram a implementar leis e políticas que visassem nortear e descrever responsabilidades referentes ao meio ambiente (GURSKI *et al.*, 2012). O reflexo no Brasil foi a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), em 1973, pelo Decreto n.º 73.030.

Com a pressão internacional, na medida em que metas mundiais foram sendo estipuladas para o controle e preservação ambiental, avanços na legislação brasileira também se consolidam, como a criação da Lei n.º 6.938/81, o Governo Federal institui a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que dispôs sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.

A partir dela, cria-se o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), como instrumentos de supervisão, planejamento, assessoramento, publicação de normas, padrões e regulações gerais sobre o meio ambiente em todo país, nas esferas federais, estaduais e municipais, visando a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação do meio ambiente e do equilíbrio ecológico (Art. 4, Inciso I, Lei n.º 6.938/81). Na citada lei, são apresentados sanções a danos provocados ao meio ambiente, independentemente de qual for a causa, incluindo o emprego do fogo como possível gerador de danos ambientais, obrigando, portanto, o poluidor a reparar os danos causados.

Em 1987, o relatório “*Our Common Future*” (Nosso Futuro Comum), elaborado pela médica Gro Harlem Brundtland, mestre em saúde pública e ex-Primeira Ministra da Noruega,

junto à Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (BRUNDTLAND *et al.*, 1987) traz pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável como um modelo de desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer as necessidades futuras. Segundo a autora, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender as necessidades e aspirações humanas (BRUNDTLAND *et al.*, 1991).

Em 1988, temos a promulgação da Constituição de 1988, na qual é possível verificar os reflexos das medidas anteriores enquanto instrumentos preventivos de danos, e a preocupação do país em já agregar defesa do meio ambiente como princípio de ordem econômica. O Art. 225 desta mesma lei estabelece que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

A Constituição de 1988 passa a exigir no licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades potencialmente causadoras de degradações ambientais, o estudo de impactos ambientais – EIA/RIMA. O tema incêndio ou emprego do fogo não é explícito na constituição, mas cita-se, também, as sanções penais e administrativas dos infratores que por condutas e atividades degradam o meio ambiente. Ainda em 1988 foi criada a Comissão de Prevenção e Combate aos Incêndios florestais (CONACIF), no âmbito do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Essa comissão foi “estabelecida como a primeira ação do Governo Federal visando estabelecer critérios para o manejo do fogo, o controle das queimadas e a prevenção e o combate aos incêndios florestais, principalmente nas unidades de conservação federais” (IBAMA, 2009, p. 10).

Um ano depois, em 1989, pela Lei n.º 7.735 é criado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), integrando a gestão ambiental no país. O órgão tem como uma de suas atribuições estabelecer as condições de uso do fogo e “o monitoramento ambiental, principalmente no que diz respeito à prevenção e controle de desmatamentos, queimadas e incêndios florestais” (IBAMA, 2018).

Nesse mesmo ano, o Governo Federal cria um Centro Especializado dentro da estrutura do IBAMA, o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios florestais (PREVFOGO), com o Decreto n.º 97.635/89. Esse instrumento foi revogado pelo Decreto n.º 2.661, de 8 de julho de 1998, que regulamenta o art. 27 do Código Florestal – Lei n.º 4.771/65,

e que atribui ao PREVFOGO a finalidade de estabelecer políticas de prevenção e combate aos incêndios florestais, bem como executar atividades de educação, pesquisa, monitoramento, controle de queimadas (IBAMA, 2018), atualmente regido pelo Decreto Federal no 6.099/2007 (BRASIL, 2007).

Em 1992, realizou-se, na cidade do Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra), que abordou o assunto ambiental de forma inovadora, no qual toda comunidade política internacional concordara que era necessário conciliar o desenvolvimento econômico e a utilização dos recursos naturais.

Em 1998, a Lei n.º 9.605/98, sobre Crimes Ambientais, dispunha sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, cujos Artigos 41 e 42 previam como crime provocar incêndio em mata ou floresta, e fabricar, vender, transportar ou soltar balões que possam provocar incêndios nas florestas e demais formas de vegetação, em áreas urbanas, ou qualquer tipo de assentamento humano de atividades lesivas ao meio ambiente, sob pena de detenção e/ou multa.

Já no Decreto n.º 2.661, de 8 de julho de 1998, regulamenta o parágrafo único do Art. 27 da Lei n.º 4.771 (Código Florestal) e decreta, no capítulo I, a proibição do fogo nas mais diversas formas de vegetação e florestas, bem como a faixa de distância da proibição. Além disso, no capítulo II cita-se as observações referentes aos locais de permissão do emprego do fogo, mediante Queima Controlada, esta definida pela Lei como: “o emprego do fogo como fator de produção e manejo em atividades agropastoris ou florestais, e para fins de pesquisa científica e tecnológica, em áreas com limites físicos previamente definidos” (BRASIL, 1998). O interessado na obtenção da autorização junto ao SISNAMA deveria atender aos requisitos e exigências previstas em lei, correndo o risco de suspensão, conforme citado no Capítulo III.

O Código Florestal Brasileiro em vigor, regulamentado pela Lei n.º 12.651, de 2012, que revogou o Código Florestal de 1965 (Lei Federal n.º 4.771/65), ao passo que avançou em termos de conceitos, conservação e uso da vegetação nativa em propriedades privadas, responsabilidades, respeito a biodiversidade e compromisso com o meio ambiente, teve duras críticas a sua aplicabilidade. (TAMANINI, 2012; SOARES, 2021).

Em seu capítulo IX trata sobre a proibição do uso de fogo e do controle dos incêndios, e afirma que as queimadas podem ser empregadas nas seguintes situações: I - em locais ou regiões cujas peculiaridades justifiquem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, mediante prévia aprovação do órgão estadual ambiental; II - emprego da queima

controlada em Unidades de Conservação, e III - atividades de pesquisa científica (CFB, Art. 38. BRASIL, 2012).

No artigo 39, deste mesmo código, expõe a obrigatoriedade do órgão público ou privado responsável pela gestão de áreas com vegetação nativa ou plantios florestais, deverão elaborar, atualizar e implantar planos de contingência para o combate aos incêndios florestais, bem como, no *caput* do art. 40, o Governo Federal deverá promover a substituição do uso do fogo no meio rural por novas tecnologias, como a mecanização e introdução de novas técnicas mediante uma Política Nacional de Manejo e Controle de Queimadas, Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais.

Sabendo-se que as queimadas e os incêndios são as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa, segundo o MCTIC (2020) o fogo é responsável por 22% da emissão em áreas de mudanças de uso da terra, que podem estar associadas ao processo de queima realizado durante a conversão da vegetação natural em áreas para o cultivo agrícola e 1,1% em setores como agropecuária, em razão da sua utilização, principalmente na cultura da cana-de-açúcar, desde 1995.

Partindo da premissa de que não só a queima, mas o desmatamento, a agricultura, a indústria, dentre outras atividades, impactam a mudança global do clima, no Acordo de Paris (Conferência das Partes - COP21), que aconteceu em 2015, sendo adotado pelos signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o Brasil se comprometeu, por meio do citado Acordo, a reduzir as emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% até 2020, e em 43% até 2030, utilizando 2005 como ano-base das porcentagens (KÄSSMAYER e FRAXE NETO, 2016).

A Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) foi acrescentada à Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei n.º 12.187/2009. E, com a COP26, realizada na Escócia em 2021, o Brasil se prometeu reduzir em 50% as emissões de gases do efeito estufa até 2030 e a neutralização das emissões de carbono até 2050. Porém, a principal crítica dá-se pelo fato de o Governo brasileiro assumir como meta os mesmos índices previstos na COP21, ou seja, apesar do ajuste em termos absolutos, na prática, com o Terceiro Inventário Nacional, a emissão de 2005 foi atualizada em 2,8 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO<sub>2e</sub>), sendo assim, a nova meta permite que o Brasil emita quase 400 milhões de toneladas a mais, quando comparado à meta assumida na COP21.

Grande parte das queimadas e incêndios é consequência direta do desmatamento, constata-se com os dados do Relatório Anual de Desmatamento no Brasil (2023) publicado pelo MapBiomas, que nem todas as mudanças tiveram resultados positivos, segundo o relatório, em

2022 houve um aumento de 22,3% na área desmatada em relação a 2021, sendo a agropecuária a principal fonte de desmatamento, respondendo por 95,7% do total de supressão da vegetação nativa. O relatório ainda aponta que a sobreposição (parcial e total) do desmatamento com áreas de imóveis registrados no Cadastro Ambiental Rural – CAR representou 90% dos desmatamentos no Brasil em 2022.

Nesse contexto, percebe-se que houve pouco avanço na legislação brasileira quanto as políticas de prevenção, controle e manejo do fogo até os anos de 1990, embora, várias iniciativas foram empreendidas desde então, especialmente com a criação da PNMA, do CFB e do IBAMA. Porém, apesar da legislação ambiental brasileira ser considerada uma das mais avançadas do mundo (TAMANINI, 2012), pois estabelece diretrizes, normas, decretos, incentivos a recomposição da vegetação nativa das áreas de preservação permanente e punições para o funcionamento de empresas e conduta do cidadão.

Apresenta não ser tão eficaz no que diz respeito a aplicação da lei, segundo Rajão et al., (2021) ausência de determinação clara dos limites das APPs e determinação de indenização pelo não uso econômico dessas áreas atualmente são apontadas como deficiências da nova Lei Florestal de 2012, sendo assim, ainda há uma grande dificuldade de se implementar as mudanças que vieram com a modernização das normas, principalmente no que diz respeito ao Programa de Regularização Ambiental (PRA).

Além disso, os códigos florestais surgiram de uma visão que buscava modernizar o campo por meio das práticas de uso mais racionais dos recursos, porém, distantes da realidade rural brasileira da época, que era ainda dominada por famílias tradicionais de latifundiários e também proteger a vegetação nativa e os seus recursos naturais. Portanto, a própria estrutura social e econômica estabelecida historicamente no Brasil foi um obstáculo para implantação das normas, na qual, os órgãos públicos dedicaram grande parte da atenção ao desenvolvimento produtivo e à conversão da floresta em áreas agrícolas em vez de sua preservação.

## **2.2 Legislação do estado de Minas Gerais, de combate e prevenção contra incêndios e queimadas**

O fogo pode apresentar diferentes tipos de danos e efeitos, de acordo com as características da vegetação a queimar. No estado de Minas Gerais, temos três tipos de biomas: Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga. Destes, o Cerrado, com maior área territorial no estado (54%), também foi o que teve maior porcentagem de focos ativos em 2021, com 58,3% (7060 focos); em segundo lugar, a Mata Atlântica, com 38,9% (4718 focos) e percentual da área do



estado em 40%; e a Caatinga, representando apenas 6% da área total, teve 2,8% (332 focos) (INPE, 2020). E conforme o último dado divulgado pelo Mapbiomas, em 2020 a área queimada no estado totalizou 307.551 hectares.

A legislação mineira pauta-se na legislação federal em termos de combate e prevenção contra incêndios e queimadas, visando principalmente desenvolver e estimular práticas sustentáveis que suprem a necessidade atual sem comprometer as necessidades das futuras gerações, especialmente extinguindo ou reduzindo as práticas poluidoras agroambientais e visando promover a sustentabilidade das cadeias produtivas de culturas que empregavam a utilização do fogo devido as tradições milenares.

Para tal fim, o poder legislativo de Minas Gerais regulamenta o Decreto n.º 18.466, de 29 de abril de 1977, criando o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), regido, dentre outras normas, pela Lei n.º 21.972, de 21 de janeiro de 2016, e pelo Decreto Estadual n.º 46.953, de 23 de fevereiro de 2016, cabendo ao Conselho, dentre outras competências, IV – supervisionar a ação fiscalizadora de observância das normas que tenham por finalidade a preservação e melhoria do meio ambiente e da qualidade de vida.

Em 1980, a Lei n.º 7.772, que dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente no Estado de Minas Gerais, evidencia, sobretudo, que as atividades empresarias, públicas ou privadas devem ser exercidas em consonância com política estadual de proteção, conservação e melhoria do meio ambiente (Cap. II, parágrafo 1º). Em 1981, o Decreto n.º 21.228, cita, no capítulo VII, intitulado “Das Infrações e Penalidades”, no parágrafo 3º, que praticar ato que inicie ou possa iniciar incêndio em formações vegetais nas Unidades de Conservação é uma infração gravíssima e sujeita a penalidades da lei.

Em 1989, com a aprovação da Constituição do estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 1989), respeitando a competência da normativa da União, atribui-se ao Corpo de Bombeiros Militar a coordenação e a execução de ações de defesa civil, a prevenção e combate a incêndio, perícias de incêndio, busca e salvamento e estabelecimento de normas relativas à segurança das pessoas e de seus bens contra incêndio ou qualquer tipo de catástrofe (Art. 142, inciso II).

Entretanto, enquanto a quantidade de incidências de fogo aumenta, a quantidade de profissionais do Corpo de Bombeiros não acompanha os números, o resultado é um déficit de aproximadamente 2.500 militares e alta sobrecarga de trabalho (Estado de Minas, 2020). De acordo com a ONU, a recomendação é de um bombeiro a cada 1.000 habitantes, porém, em Minas Gerais, esse efetivo é de um bombeiro a cada 3.273 habitantes, ocupando no *ranking* de habitantes por efetivo o 19º lugar dentre os estados e Distrito Federal (Revista Proteção, 2016).

A Lei n.º 10.312, de 12 de novembro de 1990, revogada pelo Decreto n.º 39.792, de 1998, dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal e dá outras providências. A citada lei regulamenta a proibição do uso do fogo e a prática de qualquer ato ou omissão que possa ocasionar incêndio florestal, com exceção de localidades com peculiaridades que justifiquem o emprego em práticas agropastoris ou florestais, sendo previamente autorizado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF), órgão criado em 1962, pela Lei n.º 2.606.

Em 2001, é sancionada a Lei n.º 14.130, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico no estado, sendo alterada em 2020, pelo Decreto n.º 48.028, e diferencia-se da Lei n.º 10.312/90, no que tange às edificações ou espaços destinados a uso coletivo, ou seja, esses espaços, predominantemente urbanos, devem seguir as normas técnicas, sob efeito de advertências, multas e interdições para o infrator.

O Programa de Prevenção e Combate a Incêndios florestais, denominado Força Tarefa Previncêndio (FTP), criado pelo Decreto n.º 44.043, revogado pelo art. 18 do Decreto n.º 45.960 de 2012, atribui ao programa o desenvolvimento de atividades de prevenção e combate a incêndios florestais.

Em 2013, a Lei n.º 20.922 dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado, no que se refere aos incêndios e queimadas. A citada lei, no capítulo V, discorre sobre a proibição do uso de fogo e da prevenção e do combate a incêndios florestais, bem como cita, como novidade, a utilização de aeronaves agrícolas no combate a incêndios em campos ou florestas (parágrafo acrescentado pelo art. 1º da Lei n.º 24.086/2022).

O Decreto n.º 47.383, de 2018, estabelece normas para licenciamento ambiental, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos, e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades, como em casos de criar condições favoráveis à ocorrência de incêndios e demais formas de vegetação, bem como realizar a queima controlada sem autorização do órgão ambiental, incidindo em multas que variam de 150 a 3.000 reais.

Contudo, o Decreto n.º 47.919, de 2020, regulamenta o uso de fogo para fins de prevenção e de combate a incêndios no interior e no entorno de Unidades de Conservação instituídas pelo Poder Público estadual. Nesse decreto, o fogo é utilizado de forma preventiva de incêndio florestal, envolvendo o uso intencional do fogo para o manejo da vegetação, nativa ou exótica, e empregando técnicas de aceiro negro, de fogo de supressão ou equivalentes, com vistas a reduzir a ocorrência ou a severidade dos incêndios florestais, bem como de combatê-los, quando em propagação.

### 2.3 Histórico de monitoramento das queimadas e incêndios no Brasil

O reconhecimento dos alvos da superfície terrestre nem sempre foi uma tarefa fácil, muitas vezes limitado às capacidades tecnológicas de cada época. Contudo, no cenário atual, o sensoriamento remoto consegue atuar como um sistema completo na detecção dos objetos, Aggarwal (2004, p. 23) o define como “*to obtaining information about objects or areas at the Earth’s surface without being in direct contact with the object or area*”. Isto é, identificar e discriminar os alvos da superfície por meio do registro de energia que é emitida ou refletida por eles sem nenhum tipo de contato direto.

Muito embora o sensoriamento remoto, como técnica, já estava sendo empregado desde 1859, somente na década de 1970 foi lançado o primeiro satélite experimental (Landsat-1) para o levantamento dos recursos terrestres (*Earth Resources Technology Satellite*) nos Estados Unidos. No Brasil, o primeiro satélite, SCD-1 (Satélite de Coleta de Dados), foi lançado apenas em 1993, cuja missão era a coleta de dados ambientais (ROSA, 2009; INPE, 2018). Atualmente, o país possui nove satélites artificiais ativos, feitos ou operados em parceria com outros países. Portanto, com a disponibilidade de dados abertos e gratuitos, como o conjunto de dados disponíveis da NASA (MODIS, séries Landsat, SRTM, dentre outros), contribuiu para o aumento maciço do uso do sensoriamento remoto, na detecção e análises de incêndios e queimadas, fenômeno este extremamente complexo, devido a aspectos como: características da vegetação, morfologia, fatores antrópicos e condições meteorológicas.

Em 1985, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desenvolveu, junto aos pesquisadores do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) e da NASA, um experimento de campo, e em 1987 passou a operar rotineiramente, e opera até os dias atuais. Denominado “Programa Queimadas”, o programa tem como objetivo o monitoramento operacional de focos de queimadas e incêndios detectados por satélites, bem como o cálculo e a previsão do risco de fogo da vegetação, todas as informações sobre focos de queimadas na América Latina podem ser obtidas quase em tempo real por meio do endereço eletrônico <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>.

Vale ressaltar que, essa detecção de fogo na vegetação em tempo quase real é obtida por meio de nove satélites diferentes: AVHRR-3 dos satélites NOAA-18 e 19 e METOP-B, as MODIS do AQUA e TERRA, as VIIRS do Suomi-NPP e NOAA-20, todos em órbita polar entre 740 km e 820 km acima da superfície e as imagens ABI do GOES-16 e SEVIRI do MSG-3, ambos geoestacionários. Porém, considera-se apenas o AQUA\_M-T (sensor MODIS) como satélite de referência, ou seja, difere-se dos demais, por usarem o mesmo método e o mesmo

horário de imageamento ao longo dos anos conseguem monitorar sistematicamente uma região, permitindo a análises de tendências espaciais e temporais do uso do fogo, enquanto os geoestacionários devido ao tamanho de seus *pixels* e a instabilidades em sua rotina operacional não são considerados satélites de referência (SETZER, *et al.*, 2021).

E, desde 1998, o sistema de monitoramento passou a ser realizado pelo INPE, em conjunto com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), através do Programa de Monitoramento de Queimadas e Prevenção e Controle de Incêndios no Arco do Desflorestamento da Amazônia (PROARCO).

O comportamento espectral dos incêndios e queimadas depende de dois fatores: severidade do fogo e tempo decorrido após a queima (LOMBARDI, 2005). A severidade nos permite entender os efeitos do fogo sobre o solo e toda matéria sobrevivente, indicando o nível da severidade, que varia de alta severidade a alta rebrota. Quanto ao tempo após a queima, deve-se observar a data de aquisição das imagens, visto que após a queima temos a remoção da vegetação e a deposição do carvão, alterando o espectro de energia refletida e emitida da área atingida. Logo, se há um longo período da ocorrência do fogo até a aquisição da imagem, possivelmente será identificado o crescimento da biomassa local.

O trabalho de Koutsias e Pleniou (2015) comparara a assinatura espectral das queimadas em imagens do sensor ETM+/Landsat7 e OLI/Landsat8 em algumas áreas da Grécia. O estudo concluiu que houve uma consistência geral dos dois sensores, e as pequenas diferenças observadas deu-se pela diferença das datas de aquisição. É interessante observar, por meio desses estudos, o comportamento espectral, principalmente nas bandas 5 (*Near infrared* - NIR), 6 (*Shortwave infrared* - SWIR 1) e 7 (*Shortwave infrared* - SWIR 2), que são as bandas que melhor identificam esse processo. Segundo Sano *et al.* (2019, p. 218), “o espectro de uma vegetação fotossinteticamente ativa apresenta um pico de reflexão do NIR e tende a diminuir em direção ao SWIR, porém nas queimadas, esse pico é reduzido e o espectro da área queimada tende a aumentar em direção ao SWIR”. Muitos são os trabalhos que analisam o comportamento espectral dos incêndios e queimadas (SUN *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2017; PENHA, 2018; FERNÁNDEZ, 2021; ARINO *et al.*, 2001).

Os órgãos responsáveis pela prevenção e pelo combate aos incêndios em todo Brasil, incluindo as atividades educacionais, treinamento e capacitação de produtores rurais e brigadistas, monitoramento e pesquisa, é o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios florestais (PREVFOGO).

## 2.4 Variáveis físicas, climáticas e socioeconômicas de ignição do fogo

---

Desde 1998, o Brasil tem monitorado os focos de incêndios e queimadas em seu território; porém, o número de ocorrências aumentara gradualmente nas últimas duas décadas, decorrente das alterações sociais, econômicas e ambientais. A região Sudeste, que desde o século XVIII é o principal centro de atividade econômica do país, lidera o *ranking* em concentração de população e riqueza; em contrapartida, problemas de natureza ambiental e social são as mais notórias consequências do desenvolvimento da região (VISCONTI E SANTOS, 2014).

No Brasil, todos os anos, no período que compreende os meses de junho e novembro, ocorrem os maiores registros de focos de queimadas e incêndios, incidindo especialmente nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, provocando além de danos à saúde humana, o aumento das emissões de gases de efeito estufa. Em Minas Gerais, de acordo com o Centro Integrado de Informações de Defesa Social (CINDS), de 2015 a 2019 foram registrados 65.585 atendimentos de ocorrências de incêndios pelo Corpo de Bombeiros Militar. Desse total de atendimentos, 76,84% ocorreram no período de junho a outubro. Além disso, foi constatado que quase 50% dos registros são em lotes vagos, ou seja, com a finalidade de limpeza do terreno para plantio ou construção (SILVA, 2020).

É sabido que a maioria dos incêndios e queimadas no Brasil está associada a causas humanas. Grande parte ocorre em áreas privadas, de forma intencional, visando o uso comercial de recursos naturais e expansão da fronteira agrícola, manejo agrícola e de pastagem, bem como parte de sistema de colheita agrícola (PIVELLO *et al.*, 2021).

Nesse cenário, surge a necessidade de identificar e monitorar as atividades humanas em decorrência das mudanças na ocupação da terra, a fim de compreender, analisar e controlar o emprego do fogo por meio do sensoriamento remoto e das geotecnologias. Desse modo, o monitoramento operacional dos incêndios e queimadas, segundo o Programa Queimadas do INPE, demonstram que, no período de 2015 a 2019, quase 39 mil focos de calor foram registrados em todo estado, sendo agosto, setembro e outubro os meses de maior ocorrência nos municípios.

Esses dados, associados a outras ferramentas, podem auxiliar nas políticas de prevenção e controle das queimadas e incêndios, no acompanhamento das alterações das superfícies quase em tempo real, na tomada de decisão, denúncias e investigações de órgãos públicos de fiscalização, e na adoção de medidas de correção e combate ao fogo. Diante do exposto,

verifica-se a importância da geotecnologia nas abordagens geoespaciais nos mais diversos estudos, bem como ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

Desde 1998, as queimadas no Brasil têm sido monitoradas anualmente pelo Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), constatando quantidades de focos relativamente altos quando comparados a países vizinhos como Argentina, Uruguai, Bolívia e Paraguai. Inúmeros fatores podem ajudar a explicar tantos incidentes com fogo no Brasil, dentre eles: o avanço do desmatamento e a ampliação das áreas de pastagem, ambos ligados ao agronegócio, e as ações antrópicas em estações secas e quentes, que, associadas à ação dos ventos, contribuem no aumento das incidências de fogo em grande parte do território brasileiro. Com isso, nota-se que a intervenção humana tem sido tão forte, que os impactos ambientais, sociais e econômicos se agravam ainda mais nos padrões atuais e futuros da vegetação.

Durante os incêndios e queimadas, o carbono é a fração predominante emitida, principalmente na forma de CO<sub>2</sub> (90%), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H), óxidos nitrosos e partículas aerossóis. O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) é a espécie de maior interesse devido às grandes quantidades liberadas em intervalos curtos de tempo. A consequência é a concentração acumulada desse gás na atmosfera, aumentando o efeito estufa, e o aquecimento global (LOMBARDI, 2009). No Brasil, as mudanças de uso da terra contribuíram com 92,1% das emissões (emissão de CO<sub>2</sub>) em 2016, decorrentes de processos de queima. Grande parte das áreas queimadas e/ou incendiadas ocorreram em áreas já desmatadas anteriormente, ou que foram usadas para limpeza e, posteriormente, para dar lugar ao agronegócio.

As alterações na paisagem devido aos incêndios e queimadas nas últimas décadas refletem as recentes mudanças socioeconômicas, tanto no cenário rural quanto no urbano. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, países como o Brasil experimentaram: o avanço tecnológico – implantação de novas tecnologias e maquinários no sistema de produção agrícola, expansão das fronteiras agrícolas, incentivos fiscais e financeiros, aumento da concentração de terra, crescimento populacional desordenado nas cidades, aumentando a segregação socioespacial, dificultando acesso a serviços básicos de infraestrutura, estímulo às exportações. Esses são alguns exemplos que provocaram mudanças significativas no uso e ocupação da terra e nos estilos de vida da população, e, como consequência da atividade humana sobre esses territórios, tem-se o aumento da frequência de incidência de fogo, afetando pequenas e grandes extensões de terra.

Nos últimos anos, incêndios de nível catastróficos têm atingindo diversas regiões do globo terrestre. Dados da ONU apontam que, no período de 2002 a 2016, aproximadamente 423 milhões de hectares da superfície terrestre da Terra queimaram anualmente, sendo a maior parte no continente africano (67%) (DOWDY *et al.*, 2022).

Em Minas Gerais, no ano de 2019, só no mês de setembro, houve 247 registros de incêndios em unidades de conservação estaduais. Dentre eles, os mais graves foram: Parque Rola Moça (Belo Horizonte), com quase 30 hectares tomados pelo fogo; Pico da Ibituruna (Governador Valadares), cujos 615 hectares foram consumidos; Parque Nacional da Serra do Cipó, com 4,5 mil hectares afetados; Parque Estadual do Pau Furado (Uberlândia), com estimativa de 225 hectares destruídos pelo fogo; além do Parque Estadual Serra da Boa Esperança (Boa Esperança), da Serra do Intendente (Conceição do Mato Dentro), do Parque do Biribiri (Diamantina), da Serra do Sabonetal (Itacarambi) e do Parque Lapa Grande (Montes Claros), cujos dados referentes às áreas afetadas não foram divulgados. (IEF, 2020; PREFEITURA DE GOVERNADOR VALADARES, 2019; HOJE EM DIA, 2019; DIARIO DE UBERLÂNDIA, 2019).

Na Austrália, em 2019, mais de 10 milhões de hectares de terras incendiadas (CSIRO, 2020; SINGH, 2020; HUF e MCLEAN, 2020); no Brasil, aproximadamente 31,8 milhões hectares (INPE, 2019; MAAP, 2019; RAMÍREZ GOMEZ, 2019; LIZUNDIA-LOIOLA *et al.*, 2020); na Rússia, quase 10 milhões de hectares (LOUPIAN *et al.*, 2020; NASA, 2019).

Para as ocorrências naturais, no Brasil, há poucos estudos estatísticos que mostrem, em números, as ocorrências de incêndios causados por descargas elétricas. Segundo o trabalho de Santos *et al.* (2006), apenas 103 incêndios ocorreram em razão de descargas elétricas no período de 1998 a 2002, número bem baixo quando comparado aos 4.579 incêndios causados por incendiários. Em contrapartida, nos Estados Unidos, por exemplo, no período de 2007 a 2011, foi registrada uma média de 22.600 incêndios por ano, iniciados por raios, e uma média anual de 9.000 provocaram incêndios florestais, de 2008 a 2012 (AHRENS, 2013). Já na Austrália, o intenso período de seca, o calor, os solos e a vegetação muito seca e substancial mudança climática são os fatores agravantes aos incêndios florestais, sendo que os raios representam um quarto das ignições de incêndios no país (HUGHES; FENWICH, 2015; 2019). Percebe-se, portanto, que, apesar de o Brasil ter incidência média de 77,6 milhões de raios anuais, os EUA terem 19,7 milhões e a Austrália, entre 15 e 25 milhões, a média de incêndios provocados por raios é maior nos outros países. Isso se deve, principalmente, pela vegetação seca e condições climáticas favoráveis (INPE, 2017; VAISALA, 2019).

Por outro lado, inúmeros estudos mostram os impactos ambientais (MARTIN *et al.*, 2016; HOLEMANN, 1994; VENNETIER, 2009; LAVABRE e MARTIN, 1997; KAFKA *et al.*, 2001; PRODON *et al.*, 1984), impactos sociais (PAVEGLIO *et al.*, 2014; RÁBADE e ARAGONESES, 2008; KNORR *et al.*, 2014), e impactos econômicos (CAMPANHARO *et al.*, 2019; DIAZ, 2012; DELOITTE ACCESS ECONOMICS, 2016) provocados pelo uso do fogo.

A atividade antrópica, a geografia, o clima e a umidade do combustível são elementos que afetam a ocorrência e a intensidade do fogo. A topografia, tal como a elevação e a declividade, pode afetar a perda de umidade dos combustíveis. O aspecto das encostas pode afetar o grau de secagem dos combustíveis. Portanto, considera-se elementos estáticos na distribuição temporal do fogo, sendo os mais fáceis de prever a influência (TIAN *et al.*, 2022).

Por outro lado, a temperatura, precipitação, umidade relativa e o vento são elementos temporais e dinâmicos que afetam o início, a taxa de propagação e a direção de uma queimada e/ou incêndio florestal. Cada um contribui para o padrão espacial de severidade em diferentes condições, sendo as características de cada incêndio afetadas pelas suas complexas interações. Nesta seção, abordaremos elementos e fatores físicos, climáticos e antrópicos que ajudam a entender os padrões de comportamento do fogo.

Em linhas gerais, há uma grande diversidade de estudos relacionados aos incêndios e queimadas, bem como à importância das variáveis físicas, climáticas e antrópicas. No estudo de Torres *et al.* (2011), observou-se que, dentre os fatores climáticos, a umidade relativa do ar teve a maior correlação com as ocorrências de incêndios em Juiz de Fora (MG). Estes *et al.* (2017) concluíram que a complexidade topografia e a temperatura mostraram-se mais forte à associação com a gravidade do incêndio nas montanhas Klamath, nos EUA.

Peris-Llopis *et al.* (2020) explicam as relações entre variáveis que influenciam a ocorrência de incêndios em florestas mediterrâneas do leste da Espanha de acordo com o tamanho da área queimada. Os resultados demonstram que as maiores áreas são identificadas em florestas com pinheiros, arbustos e árvores de pequeno porte, enquanto as menores áreas queimadas ocorrem em altitudes mais baixas, terrenos com baixa inclinação, áreas com alta densidade populacional e próximo às estradas.

O trabalho de Halofsky *et al.* (2020) mostrou os grandes e severos incêndios que ocorreram no noroeste do Pacífico – EUA, estão associados às condições quentes e secas, cuja projeção mostra que a tendência de condições mais prolongadas de calor e seca provocará temporadas de incêndios mais longas e mais frequentes quando comparado ao século XX. Ye *et al.* (2017) buscaram entender a contribuição do fator tamanho e probabilidade de ocorrência de incêndios em florestas coníferas subtropicais no leste da China. O resultado do estudo



indicou que a composição do combustível teve a maior importância para explicar a ocorrência e o tamanho do fogo, confirmando a forte perturbação humana nos processos de incêndios locais.

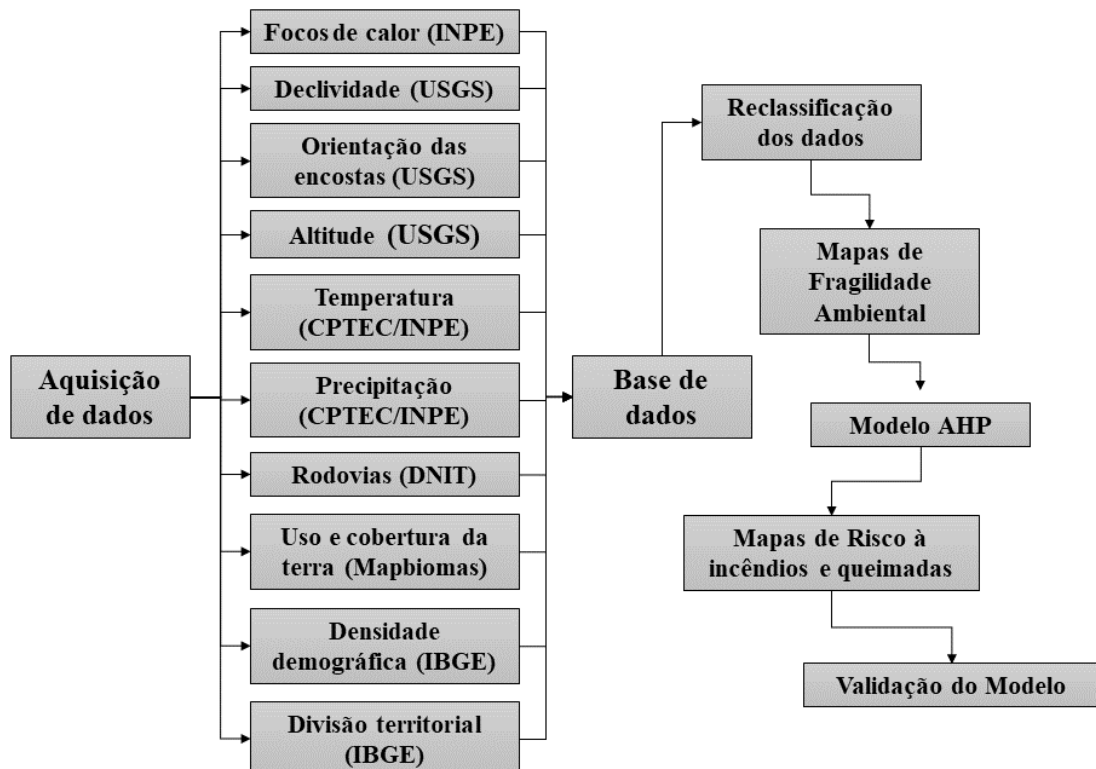
Bountzouklis *et al.* (2021) investigaram as interações entre os fatores humanos e ambientais em incêndios nos últimos 50 anos, no sul da França, e constataram que a orientação da declividade apresenta um papel cada vez mais importante, identificando que as encostas voltadas para o Sul têm as maiores áreas queimadas e aumentam a cada década, enquanto o oposto é observado para as faces Norte e Oeste.

### 3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realização da metodologia houve um processo integrado dos dados: 1) definição conceitual; 2) aquisição e pré-processamento dos dados; 3) processamento dos dados; 4) definição dos pesos e elaboração do mapa de risco à ocorrência de focos de calor; 5) Análise dos resultados; e 6) validação.

A Figura 4 ilustra as etapas das atividades desenvolvidas desde a aquisição até a validação dos dados:

Figura 3 - Fluxograma das atividades



### 3.1 MATERIAIS

#### 3.1.1 Dados cartográficos

- 1) Focos de calor adquiridos em formato *shapefile*, por meio do *site* do Programa Queimadas – INPE (<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>), contendo todos os registros de focos detectados em Minas Gerais durante um período de cinco anos (2017 a 2021), são arquivos de feições do tipo pontos, georreferenciados e obtidos apenas dados do satélite de referência (AQUA\_M-T), aquele cujos dados diários detectados de focos de calor são utilizados para compor a série temporal, permitindo as análises de tendências do uso do fogo para mesmas regiões de monitoramento em períodos de interesse;
- 2) Arquivos vetoriais da divisão territorial do estado de Minas Gerais, mesorregiões, setores censitários e municípios disponibilizados pelo IBGE (2021) por meio do endereço eletrônico [https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm), utilizados em todos os procedimentos de recorte e informações geoespaciais dos dados na escala de 1:250.000;
- 3) Mapa de densidade demográfica: a partir da tabela – População residente, área territorial e densidade demográfica do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, foi gerado uma planilha da densidade demográfica (habitante por quilometro quadrado) por município de Minas Gerais com o ano base de 2022;
- 4) Uso e cobertura da terra anual para o estado de Minas Gerais, disponibilizado no *site* <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>, em formato raster, na plataforma do Mapbiomas, Coleção 7, entregues na escala de 1:100.000.
- 5) Imagens SRTM: foram necessárias 74 imagens para recobrir todo o estado, baixadas no *site* <https://earthexplorer.usgs.gov/>, em formato raster e com resolução de 30 metros (*1 Arc-second global*) na escala 1:100.000. Delas, foram extraídas informações de altitude, orientação das vertentes e declividade;
- 6) Rodovias estaduais e federais: base rodoviária de Minas Gerais compilada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e disponibilizada por meio do endereço eletrônico <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/> na escala de 1:250.000. Um buffer de 800 e 1600 metros foi realizado no arquivo, a fim de relacionar a ocorrência dos focos com a proximidade das rodovias;
- 7) Dados de precipitação mensais: produto gerado em resolução espacial de 10km e disponibilizado operacionalmente pelo CPTEC/INPE utilizando a técnica MERGE, que consiste na estimativa de precipitação por satélite com observações de superfície;

8) Dados de temperatura mensais: produto desenvolvido e disponível operacionalmente pelo CPTEC/INPE, representa uma combinação de dados observados com reanálises ERA5 numa resolução espacial de 5km.

## **3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **3.2.1 Densidade Demográfica**

Os fatores humanos são os principais responsáveis pela ignição dos incêndios e queimadas, desde a ocupação até o manuseio irregular do fogo. Sendo assim, uma das possíveis justificativas para alta incidência pode ser a maior concentração da população nas áreas de ocorrência; por isso, a densidade demográfica pode ajudar a explicar os padrões espaciais do fogo.

A densidade demográfica é um índice demográfico que calcula o número médio de habitantes por quilômetros quadrados (hab/km<sup>2</sup>), ou seja, corresponde ao número de pessoas em relação a uma unidade área. Pode ser considerado um dos elementos que influencia o regime do fogo, pois por meio da ação humana ocorre o aumento da quantidade de combustível disponível provocado principalmente pelo desmatamento na conversão de uso da terra. Todavia, a probabilidade de ocorrências do fogo ser bem-sucedida depende igualmente de outros fatores físicos e climáticos.

Bistinas *et al.* (2013) afirmam que o aumento da densidade demográfica está associado tanto ao aumento quanto à diminuição do fogo. Isso porque vai depender do uso da terra: o aumento da densidade populacional está associado ao aumento da área queimada nas pastagens, mas com a diminuição da área queimada nas terras de cultivo. Além disso, a variabilidade espacial na relação entre densidade populacional e área queimada varia de continente para continente. Por exemplo, na Austrália e na Europa, a relação das duas variáveis é relativamente sem importância, mas em 73,3% da área terrestre global há uma relação estatisticamente significativa, ou seja, a área queimada aumenta com a densidade populacional.

O trabalho de Tedim *et al.* (2012) confirma a teoria, segundo os autores as áreas com maior número de pessoas encontram-se a maior probabilidade de comportamentos de risco. Além disso, o estudo mostrou que com o envelhecimento da população há um decréscimo no número de registros de incêndios e queimadas.

Nas regiões mais afastadas dos centros urbanos, tem-se uma baixa concentração de pessoas e, conseqüentemente, acredita-se que o risco se torna menor. Cardille *et al.* (2001)

afirmam que fatores como maior densidade populacional e maior densidade viária influenciam a incidência de fogo em certas regiões.

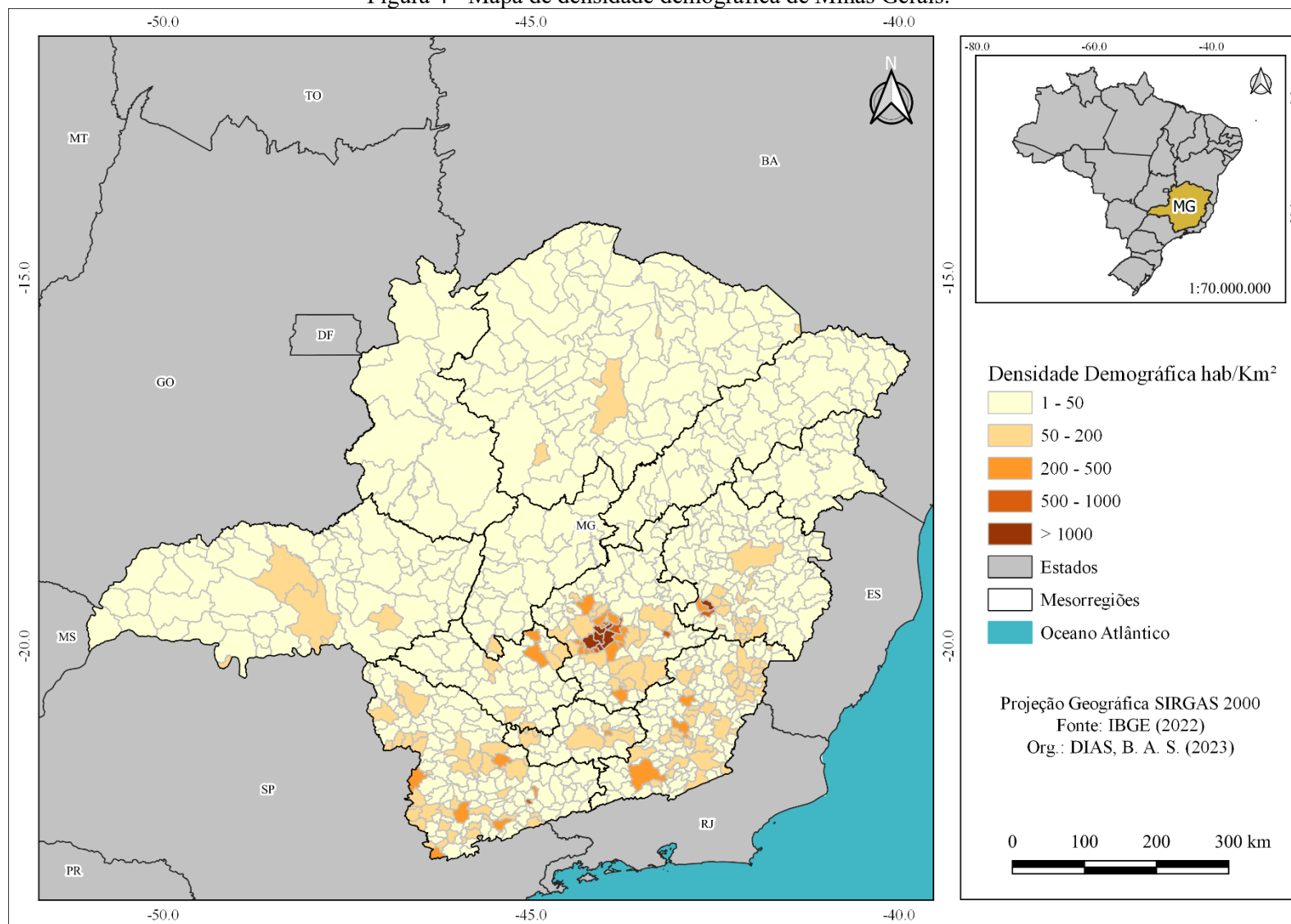
Para determinar a densidade demográfica, foi utilizado os dados do Censo Demográfico de 2022 por município de Minas Gerais, esses dados foram reclassificados partindo da premissa de que quanto maior é a densidade demográfica, maior será o risco de queimadas e incêndios (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a densidade demográfica.

<b>Classes</b>	<b>Peso Fragilidade</b>	<b>Hierarquia de Fragilidade</b>
0-50	1	Muito baixa
50-200	2	Baixa
201-500	3	Média
500-1000	4	Alta
1000 >	5	Muito Alta

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Figura 4 - Mapa de densidade demográfica de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2022).

Para cada variável utilizada neste trabalho foi feita a verificação da relação entre a variável e a ocorrência dos focos registrados pelo INPE, permitindo que posteriormente, com base nas classes de risco seja atribuída os pesos correspondentes para geração dos mapas de riscos.

A variável densidade demográfica se mostrou uma correlação inversa, ou seja, quanto maior a densidade demográfica do município, menor foi a quantidade de registros de ocorrências de queimadas e incêndios. Percebe-se, portanto que, municípios com baixa densidade populacional apresenta maior probabilidade de perdas da cobertura vegetal (Tabela 2).

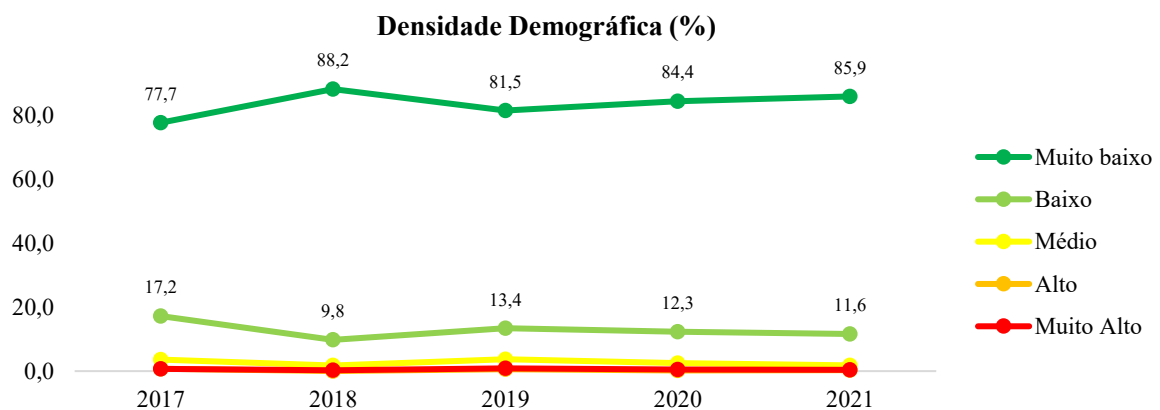
A classe de risco muito baixo e baixo foram predominantes para a densidade demográfica, os registros somaram 42.236 números de ocorrências, enquanto que, para as demais classes não ultrapassaram 4% (1.620) do total de focos para o período analisado (Gráfico 1).

Tabela 2 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável densidade demográfica.

Densidade Demográfica	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito Baixo	6.513	4.081	8.146	7.378	10.405	36.523
Baixo	1.443	452	1.338	1.075	1.405	5.713
Médio	305	81	371	222	218	1.197
Alto	61	1	58	17	31	168
Muito Alto	61	12	86	45	51	255
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Gráfico 1 - Percentual de focos para as classes de risco da densidade demográfica.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Pode-se dizer que o impacto do fogo tanto nas áreas de maior densidade demográfica quanto nas áreas de baixa densidade são desastrosos a população, visto que as queimadas e os incêndios emitem poluição na forma de fumaça, colocam em risco habitações próximas, causam sérios riscos à saúde humana e reduzem a qualidade do ar. De acordo com Ribeiro e Assunção (2002), dentre os sintomas de doenças e doenças observadas são relatadas: infecções do sistema respiratório superior, asma, conjuntivite, bronquite, irritação dos olhos e garganta, falta de ar, nariz entupido, vermelhidão e alergia na pele e desordens cardiovasculares.

### 3.2.2 Altitude

A configuração do terreno é o mais estável dos fatores que influencia os incêndios e queimadas. Os fatores topográficos que afetam o início e a propagação do fogo são: aspecto, declive, forma da área, elevação e barreiras. O ângulo menor do sol resulta no recebimento de menos radiação solar por unidade área e uma temperatura de superfície mais baixa; por outro lado, mais horas de luz solar do dia significa mais aquecimento e altas temperaturas (SCHROEDER e BUCK, 1970).

A altitude é um fator importante na ocorrência de incêndios e queimadas, pois pode diminuir a probabilidade de ocorrências em altitudes mais elevadas, visto que temos maior quantidade de precipitação, temperaturas mais baixas e maior teor de umidade de combustíveis mortos (NIETO *et al.*, 2012). Além disso, o ambiente de alta altitude é caracterizado por baixa pressão atmosférica e temperatura, baixa densidade de ar e oxigênio, o que afeta significativamente o comportamento do fogo, visto que há uma maior probabilidade em materiais combustíveis em altitudes mais baixas, diâmetros menores, áreas basais maiores e variação crescente no diâmetro das árvores (GONZALEZ *et al.*, 2007).

Outro elemento importante associado a altitude é o ser humano, que prefere se fixar e trabalhar em terrenos de baixas altitudes, pois com a inclinação aumenta tanto os custos quanto a mão-de-obra. Portanto, a maior parte dos incêndios e queimadas tende a se concentrar em áreas de baixa declividade.

Nesse sentido, os dados de altitude foram extraídos da missão SRTM e importados para o QGIS. No *software*, os valores altimétricos foram reclassificados por meio da ferramenta “reclassificar por tabela”, de modo que as classes atribuídas seguiram a lógica da literatura, ou seja, quanto maior a altitude, menor a probabilidade de ocorrência. Portanto, os maiores valores altimétricos foram considerados de baixo risco, enquanto os menores valores foram considerados alto risco à ocorrência de incêndios e queimadas (Tabela 16):

Tabela 3 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para altitude

Classes	Peso Fragilidade	Hierarquia de Fragilidade
2000 - 3000	1	Muito baixa
1500 – 2000	2	Baixa
1000 – 1500	3	Média
500 – 1000	4	Alta
0 - 500	5	Muito Alta

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Na variável altitude pressupõe-se que exista uma relação significativa entre os focos, pois as áreas de menor altitude apresentaram os maiores números de ocorrências (37.345 focos). Sendo assim, as classes de risco de médio a muito alto mantiveram quase o total dos focos.

Observa-se também que, quando a altitude aumenta de 500m para 1.000m, tem-se um aumento expressivo na quantidade de registros, e quando passa de 1.000m para 500m há uma diminuição de incidências.

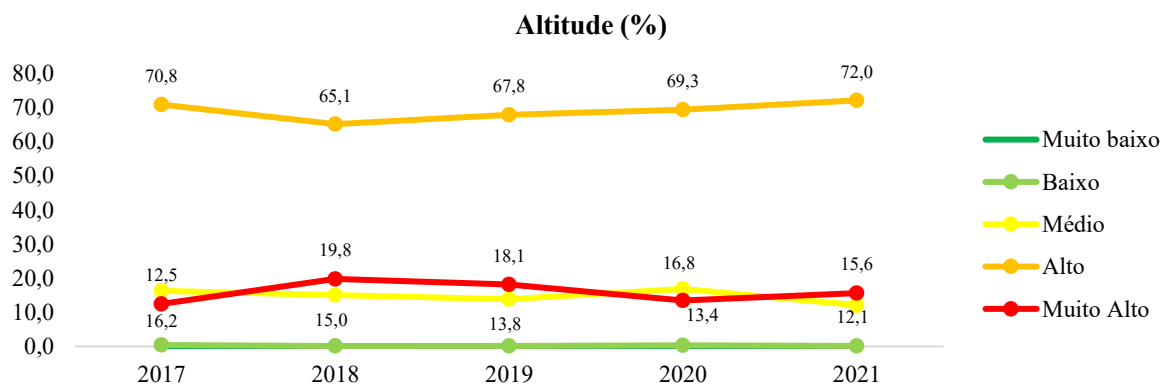
No geral, percebe-se que não houve grandes variações no percentual de registros por classe de risco (Gráfico 2). Em 2018, apesar de ter sido o ano com menor número de registros apresentou o maior percentual para a classe muito alto (19,8%).

Tabela 4 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável altitude.

Altitude	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito baixo	3	0	7	1	8	19
Baixo	36	6	20	34	24	120
Médio	1.362	695	1.379	1.472	1.464	6.372
Alto	5.938	3.011	6.783	6.056	8.722	30.510
Muito Alto	1.044	915	1.810	1.174	1.892	6.835
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

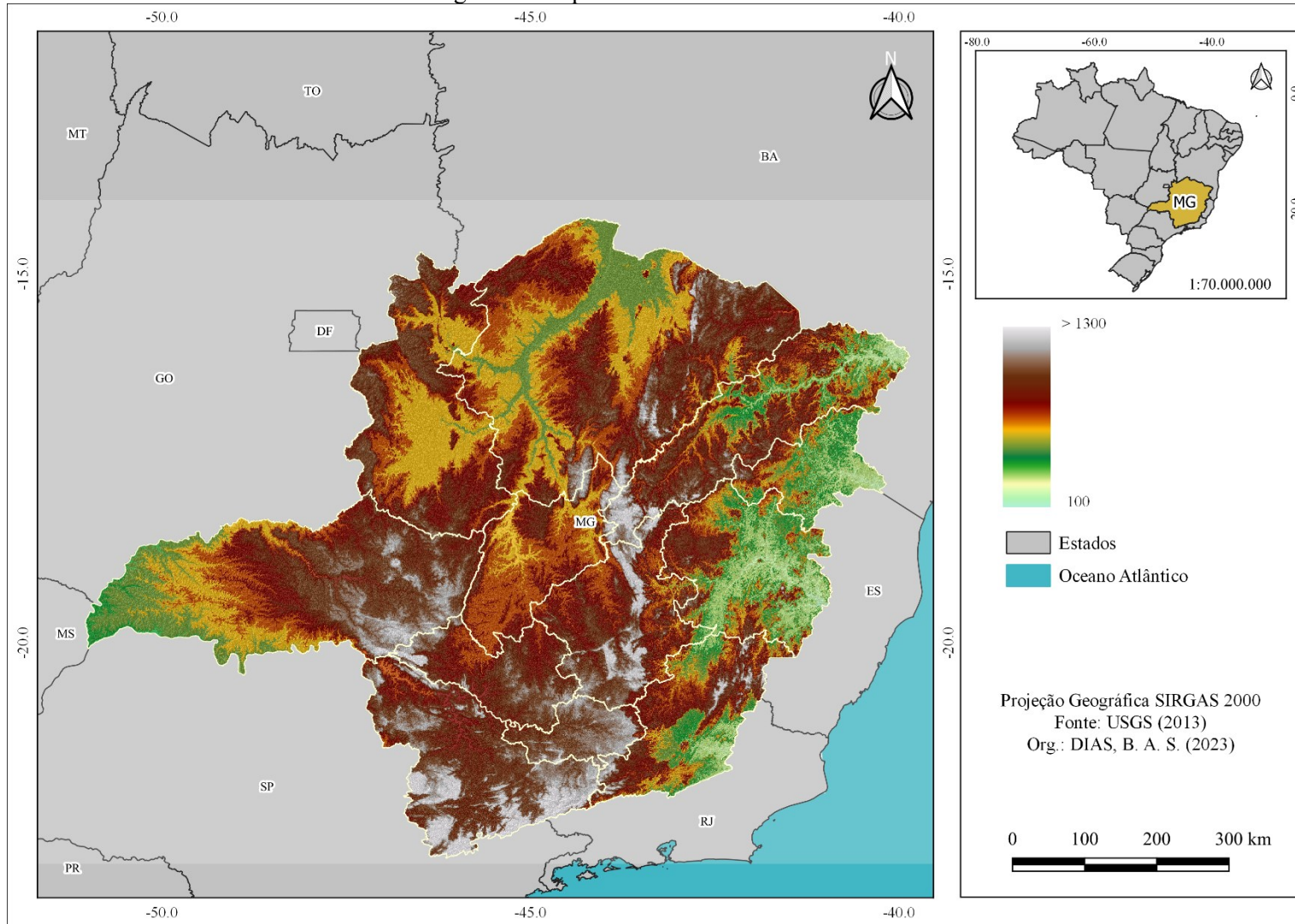
Gráfico 2 - Percentual de focos para as classes de risco da altitude.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).



Figura 5 - Mapa de altitude de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de USGS (2013)

### 3.2.3 Rodovias

O crescimento populacional das últimas décadas provocou um aumento na demanda de acessos rodoviários. O Brasil possui uma extensão de 1.720.909 quilômetros de rodovias, entre federais, estaduais e municipais, sendo que o estado de Minas Gerais destaca-se com a maior extensão rodoviária federal pavimentada: são 17.620 quilômetros (EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A., 2022).

Neste trabalho, também é explorada a relação entre as principais rodovias e os incêndios e queimadas, dado que a facilidade de acesso pode ser associada ao aumento dos registros, à medida que a densidade das estradas aumenta. Pode-se dizer que, em tese, as rodovias alteram o microclima local, tornando a área mais seca, quente, ventosa e susceptível aos incêndios.

Trabalhos como de Morrison (2007) nos mostraram que mais de 90% dos incêndios causados pelo homem ocorreram numa distância de até 1600 metros das rodovias, ou seja, áreas mais próximas a rodovias tendem a ter mais ocorrências que áreas mais afastadas. O estudo de Catry *et al.* (2007) também demonstrou que 98% das ignições de incêndios estavam a uma distância inferior a 2km.

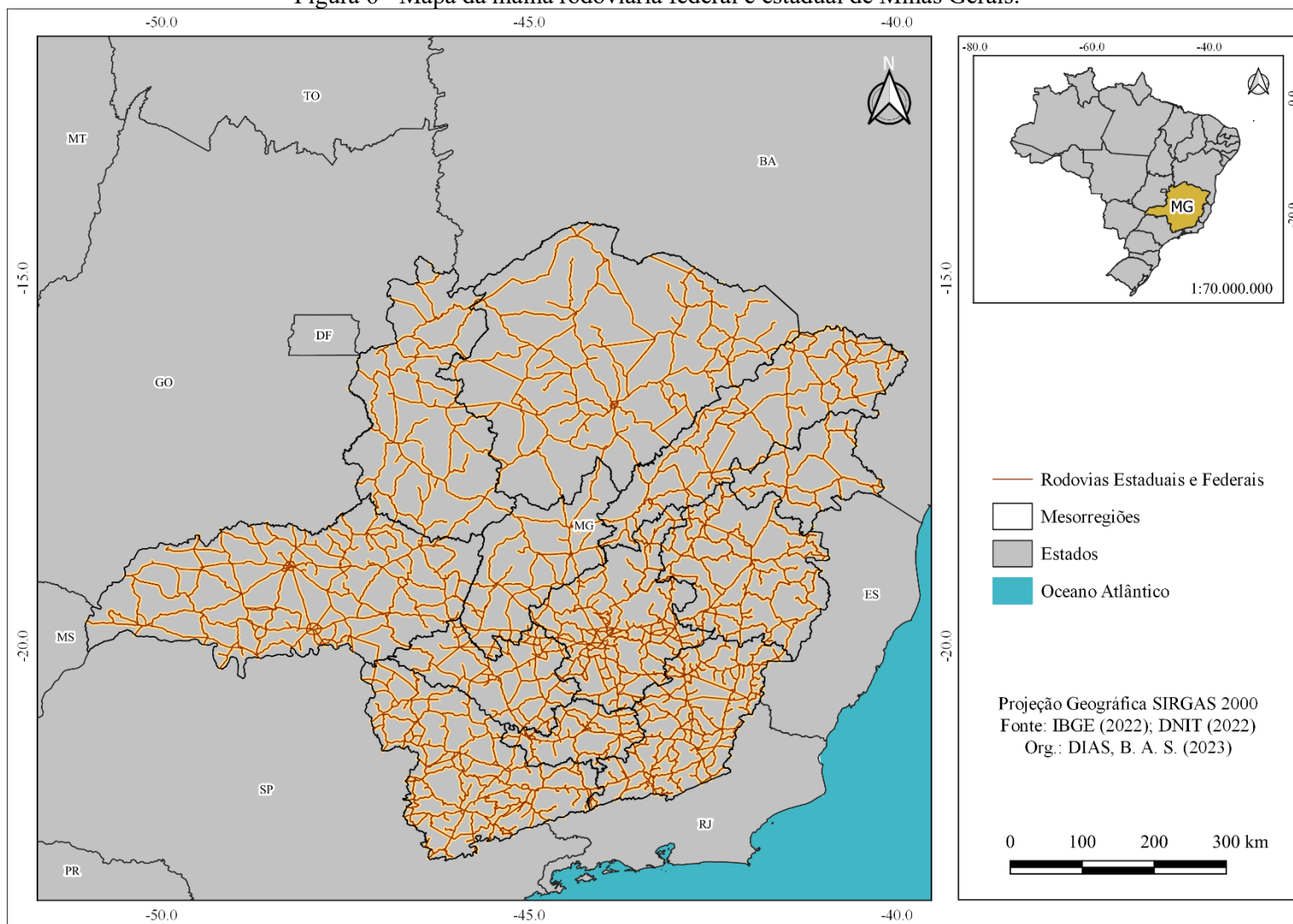
Portanto, neste trabalho foi utilizada a malha rodoviária federal e estadual de Minas Gerais. No QGis, criou-se um *buffer* de distância de 800 metros, 1600 metros e 2400 metros, a partir da ferramenta *buffer* multi-anel de distância constante. Esse intervalo foi definido com base no trabalho de Morrison (2007), cujo resultado do estudo identificou que quase 95% dos incêndios causados pelo homem nos EUA ocorrem a 800 metros da estrada mais próxima. E, as demais áreas do estado foram classificadas como muito baixa. Definiu-se os intervalos das classes seguindo a Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para as rodovias federais e estaduais

<b>Classes</b>	<b>Peso Fragilidade</b>	<b>Hierarquia de Fragilidade</b>
> 2400	1	Muito baixa
1600-2400	3	Baixa
800-1600	4	Média
0-800	5	Muito Alta

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Figura 6 - Mapa da malha rodoviária federal e estadual de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2021).

A distância até a rota de uma pastagem ou floresta influencia os incêndios e queimadas induzidas pelo homem, sendo que as massas rodoviárias representam um maior grau de perturbações e operações humanas.

Portanto, nota-se que houve uma relação positiva entre a distância das rodovias estaduais e federais e a ocorrência do fogo, haja visto que foram mais de 15mil focos registrados nas classes de médio a muito alto risco (Tabela 6). Além disso, a classe de risco muito baixo teve o maior percentual durante o período analisado (64,4%), registrando aumento de 5,1% no percentual de 2017 para 2021. Em seguida, o risco muito alto, que apesar de uma queda de 2% entre os anos de 2017 e 2021, se manteve em segundo lugar, em termos de quantidade de focos identificados (Gráfico 3).

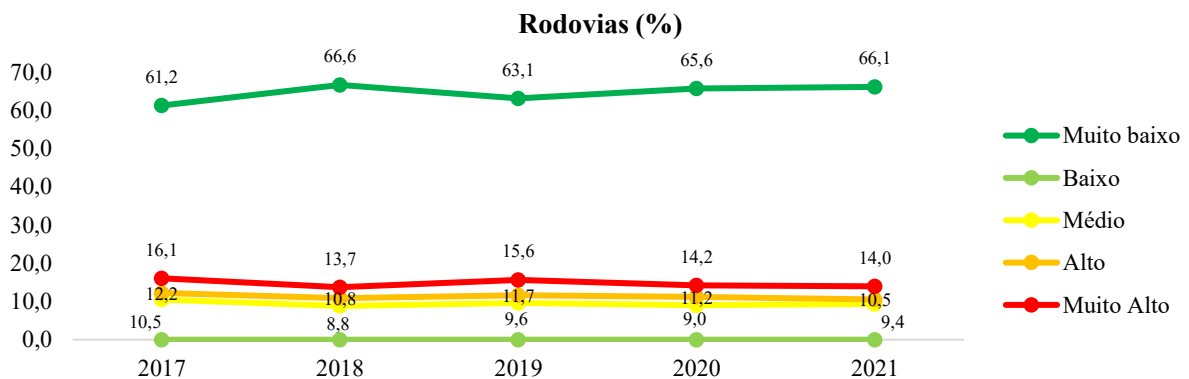
Tabela 6 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável rodovias.

Rodovias	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito baixo	5.132	3.082	6.307	5.735	8.009	28.265
Baixo	0	0	0	0	0	0
Médio	880	408	963	786	1.136	4.173
Alto	1.025	502	1.165	976	1.274	4.942
Muito Alto	1.346	635	1.564	1.240	1.691	6.476
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Constata-se que, embora as rodovias sejam consideradas fontes de ignição, o fogo tende-se a propagar nas áreas mais distantes, consideradas como muito baixo risco, presumindo-se que o acesso de pessoas e veículos em estradas vicinais também podem contribuir no aumento do número de incidências do fogo.

Gráfico 3 - Percentual de focos para as classes de risco das rodovias.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Os principais impactos ecológicos do fogo nas rodovias estão associados à perda da vegetação nativa, estradas mais susceptíveis à erosão e deslizamentos de terra, levando sedimentos aos cursos d'água, áreas mais propensas à invasão de ervas daninhas nocivas no pós-queima, redução da segurança do habitat da vida selvagem e florestas altamente vulneráveis ao fogo.

### 3.2.4 Uso e cobertura da terra

Quanto ao uso e ocupação da terra, sabe-se que as propriedades dos materiais combustíveis podem variar de acordo com a região estudada, visto que o tamanho, forma, carga de combustível, disposição no solo e teor de umidade podem ser diferentes, de um lugar a outro.

O uso e cobertura da terra consiste na identificação da distribuição geográfica da tipologia de uso, o levantamento dessas informações nos permite analisar determinados territórios, visando o conhecimento atualizado das diferentes formas de uso e ocupação da terra, bem como constitui numa ferramenta de planejamento e tomada de decisão.

Nessa etapa, considerou os diversos tipos de uso e cobertura da terra identificados pelo Mapbiomas na Coleção 7 (ANEXO I), no formato raster. O arquivo foi reclassificado por meio da ferramenta “reclassificar por tabela”, de modo que as subclasses foram agrupadas em uma classe, e posteriormente, a mesma ferramenta foi empregada recebendo coeficientes de acordo com sua suscetibilidade ao fogo (Quadro 2). Seguindo a orientação de alguns trabalhos como os de Ferraz e Vettorazzi (2008), Oliveira *et al.* (2020), Ross (1994) e Massa e Ross (2012), considerou-se o risco que cada um representa para a ocorrência e propagação de incêndios e queimadas, de acordo com a combustibilidade do material vegetal e suas características de vulnerabilidade à ignição de incêndios.

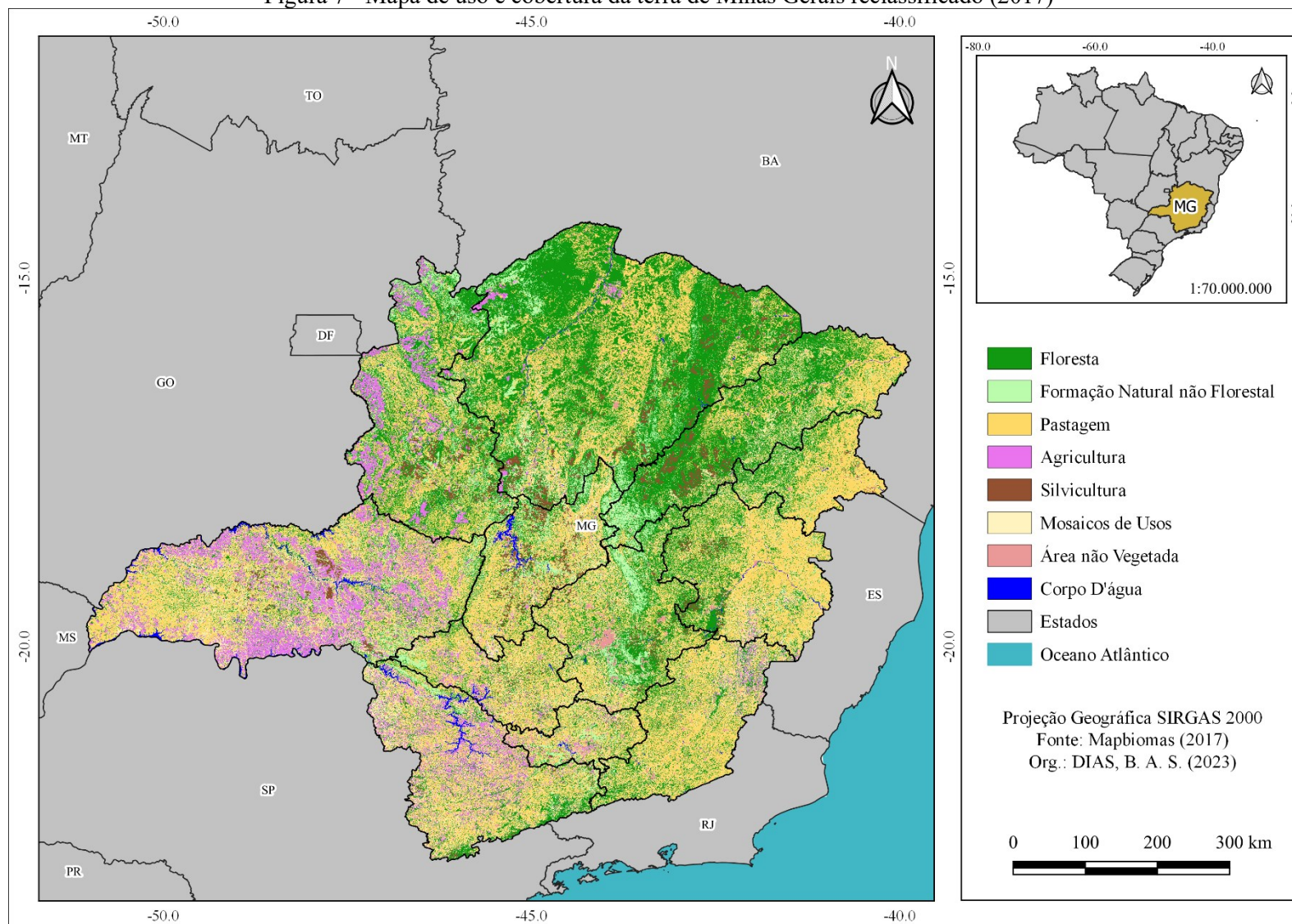
As classes de pastagem e agricultura foram reclassificadas com o nível mais alto de suscetibilidade ao fogo, pois foram identificadas em outros trabalhos como sendo as principais responsáveis pela perda florestal no Brasil (MORTON *et al.*, 2008, ARMENTERAS *et al.*, 2013 e COCHRANE *et al.*, 2008): a pastagem impulsionada pela produção extensiva e expansão da pecuária, e as áreas agrícolas, devido à produção de culturas agrícolas em larga escala, como por exemplo, o cultivo da soja e cana-de-açúcar, bem como, a conversão de florestas em terras agrícolas.

Quadro 2 - Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra

<b>Classes</b>	<b>ID anterior</b>	<b>Novo ID</b>	<b>Peso Fragilidade</b>	<b>Hierarquia de Fragilidade</b>
Corpo D'água	31,33	8	1	Muito Baixa
Formação Natural não Florestal	11,12, 13, 29, 32,50	2	2	Baixa
Área não vegetada	23,24,25,30	7	2	Baixa
Floresta	3,4,5,49	1	3	Média
Silvicultura	9	5	4	Alta
Mosaicos de Usos	21	6	4	Alta
Pastagem	15	3	5	Muito Alta
Agricultura	19,20,36,39,40,41, 46,47,48,62	4	5	Muito Alta

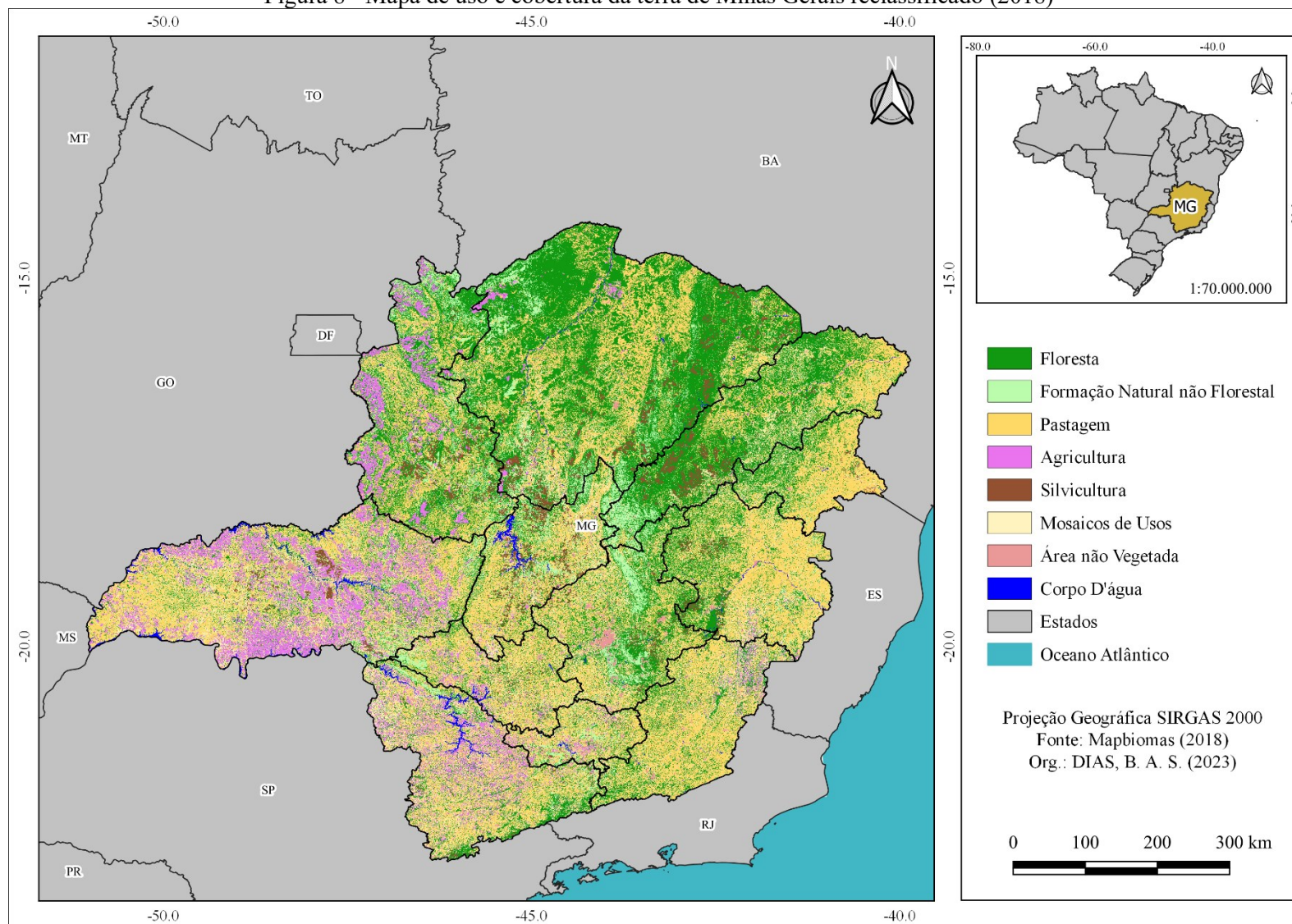
Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Figura 7 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2017)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2021) e Mapbiomas (2023).

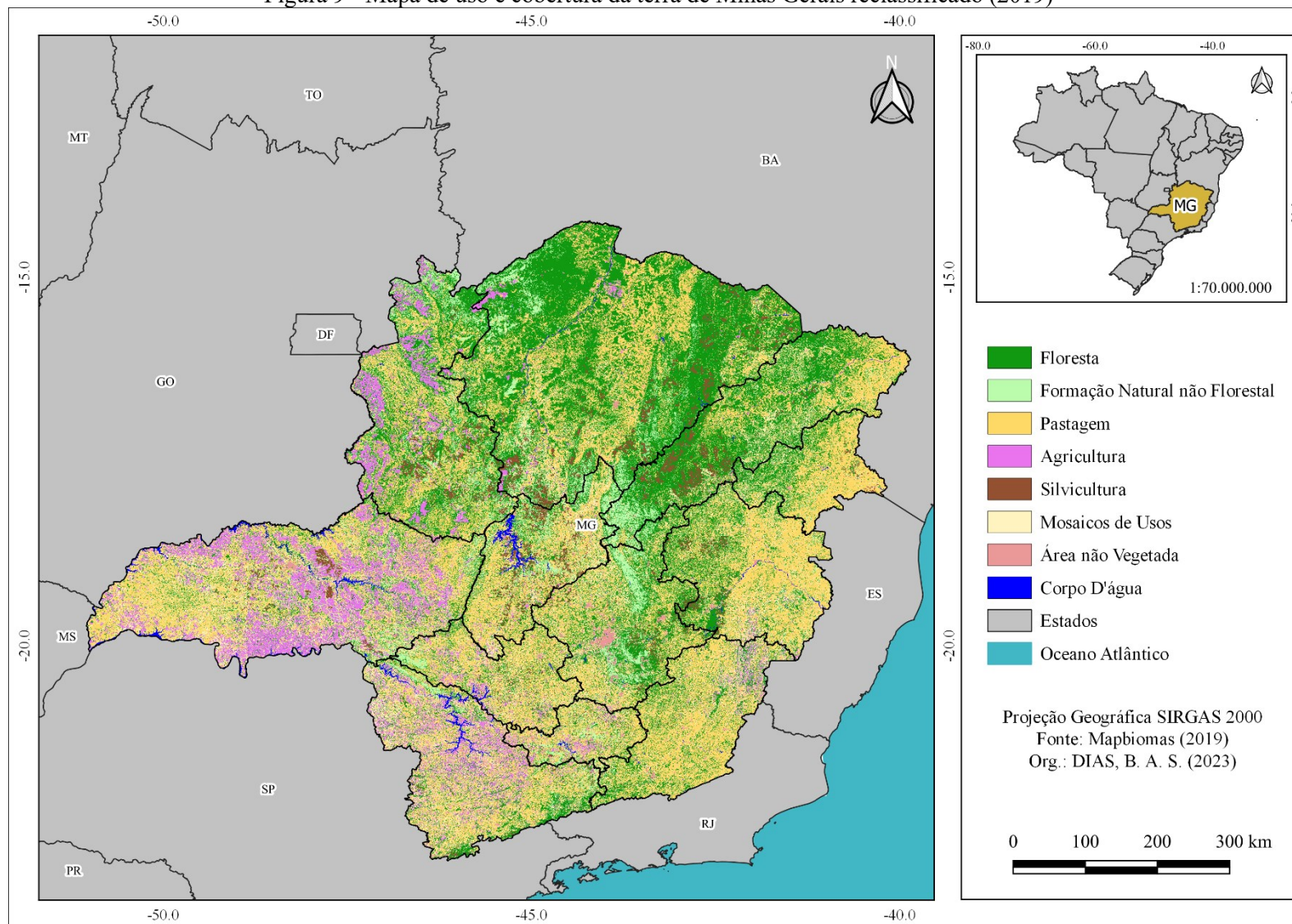
Figura 8 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2021) e Mapbiomas (2023).

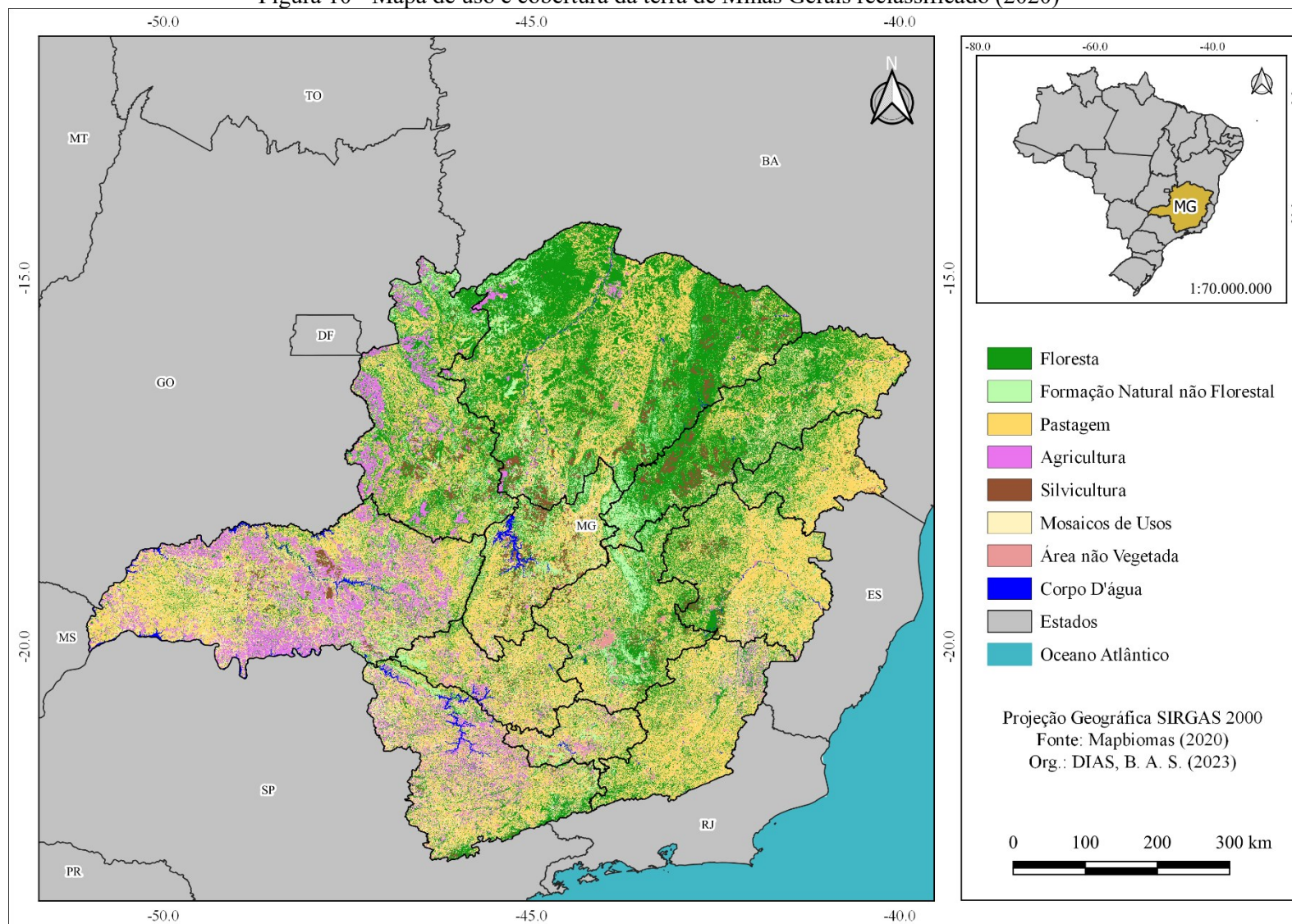


Figura 9 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2019)



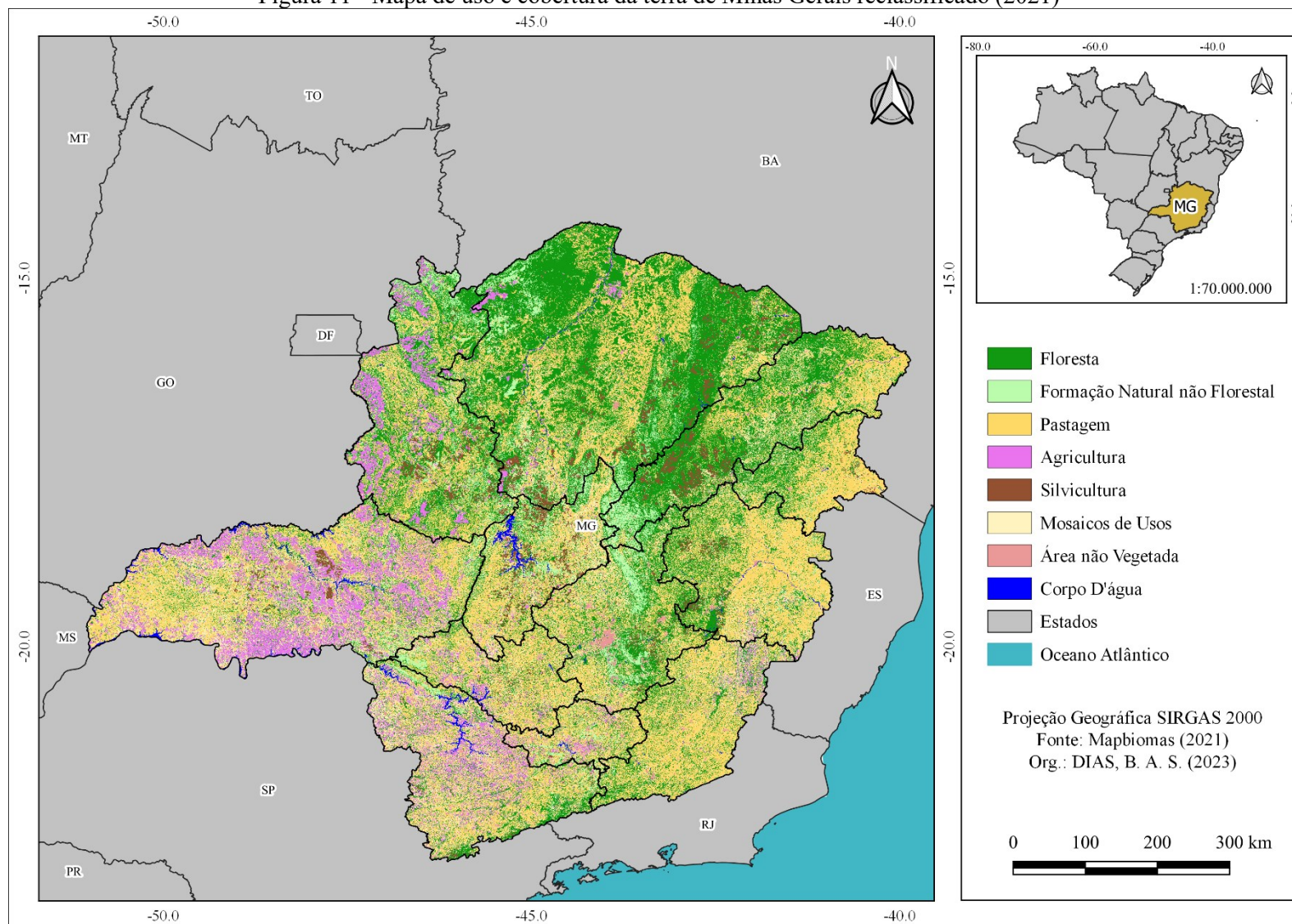
Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2021) e Mapbiomas (2023).

Figura 10 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2020)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2021) e Mapbiomas (2023).

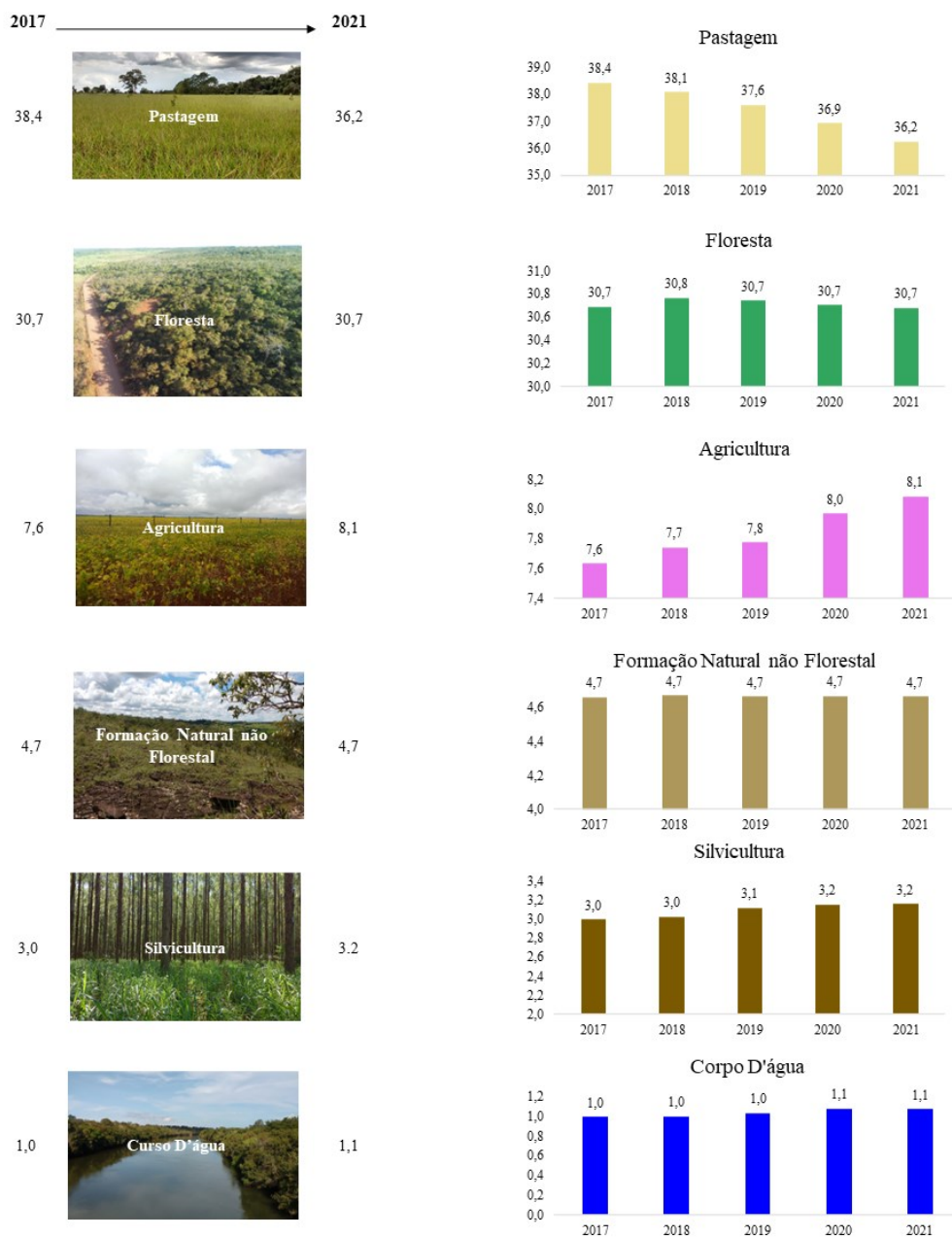
Figura 11 - Mapa de uso e cobertura da terra de Minas Gerais reclassificado (2021)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2021) e Mapbiomas (2023).

O Cerrado e a Mata Atlântica são os ecossistemas brasileiros que foram mais afetadas pela ação antrópica. Entre suas causas, destaca-se a abertura de novas áreas para a agropecuária. Na Figura 12, é possível constatar que à medida que as áreas de pastagens diminuíram (redução de 2,2%) as áreas agrícolas aumentaram em 0,5%. Pode-se dizer que, a conversão das áreas de pastagens para área agrícola resulta do aumento da produção de atividades agrícolas mais rentáveis, como a cana-de-açúcar e grãos. Já as demais classes de uso da terra não tiveram significativas alterações no período analisado.

Figura 12 - Evolução no percentual das classes de uso e cobertura da terra em Minas Gerais (2017-2021)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de Mapbiomas (2017-2021).  
Ilustrações LAPIG (2021)

A supressão do fogo na pastagem tem como função: produzir nova pastagem no início da estação seca; acerrar o cerrado e as veredas; e afastar o gado. Além disso, pode ajudar na redução de gramíneas de baixa qualidade e incremento do valor nutricional das pastagens de baixa aceitabilidade, por meio da rebrota; eliminação ou contenção da disseminação de espécies indesejáveis, geralmente invasoras de pastagens, como o pombeiro (*Combretum spp*), cambará (*Vochysia divergens*) e lixeira (*Curatella americana*); redução do combustível fino ou de superfície das áreas florestais, visto que algumas formações vegetais apresentam combustíveis finos, como gramíneas, herbáceas e folhas, que facilitam a ignição e propagação do fogo; aumento da heterogeneidade de ambientes, com a criação de mosaicos na paisagem e de espécies; e a alteração da distribuição de pastejo dos herbívoros domésticos e silvestres (SANTOS *et al.*, 2020).

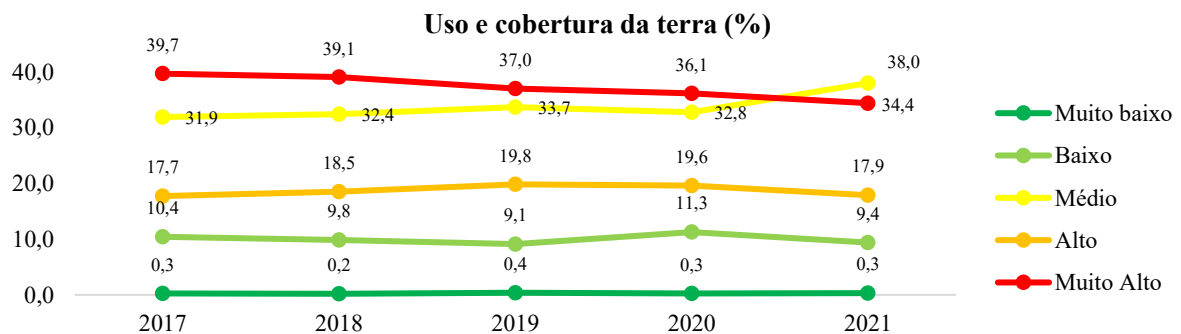
Para a variável de uso e cobertura da terra, observou-se as classes predominantes de risco muito alto e médio, com 16.156 e 15.007 focos registrados, respectivamente (Tabela 7). Essas classes de risco correspondem a pastagem, agricultura e florestas, sendo assim, verifica-se que a silvicultura e o mosaico de outros usos (risco alto), teve registros menores que na classe de floresta (risco médio). Portanto, por estarem concentrados entre o risco médio a muito alto, pode-se dizer que há relação entre os focos e o uso e cobertura da terra. Os percentuais mostram que o risco baixo e muito baixo teve redução no período analisado (Gráfico 4).

Tabela 7 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável uso e cobertura da terra.

Uso da terra	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito baixo	23	9	38	22	39	131
Baixo	872	455	911	984	1.136	4.358
Médio	2.675	1.499	3.368	2.863	4.602	15.007
Alto	1.486	857	1.982	1.711	2.168	8.204
Muito Alto	3.327	1.807	3.700	3.157	4.165	16.156
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Gráfico 4 - Percentual de focos para as classes de risco do uso e cobertura da terra.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

### 3.2.5 Precipitação mensal

A precipitação é uma das variáveis essenciais para compreender o potencial de ocorrência e propagação das queimadas e incêndios. Se ocorrer de a precipitação e a umidade forem altas, será bem provável que não ocorra incêndios, ou, caso ocorra, possivelmente ele não se propagará. Porém, se o contrário ocorrer, ausência de chuvas e baixa umidade atmosférica, tem-se as condições propícias à ocorrência e propagação do fogo, uma vez que o ar se torna mais rarefeito e será mais difícil combatê-lo com umidade atmosférica abaixo de 30%.

Além disso, menos umidade no material combustível mais rápido é a combustão, ou seja, grama, folhas mortas e palhadas perdem umidade rapidamente, mesmo após umedecidos superficialmente por uma chuva matinal e rapidamente secarem, tornando novamente inflamáveis durante a tarde, enquanto, galhos e troncos de árvores secam mais lentamente, alterando assim, o grau de propagação do fogo.

Para calcular a média da precipitação mensal, foram utilizados os dados de chuva acumulada do MERGE, gerado a partir dos dados do *Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*, combinação entre dados de precipitação de satélite e estação meteorológica (ROZANTE *et al.*, 2020).

Os dados de precipitação mensal obtidos para os anos de 2017 a 2021, totalizando cinco anos, foram analisados e separados de acordo com o período chuvoso e de seca no estado, ou seja, de maio a setembro corresponde ao período de seca, meses com baixa precipitação, associados a maior concentração de incidências e dos meses de outubro a abril, definidos como o período chuvoso, meses com alta precipitação e com menos registros de incêndios e queimadas. Para esses dados gerou-se os mapas das Figuras 13, 14, 15, 16 e 17, com a precipitação acumulada para cada ano e período.

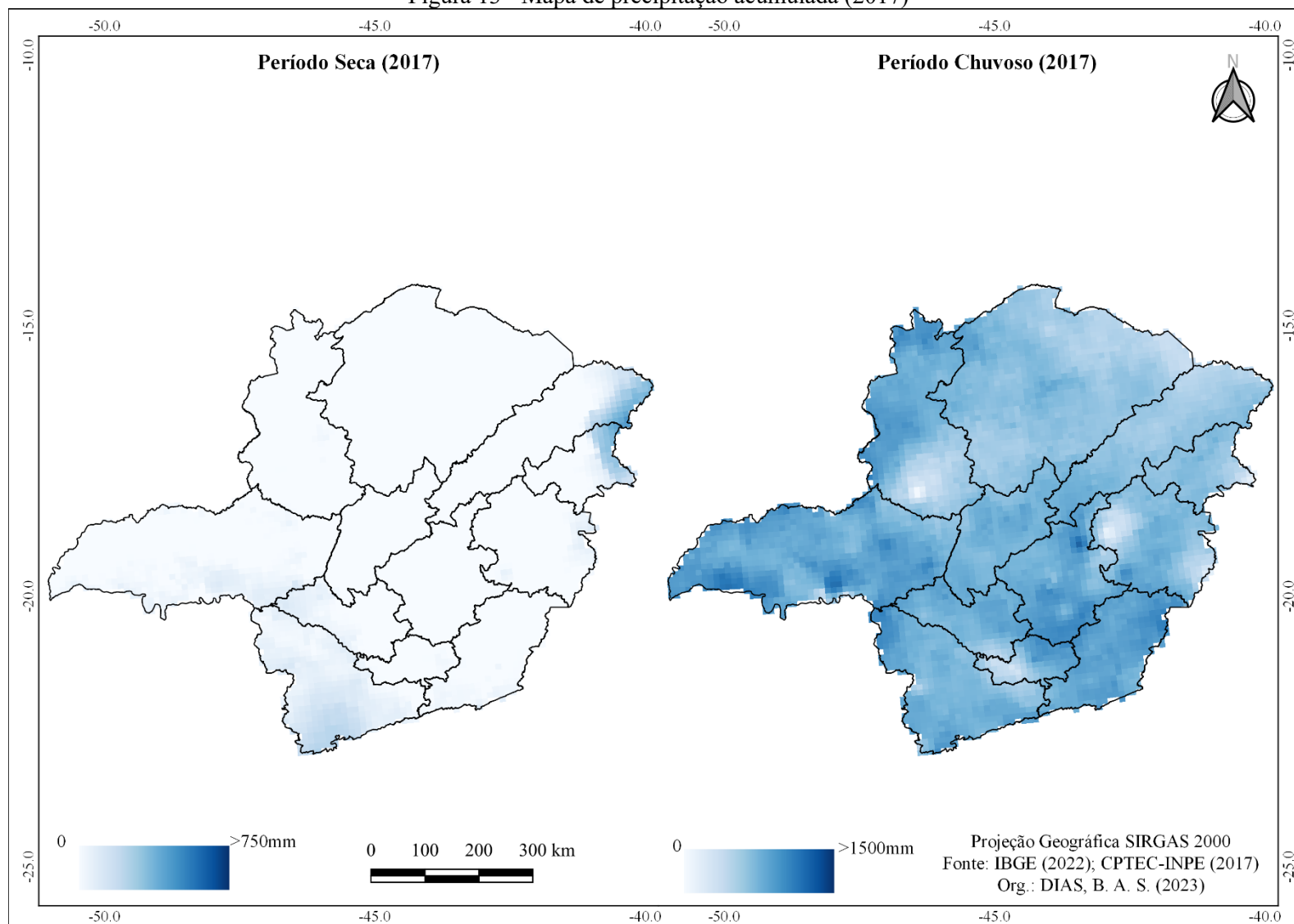
Posteriormente, para gerar o mapa de risco, arquivo foi reclassificado utilizando a ferramenta reclassificar por tabela, seguindo a divisão de classes a seguir (Tabela 8):

Tabela 8 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a precipitação acumulada.

Classes	Peso Fragilidade	Hierarquia de Fragilidade
>750	1	Muito Baixa
750 – 500	2	Baixa
500 - 250	3	Média
250 – 100	4	Alta
100 - 0	5	Muito Alta

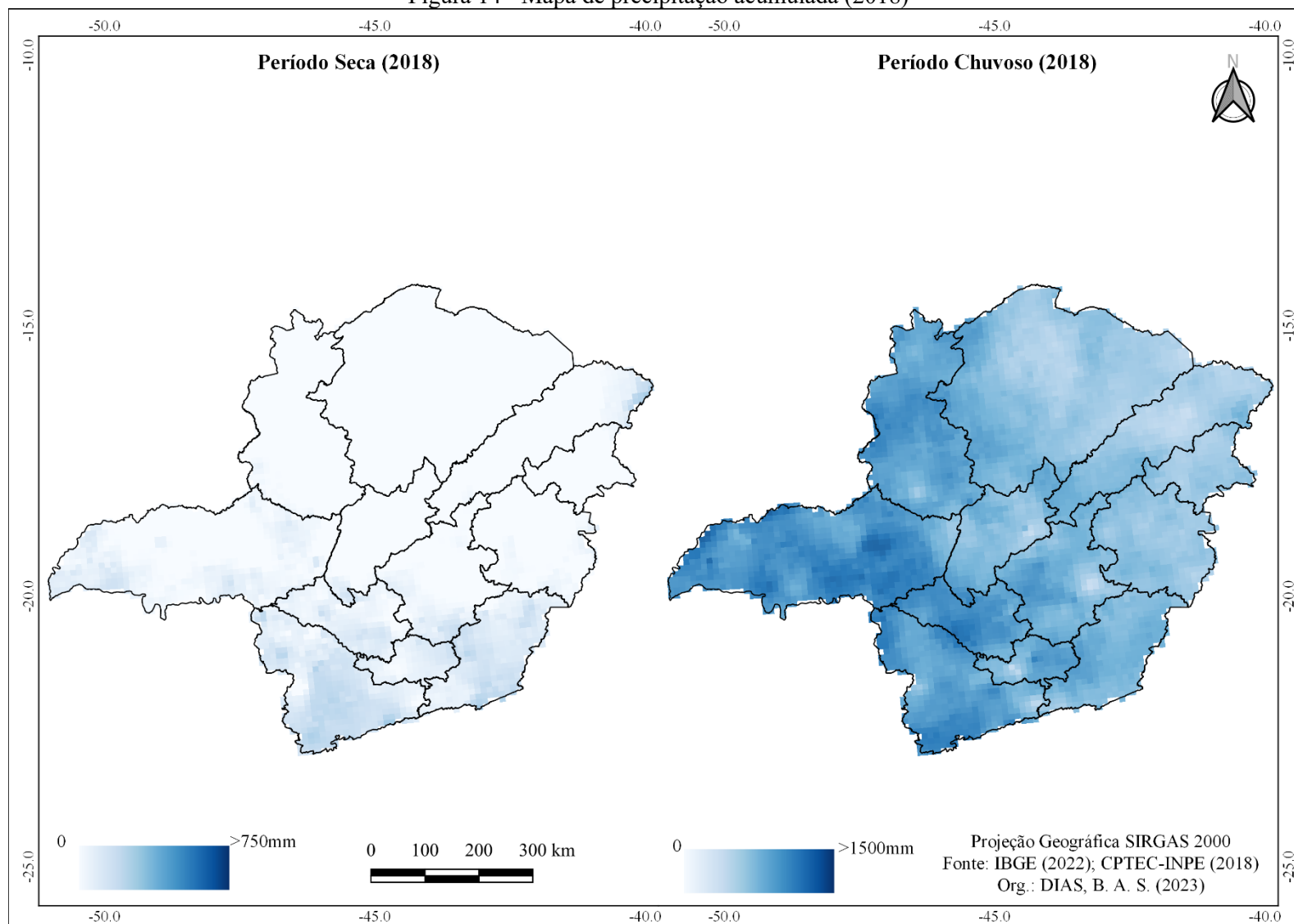
Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Figura 13 - Mapa de precipitação acumulada (2017)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC/INPE (2017).

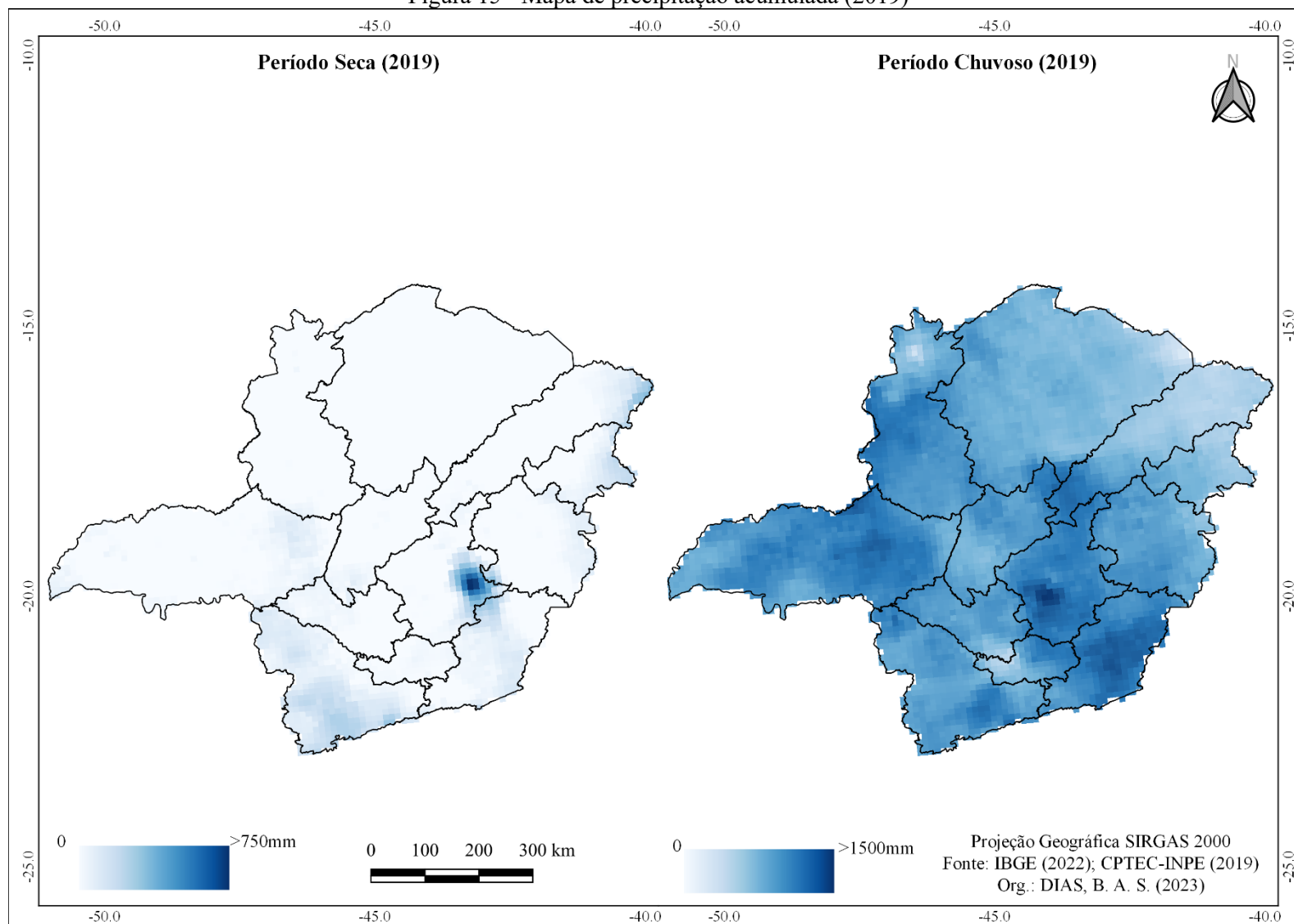
Figura 14 - Mapa de precipitação acumulada (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC/INPE (2018).

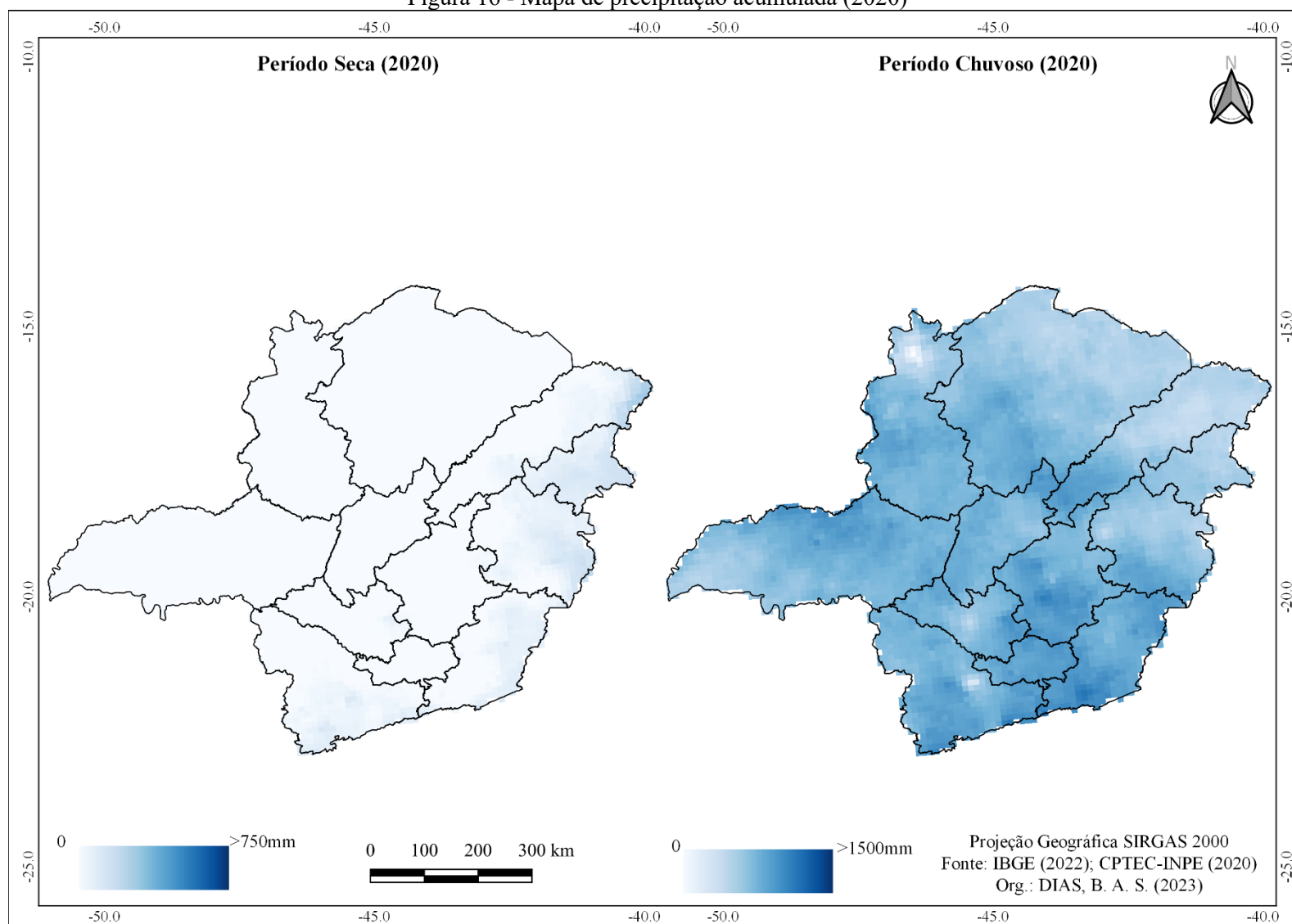


Figura 15 - Mapa de precipitação acumulada (2019)



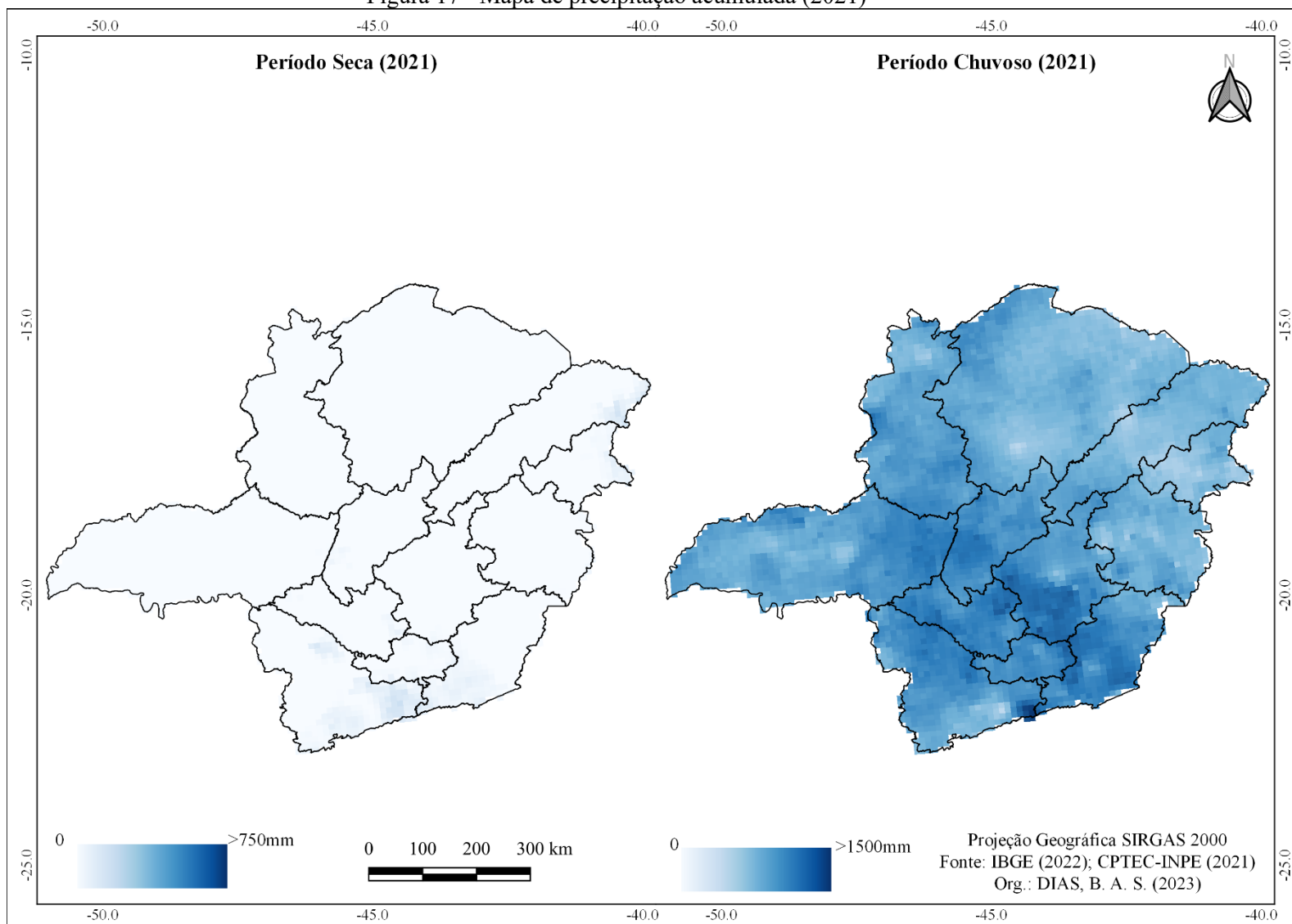
Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC/INPE (2019).

Figura 16 - Mapa de precipitação acumulada (2020)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC/INPE (2020).

Figura 17 - Mapa de precipitação acumulada (2021)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC/INPE (2021).

No estado de Minas Gerais, a variável precipitação contribui expressivamente na ignição e propagação do fogo (Tabela 9), isso também foi observado por Souto *et al.* (2021), no qual, constatou-se que a correlação entre os focos de calor e precipitação é predominantemente negativa e significativa em todo o estado; ou seja, quando a precipitação aumenta, o número de focos de calor diminui.

Deste modo, é sabido que a umidade do combustível é afetada pela quantidade e duração da precipitação, pois limita a propagação do fogo, ou seja, à medida que temos materiais combustíveis mais leves, mais rapidamente são afetados que os materiais pesados, haja vista que ganham e perdem umidade mais rápido, portanto, dependem do tipo, quantidade, tamanho, forma, posição e disposição para inflamar e queimar. Vale ressaltar, conforme Torres *et al.* (2011), que há um aumento no número de ocorrências nos dias de baixa precipitação; porém, tem maior influência um conjunto de elementos do que de um elemento isolado com o número de incêndios.

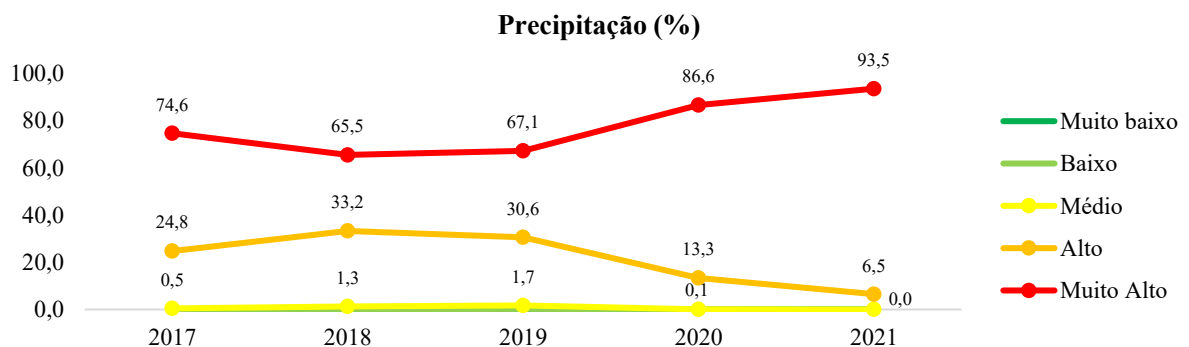
Identifica-se que apenas no ano de 2019 houveram registros de fogo nas classes de risco baixo e muito baixo, presumindo-se que pode ter havido alguma alteração no regime climático nesse ano. Ademais, durante todo período analisado, essa variável teve os maiores percentuais na classe de risco muito alto (Gráfico 5), pressupondo, portanto, que é um dos fatores mais importantes para analisar o risco de queimadas e incêndios.

Tabela 9 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável precipitação.

Precipitação (seca)	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito baixo	0	0	33	0	0	33
Baixo	9	0	26	0	0	35
Médio	45	60	172	9	0	286
Alto	2.077	1.538	3.058	1.165	787	8.625
Muito Alto	6.252	3.029	6.710	7.563	11.323	34.877
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Gráfico 5 - Percentual de focos para as classes de risco da precipitação.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

### 3.2.6 Temperatura mensal

Nos materiais combustíveis, a temperatura do ar ao redor é uma das chaves para entender como os incêndios e queimadas começam e se espalham, uma vez que a quantidade de calor necessário para aumentar a temperatura dos combustíveis até o ponto de ignição depende da temperatura inicial e do ar que circula ao redor.

A temperatura é a medida de calor ou frio, sendo que a principal fonte de calor é a energia solar. Para o material combustível inflamar, dependerá do quanto a radiação solar entra em contato, fazendo com que a temperatura do combustível aumente ou esfrie. Portanto, materiais combustíveis expostos ao sol tendem a ser mais fácil de inflamar do que os combustíveis à sombra, cuja diferença de temperatura pode chegar a 10° C. Nesse sentido, alguns trabalhos, como de Souza (2015), Lucas *et al.* (2021) e Kovalsyki *et al.* (2016), contribuem no sentido da avaliação do potencial de algumas espécies para compor as cortinas de segurança, como medida de prevenção de incêndios.

Outro aspecto importante da temperatura que se relaciona com o comportamento do fogo é a distribuição horizontal e vertical da temperatura, podendo provocar o fogo e levar a maiores taxas de propagação, em razão do grau de instabilidade da atmosfera, o ar instável pode produzir redemoinhos e/ou manchas de fogo, ou então, os ventos mais fortes misturados a superfície pode levar a maiores taxas de propagação do fogo.

Quanto mais rápido o vento for, maior será a propagação do fogo. Isso porque o vento tem a capacidade de renovação do oxigênio, aumentando o suprimento do mesmo, presente na atmosfera no local da combustão, que aumenta a área de contato do combustível. Junto ao ar seco e à alta temperatura, favorece a ignição. Devido à rápida secagem dos materiais combustíveis, carregará faíscas à frente do fogo principal e moverá o ar aquecido por convecção a favor do vento, afetando, portanto, a ocorrência e o comportamento dos incêndios e das queimadas.

Uma das consequências do aumento da temperatura durante e pós a ação do fogo é a alteração das características químicas do solo, pois influencia em uma taxa de maior decomposição de resíduos e mineralização da matéria orgânica (COSTA e RODRIGUES, 2015).

A média da temperatura mensal em graus Celsius (°C) foi obtida através dos dados SAMEt (*South American Mapping of Temperature*), que combina dados de observação de estações meteorológicas e reanálises climáticas (ROZANTE *et al.*, 2022). Os dados seguiram a mesma lógica de períodos aplicados nos dados de precipitação, ou seja, foram divididos em

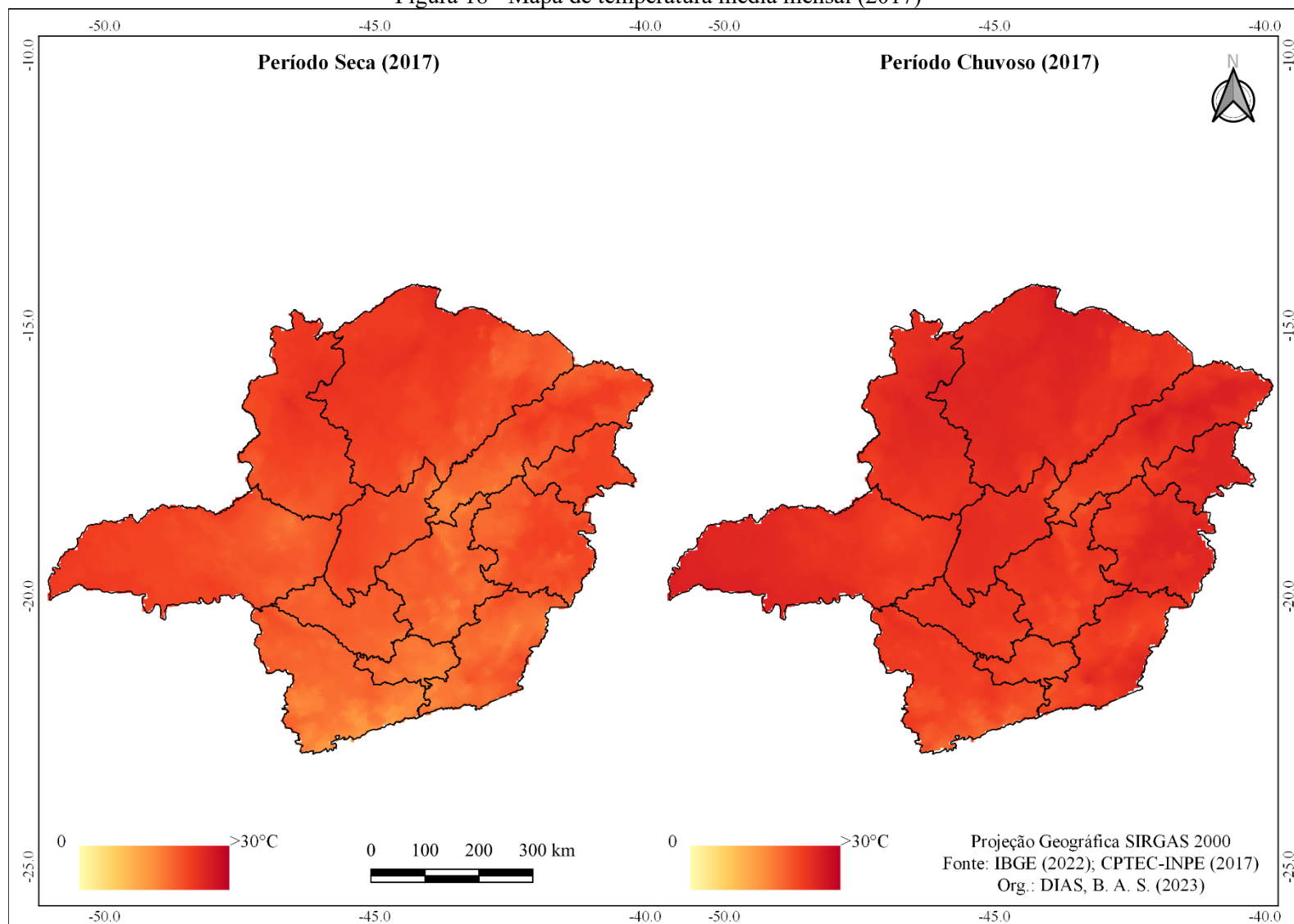
período chuvoso e de seca (Figuras 18, 19, 20, 21 e 22). Ao final, gerou-se um arquivo reclassificado com a ferramenta “reclassificar por tabela”, seguindo as classes apontadas a seguir:

Tabela 10 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a temperatura

<b>Classes</b>	<b>Peso Fragilidade</b>	<b>Hierarquia de Fragilidade</b>
0- 14	1	Muito Baixa
14-17	2	Baixa
17-20	3	Média
20-23	4	Alta
> 23	5	Muito Alta

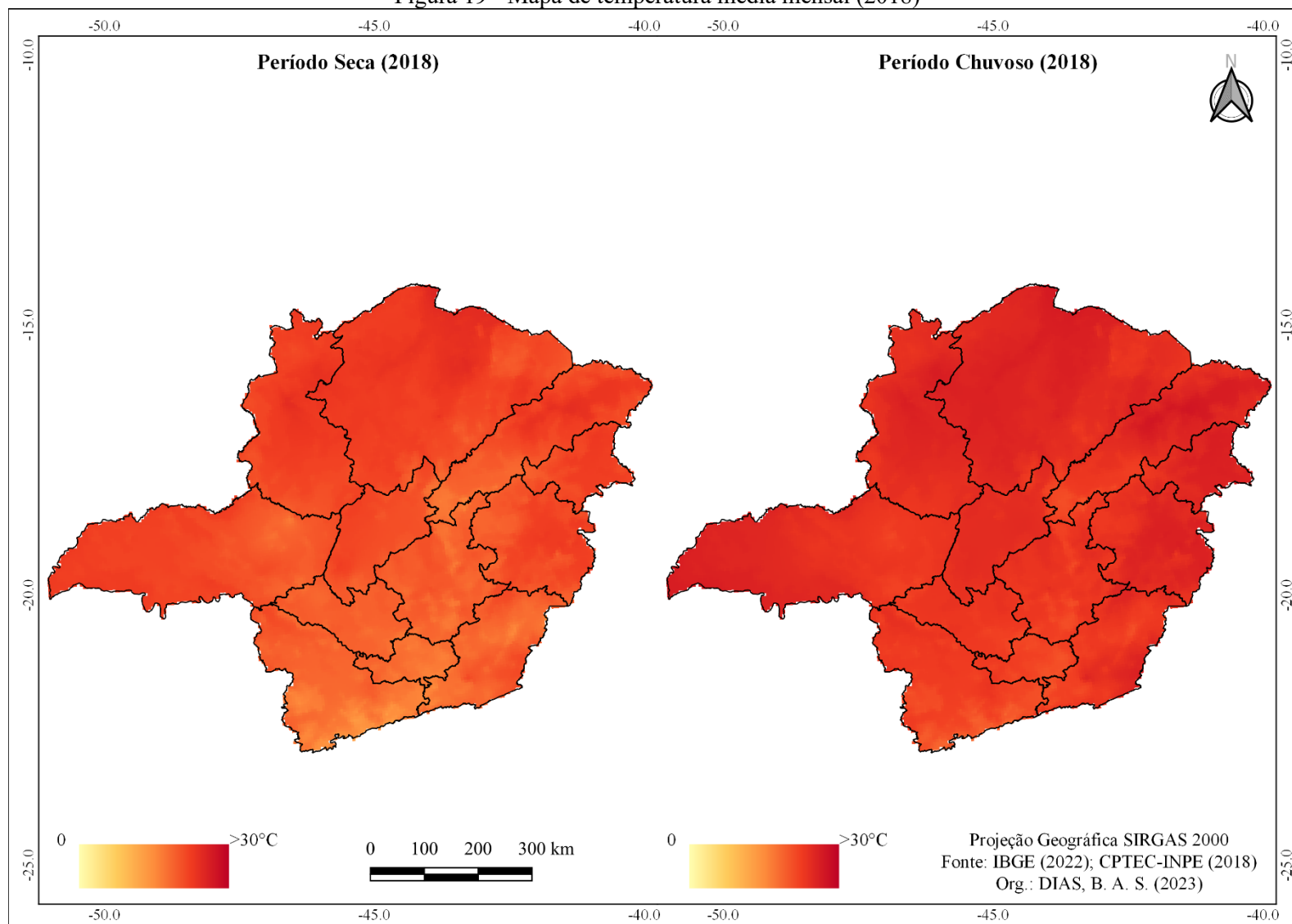
Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Figura 18 - Mapa de temperatura média mensal (2017)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC-INPE (2017).

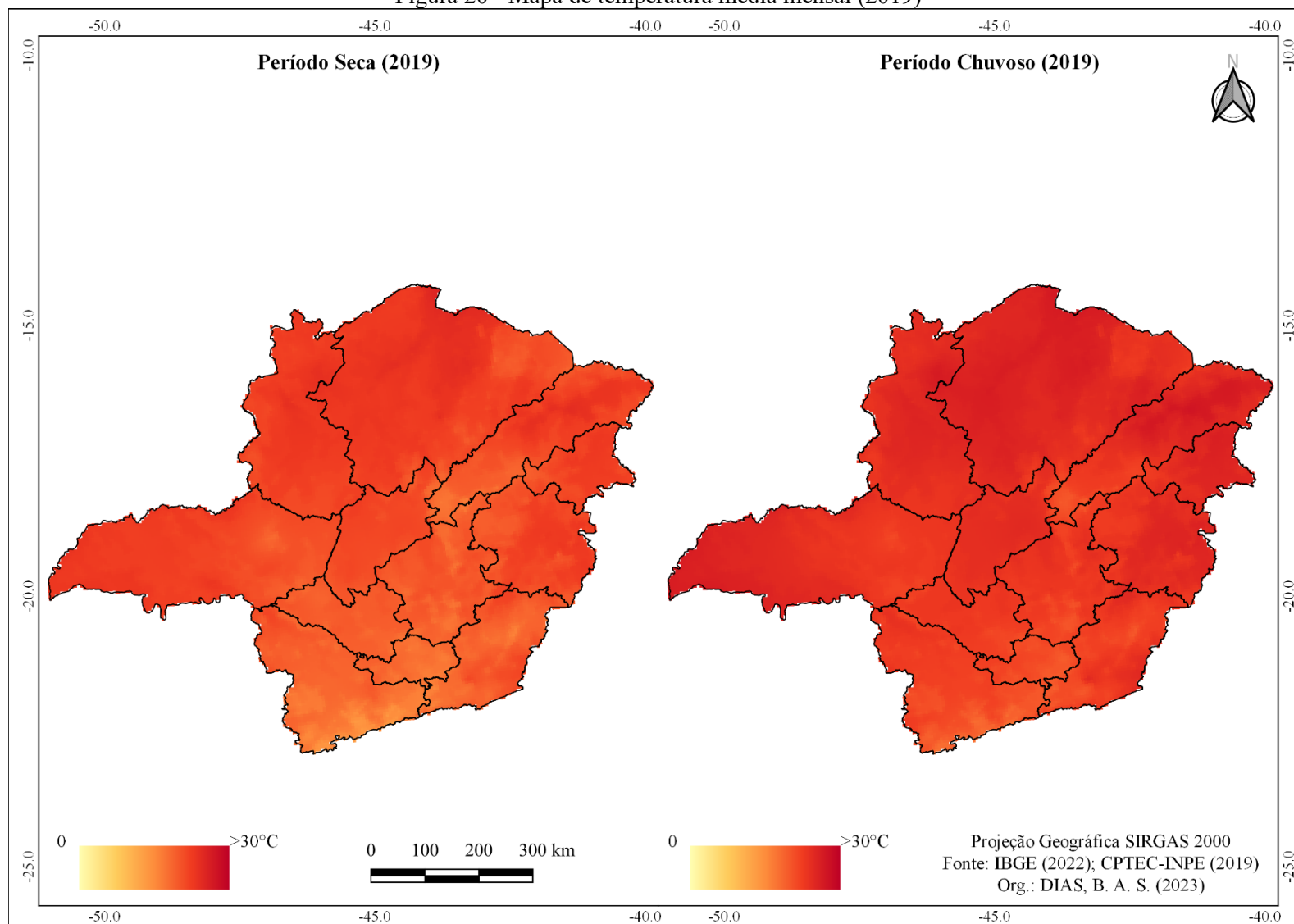
Figura 19 - Mapa de temperatura média mensal (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC-INPE (2018).

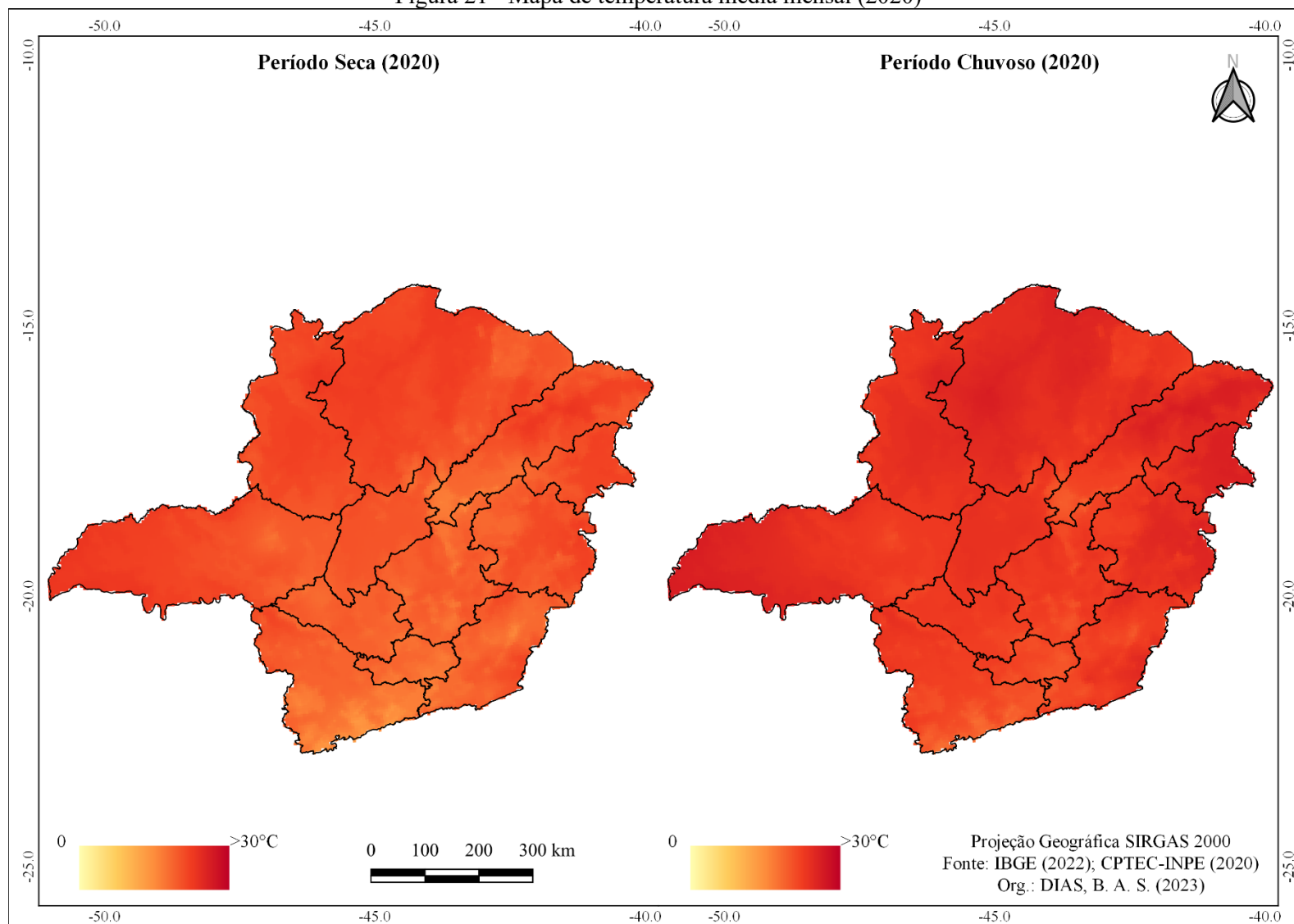


Figura 20 - Mapa de temperatura média mensal (2019)



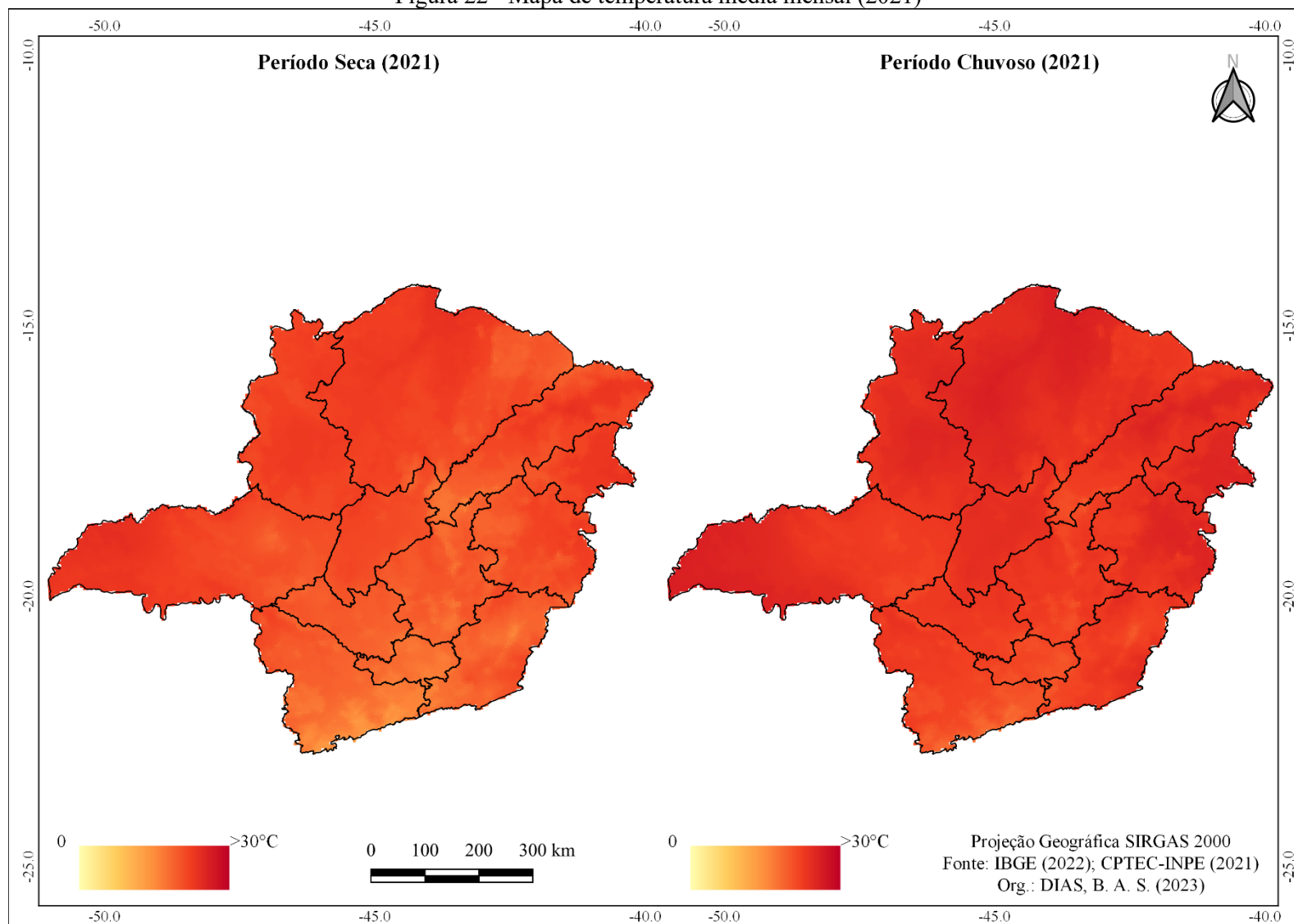
Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC-INPE (2019).

Figura 21 - Mapa de temperatura média mensal (2020)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC-INPE (2020).

Figura 22 - Mapa de temperatura média mensal (2021)



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de CPTEC-INPE (2021).

Em Minas Gerais, pode-se observar que em baixas temperaturas (classe muito baixa) houve poucas incidências de fogo, ao passo que, os maiores registros foram na classe média e classe alta, correspondendo a temperaturas entre 17°C e 23°C, juntas, essas classes registraram quase 40mil focos de queimadas e incêndios (Tabela 11).

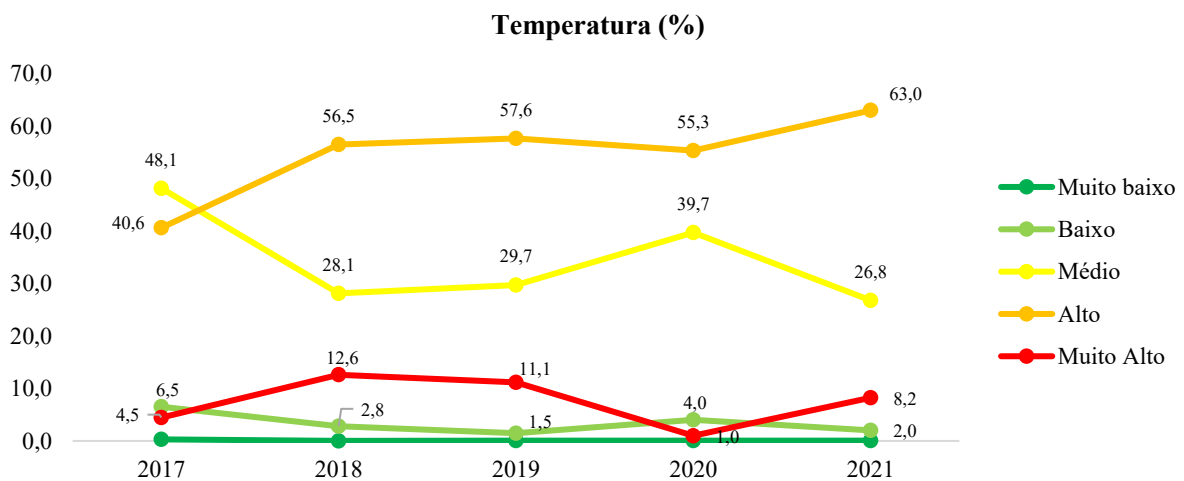
Tabela 11 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável temperatura.

Temperatura (seca)	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito baixo	25	1	6	3	5	40
Baixo	546	131	148	350	243	1.418
Médio	4.035	1.300	2.971	3.466	3.242	15.014
Alto	3.403	2.612	5.761	4.831	7.624	24.231
Muito Alto	374	583	1.113	87	996	3.153
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Quanto ao percentual de focos, percebe-se que no decorrer do período analisado, o risco alto aumentou em 22 pontos percentuais, de 2017 para 2020, enquanto o risco médio diminuiu 21,3%, já o risco muito alto subiu apenas 1,7% (Gráfico 6). Ou seja, a temperatura também é uma variável importante na ignição do fogo.

Gráfico 6 - Percentual de focos para as classes de risco da temperatura.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

### 3.2.7 Declividade

A declividade é o grau de inclinação de uma encosta. Segundo Schneider e Breedlove (s.d.), o fogo tende a se alastrar mais rápido em subidas do que em descidas, pois os materiais combustíveis acima do fogo estão em contato mais próximo com as chamas; portanto, quanto maior a inclinação, mais rápido o fogo se queima.

Partindo dessa premissa, a primeira etapa foi a aquisição das imagens do projeto SRTM, que foram utilizadas para obter os dados referente à declividade de Minas Gerais. De posse dos dados SRTM, no *software* QGis essas imagens foram reprojetadas para a Projeção Cônica de Lambert. Posteriormente, gerou-se um mosaico e com o *shapefile* do estado fornecido pelo IBGE foi realizado o recorte da área de estudo por meio da ferramenta “recortar raster por camada de máscara”. Em seguida, por meio da ferramenta *Slope* contida na biblioteca GDAL, foi obtida a declividade do terreno expressa em porcentagem. E por meio do algoritmo do GRASS chamado *r.reclass* obteve-se as classes de declividade adotadas pela Embrapa.

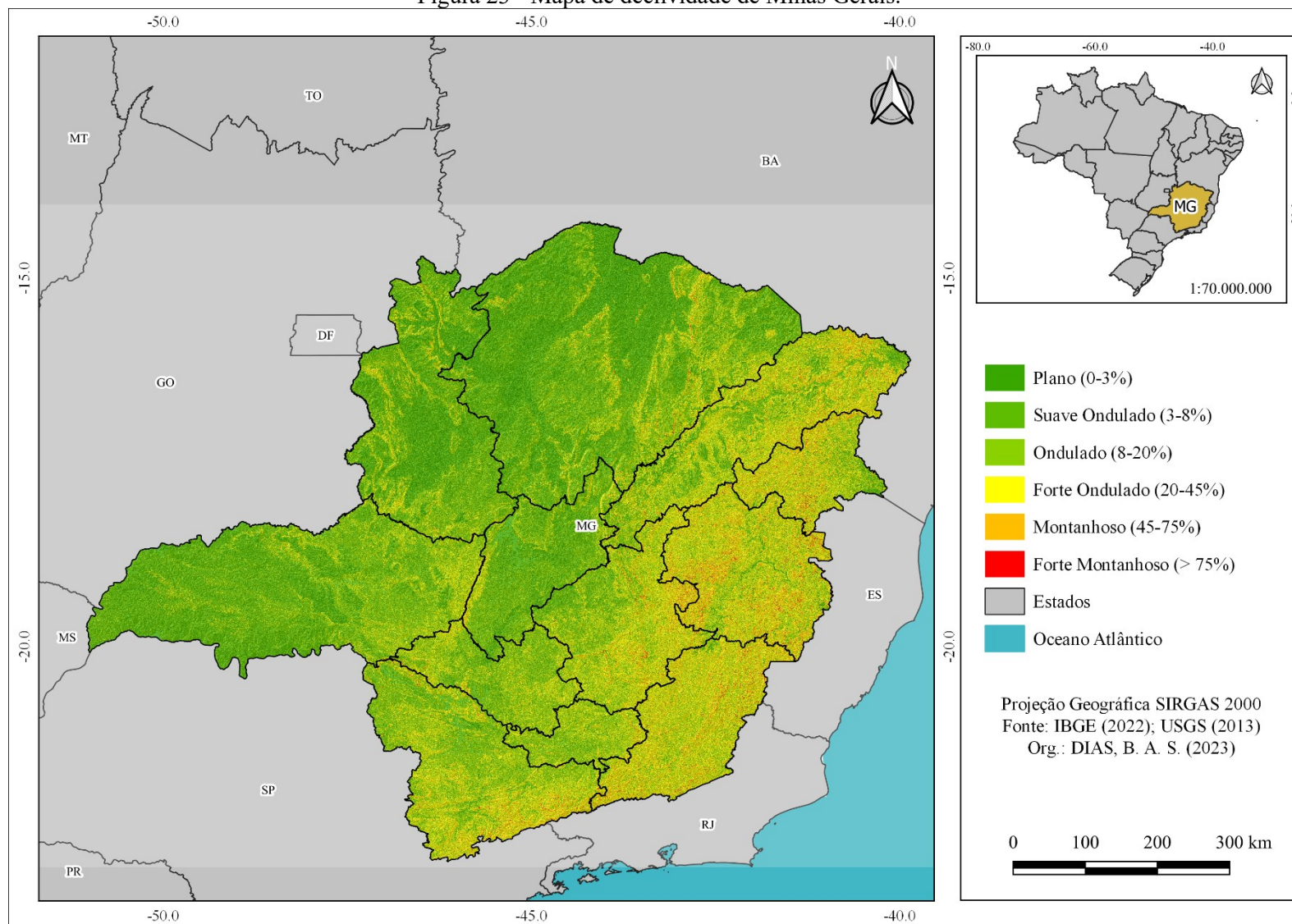
O próximo passo foi utilizar a ferramenta “reclassificar por tabela” para atribuir o peso de cada classe. Essa ferramenta permite a transformação de um raster para o padrão categórico ou discreto. Na Tabela 12, apresenta-se as classes de declividade de acordo com o grau de inclinação da encosta e os valores conferidos a cada uma delas.

Tabela 12 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a declividade

Classes de declividade		Valor no raster	Peso Fragilidade	Hierarquia de Fragilidade
0-3	Plano	1	1	Muito Baixa
3-8	Suave Ondulado	2	2	Baixa
8-20	Ondulado	3	3	Média
20-45	Forte Ondulado	4	4	Alta
45-75	Montanhoso	5	5	Muito Alta
>75	Escarpado	6	5	Muito Alta

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Figura 23 - Mapa de declividade de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2022) e USGS (2013).

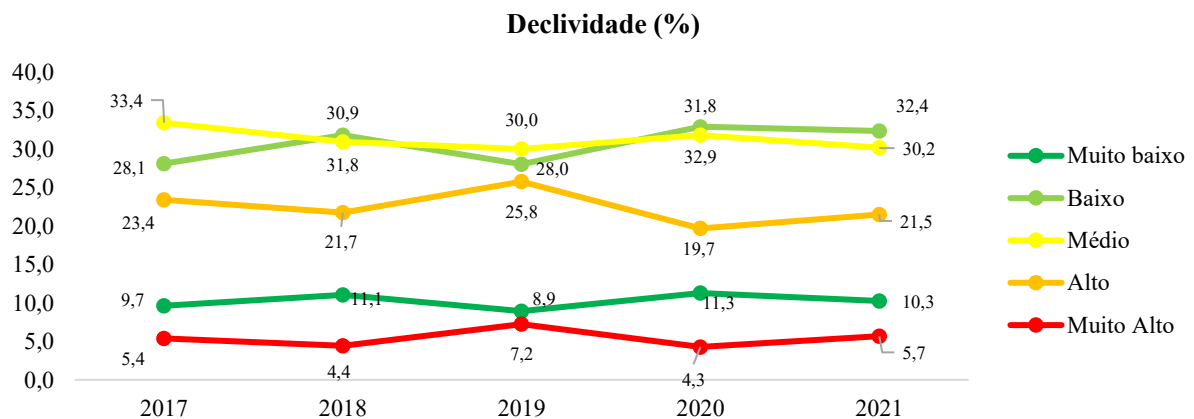
Nas áreas planas, para o fogo se propagar, dependerá da proximidade, do tipo de material combustível disponível, dentre outros fatores, e nas áreas de alta inclinação, o acesso torna-se um fator de dificuldade, por isso, observa-se que nas classes de risco muito baixo e risco muito alto tiveram os menores registros de fogo, isso se deve, ao fato de que, há poucas áreas situadas nesse tipo de relevo (Tabela 13). Ao passo que, o risco baixo, médio e alto, concentraram mais de 80% dos focos, correspondentes a suave ondulado, ondulado e forte ondulado. E, no risco médio (declividade ondulada) e risco baixo (suave ondulado) os percentuais se mantiveram altos em todos os anos (Gráfico 7).

Tabela 13 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável declividade.

Declividade	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito baixo	809	512	893	986	1.244	4.444
Baixo	2.358	1.473	2.803	2.876	3.920	13.430
Médio	2.803	1.431	3.002	2.781	3.655	13.672
Alto	1.962	1.006	2.577	1.720	2.604	9.869
Muito Alto	451	205	724	374	687	2.441
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Gráfico 7 - Percentual de focos para as classes de risco da declividade.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Viegas (2004) explica que a propagação do fogo em locais com alguma declividade tem comportamento distinto daquela que ocorre em áreas sem declividade, em função do efeito de fatores adicionais como a convecção e a radiação. Se existe um mínimo de declividade, a taxa de propagação tende a crescer, e será tanto maior quanto maiores forem as transformações microclimáticas na zona de combustão. Além disso, se um incêndio estiver na base de uma encosta, toda a encosta até o topo da crista fica no caminho do fogo. Esses incêndios geralmente serão maiores porque a maioria não é controlada até atingir o topo do cume.

### 3.2.8 Orientação das Encostas

A exposição de uma encosta ao sol determina a quantidade de aquecimento que a terra recebe do sol, ou seja, quanto maior for o tempo de exposição solar, maior será o risco de incêndio. Para Schneider (s.d), as encostas do sul geralmente têm combustíveis leves, temperaturas mais altas, menor umidade do combustível e são mais críticas em termos de início e propagação do fogo.

Portanto, no hemisfério sul, as encostas expostas ao Norte (N) recebem as maiores incidências de raios solares, sendo a orientação de risco muito alto a incidência de incêndios; Noroeste (NO) e Oeste (O) risco alto, pois durante a manhã são aquecidas a partir da incidência solar difusa, ou seja, aquecimento mais lento; todavia, à tarde recebem a radiação solar direta, sendo mais quentes e secas; Nordeste (NE) risco médio; Leste (E) risco baixo, recebem a incidência da radiação solar direta de manhã e à tarde iniciam seu processo de resfriamento; e Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO) e relevo Plano risco muito baixo, sendo, em grande parte do ano, sombreadas e aquecidas por radiação difusa e advecção de ar quente. Deste modo, a exposição das vertentes indica a orientação de uma encosta em relação aos pontos cardeais e influencia a temperatura. O resultado são condições edafoclimáticas locais diferentes existentes numa face em relação à outra.

Para extrair essas informações, utilizou-se as imagens SRTM e por meio da ferramenta Aspecto no QGIS obteve-se os graus de inclinação para todo território mineiro. O raster resultante do processamento foi reclassificado por meio da ferramenta “reclassificação por tabela”, e a classificação final está de acordo com a Tabela 14:

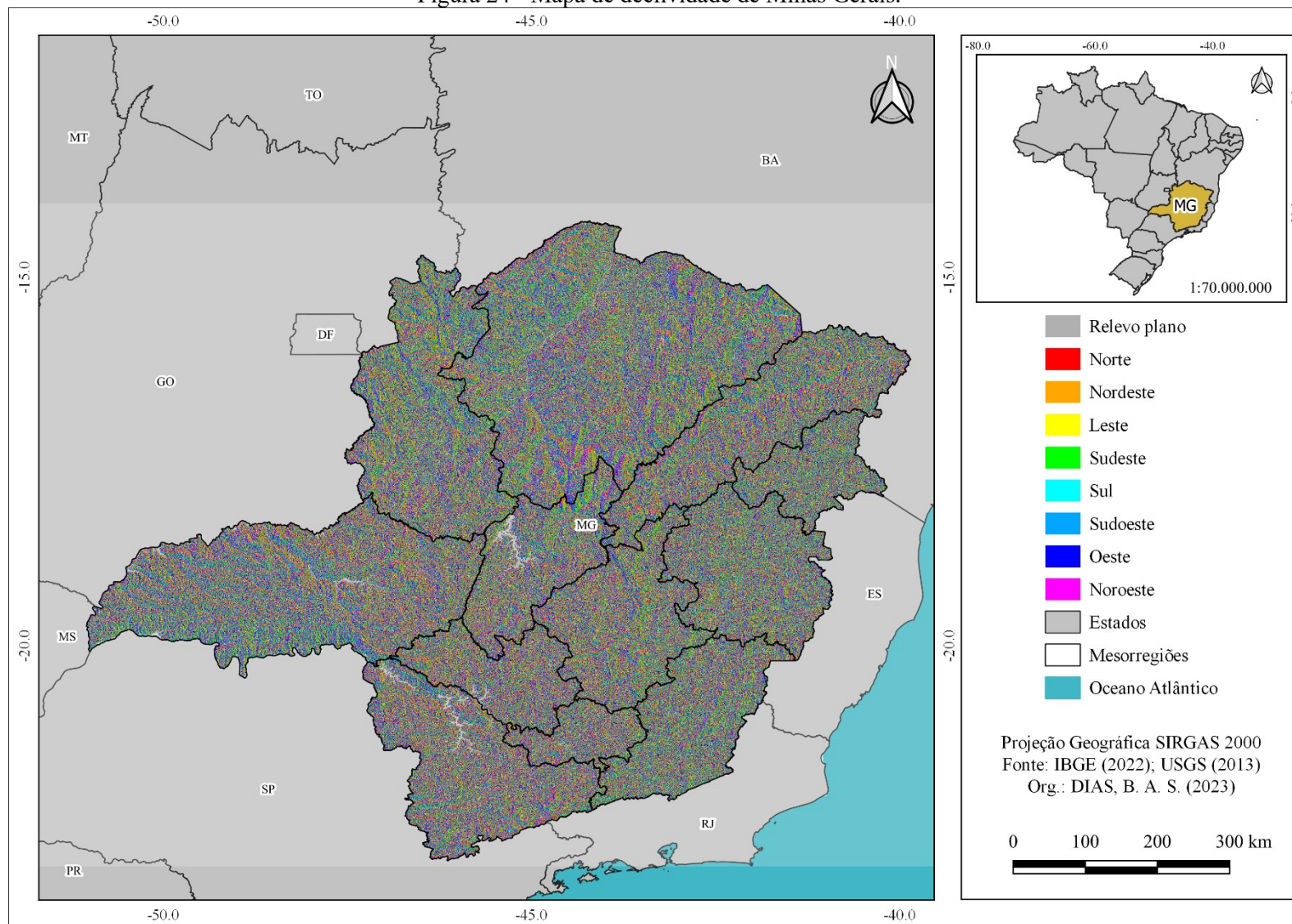
Tabela 14 - Classificação atribuída à categoria de fragilidade para a orientação das encostas

<b>Classes</b>	<b>Peso Fragilidade</b>	<b>Hierarquia de Fragilidade</b>
Sudeste, Sul, Sudoeste, Plano	1	Muito baixa
Leste	2	Baixa
Nordeste	3	Média
Noroeste e Oeste	4	Alta
Norte	5	Muito Alta

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).



Figura 24 - Mapa de declividade de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2022) e USGS (2013)

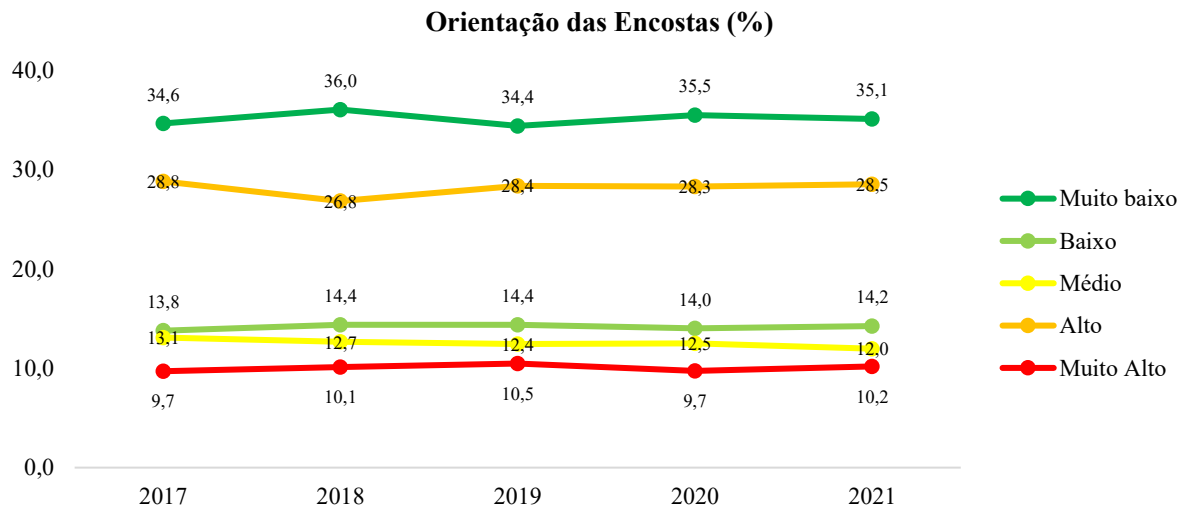
Para a variável orientação das encostas, percebe-se que predominou a classe muito baixa, sendo que o percentual variou pouco no decorrer dos anos (Gráfico 8), o que representa um efeito nulo sobre a taxa de secagem do material combustível, relacionado à incidência da radiação solar. Entretanto, há uma necessidade de cuidados em relação as encostas do norte (N), noroeste (NW) e oeste (W), pois juntas somam-se 16.827 focos registrados (Tabela 15), isso significa que, essas áreas onde houve maiores ocorrências das queimadas e incêndios receberam iluminação na hora mais quente do dia, resultando na secagem do material combustível. Quanto ao percentual de focos não houve grandes alterações no decorrer do período analisado, predominando o risco muito baixo e alto.

Tabela 15 - Número de focos por classe de risco de acordo com a variável orientação das encostas.

Orientação das Encostas	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Muito Baixo	2.904	1.667	3.438	3.099	4.249	15.357
Baixo	1.155	665	1.436	1.225	1.724	6.205
Médio	1.097	586	1.242	1.093	1.449	5.467
Alto	2.414	1.241	2.836	2.471	3.454	12.416
Muito Alto	813	468	1.047	849	1.234	4.411
<b>TOTAL</b>	<b>8.383</b>	<b>4.627</b>	<b>9.999</b>	<b>8.737</b>	<b>12.110</b>	<b>43.856</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Gráfico 8 - Percentual de focos para as classes de risco da orientação das encostas.



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

### 3.2.9 Densidade de Kernel dos focos de queimadas e incêndios em Minas Gerais

O KDE (*Kernel Density Estimation*) é usado para converter registros históricos de incêndios e queimadas em superfícies de densidade de ocorrência contínua, definindo a distribuição espacial em diferentes escalas, extensão ou representação de risco, de modo a identificar as áreas impactadas e estimar a densidade do padrão de distribuição dos focos a partir da interpolação dos dados.

As estimativas de densidade Kernel estão intimamente relacionadas com os histogramas. O histograma é uma estrutura altamente subjetiva, pois sua forma depende da escolha subjetiva do número (ou larguras) dos intervalos de classe para os quais o intervalo de uma amostra é dividido, e da escolha do ponto inicial (WEGLARCZYK, 2018).

Segundo Weglarczyk (2018), entre as desvantagens dos histogramas, estão: o *data binning*, que deprava os dados de sua localização individual, substituindo suas localizações por uma localização de bin (intervalo). Isso faz com que a forma do histograma se torne descontínua e plana em cada caixa. Enquanto a estimativa de Kernel, também denominada Parzen-Rosenblatt, devido aos nomes de Emanuel Parzen e Murray Rosenblatt, criadores da técnica há mais de meio século, não apresenta essas desvantagens do histograma; pelo contrário, a estimativa de Kernel é um método estatístico não paramétrico cuja função é aplicada aos dados para suavizar sua distribuição. Assim, depende apenas da relação espacial entre os elementos da amostra. Em mapeamentos de ocorrência de incêndios e queimadas, vários estudos tiveram êxito na sua utilização: Nhongo *et al.* (2019), Alves *et al.* (2022); Dias *et al.* (2023) e Ma *et al.* (2022).

A densidade de Kernel é um método simplificado (Equação 1) e uma ferramenta útil para determinar intensidade espacial de um processo pontual (MA *et. al.*; 2022). O princípio da estimação é atribuir o maior peso à observação que estiver mais próxima de  $x$ , ao invés de dar o mesmo peso a todas as observações.

Equação 1

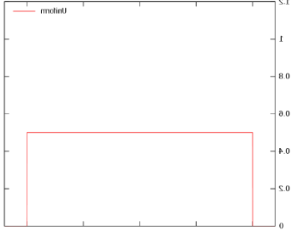
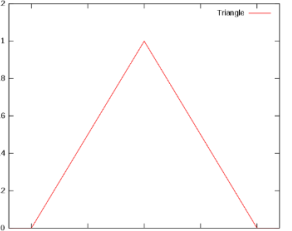
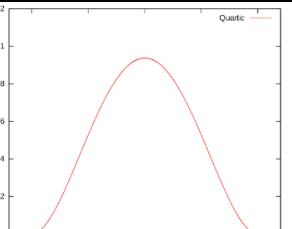
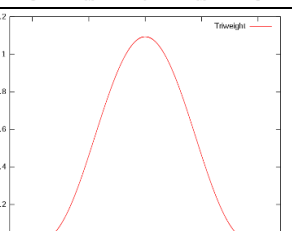
$$\hat{f}(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^n K \frac{x - X_i}{h} \quad (1)$$

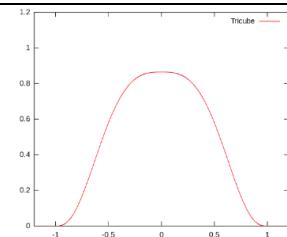
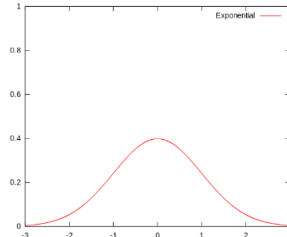
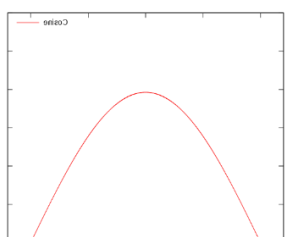
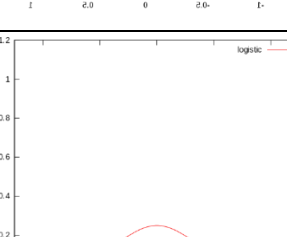
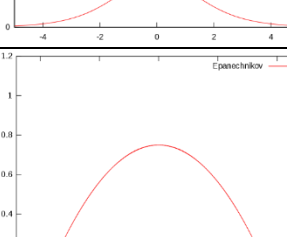
Em que:  $N$  é o número de pontos ou amostras (número total de focos de calor),  $h$  é o parâmetro de suavização chamado largura da banda ou o raio de busca do Kernel,  $K$  é a função kernel corretamente escolhida,  $x$  é o vetor de coordenada que representa a localização do ponto

estimado; e  $X_i$  é o vetor da  $i$ ésima coordenada que representa cada ponto observado em relação ao estimado.

O estimador de Kernel identifica visualmente as chamadas áreas quentes ou *hotspots*. A técnica resulta de dois parâmetros básicos: o raio de busca e a função de estimação. O primeiro define uma vizinhança de pontos para estimar o valor em um ponto, indicando quantos eventos contribuem para a estimativa da função intensidade, buscando definir de forma mais precisa o raio mais adequado para o conjunto de dados a ser analisado, enquanto a função de estimação ( $K$ ) trata-se das propriedades para suavizar o fenômeno, e é dada em função da distância euclidiana entre o ponto localizado e o evento observado (CÂMARA e CARVALHO, 2004). A função de estimação pode ser definida conforme o trabalho a ser desenvolvido, podendo ser: quártica, triangular, uniforme, Epanechnikov, Gaussiana, triweight, cosine e logística, de acordo o Quadro 3, especificado a seguir:

Quadro 3 - Funções de estimação de Kernel

Kernel	Equação $K(u) =$	Diagrama
<b>Uniforme</b>	$K(u) = \frac{1}{2}$ $ u  \leq 1$	
<b>Triangular</b>	$K(u) = (1 -  u )$ $ u  \leq 1$	
<b>Quártica</b>	$K(u) = \frac{15}{16} (1 - u^2)^2$ $ u  \leq 1$	
<b>Triweight</b>	$K(u) = \frac{35}{32} (1 - u^2)^3$ $ u  \leq 1$	

<b>Tricúbico</b>	$K(u) = \frac{70}{81} (1 - u^3)^3$ $ u  \leq 1$	
<b>Gaussiana</b>	$K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2}$	
<b>Cosseno</b>	$K(u) = \frac{\pi}{4} \cos\left(\frac{\pi}{2}u\right)$ $ u  \leq 1$	
<b>Logística</b>	$K(u) = \frac{1}{e^u + 2 + e^{-u}}$	
<b>Epanechnikov</b>	$K(u) = \frac{3}{4} (1 - u^2)$ $ u  \leq 1$	

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Com o arquivo de pontos contendo as informações dos focos de calor carregados no QGIS, e para cada ano estudado, o *shapefile* dos focos de calor encontra-se na Projeção Cônica de Lambert. Por meio do Menu Vetor, utilizou-se a ferramenta Matriz de distância. Esse algoritmo cria uma tabela contendo uma matriz de distância, com as distâncias entre todos os pontos em uma camada de pontos. O tipo escolhido foi a matriz contendo a média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Para cada ponto de foco de calor foi gerado a média, o desvio padrão, a distância mínima e a distância máxima; entretanto, houve a necessidade de obter apenas um valor para todo o

conjunto de dados anual. Para isso, o *shapefile* foi exportado para o formato *.xlsx* e aberto no *Microsoft Office Excel*, onde calculou-se a média da distância média e a média do desvio padrão, como exemplificado na Tabela 16, para o ano de 2017:

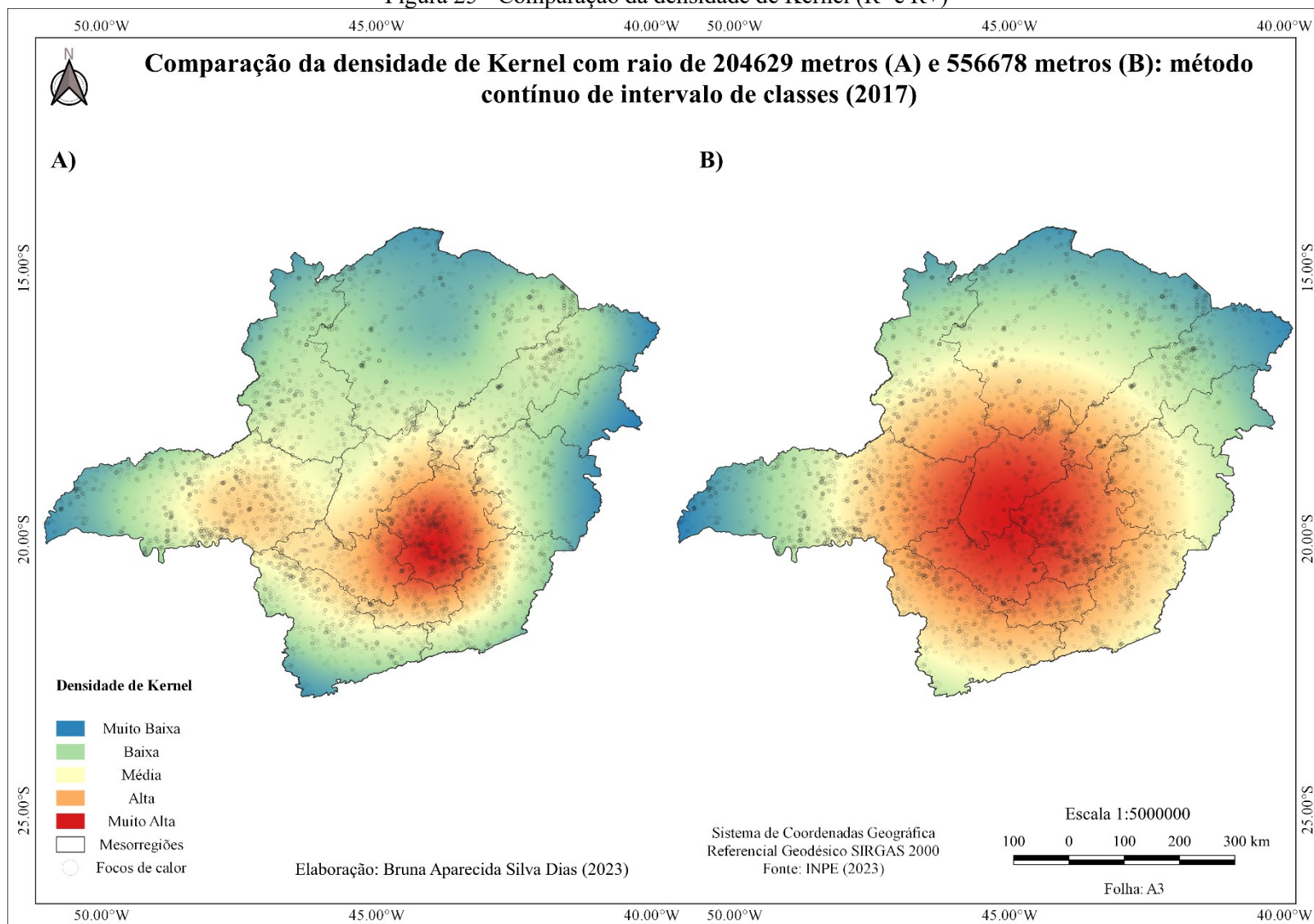
Tabela 16 - Exemplo do arquivo gerado pela Matriz de Distância no formato *xlsx*

ID	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	381.249,95	171.172,68	1.563,93	845.321,10
2	380.163,10	171.037,00	958,12	844.564,84
3	380.714,40	171.293,59	958,12	845.513,05
...	...	...	...	...
Pn	$\bar{x}$	$\sigma_n$	Minn	Máxn
	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>R-</b>	<b>R+</b>
	<b>380.653,97</b>	<b>176.024,03</b>	<b>204.629,94</b>	<b>556.678,01</b>

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Para os 8383 focos de calor identificados em 2017 no estado de Minas Gerais, a média da distância foi de 380653,97 metros e a média do desvio padrão de 176024,03 metros. Portanto, testando o Raio (R) como a média da distância média, mais a média do desvio padrão, temos: (R+)  $380653,97 + 176024,03 = 556678,01$  e a subtração: (R-)  $380653,97 - 176024,03 = 204629,94$ . Na Figura 25, podemos comparar ambos os valores da média. Observa-se que o menor valor teve uma melhor representatividade dos pontos, sem gerar suavização exagerada; em contrapartida, o maior valor suavizou muito as classes, podendo causar interpretações equivocadas da distribuição das incidências de fogo no estado. Com base no melhor resultado apresentado, utilizou-se a menor distância (R-) obtida por meio da média da distância média, subtraída pela média do desvio padrão.

Figura 25 - Comparação da densidade de Kernel (R- e R+)



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 3.2.10 *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

O *Analytic Hierarchy Process (AHP)* aborda a tomada de decisão organizando os componentes importantes de um problema em uma estrutura hierárquica, como uma árvore de decisão. Deste modo, acredita-se que para decisões complexas normalmente precisa-se de uma análise multicritério baseado em algumas premissas, como: obter respostas às perguntas enfrentadas por um decisor em um processo de decisão; tornar transparente todo o potencial decisão; aumentar a coerência entre a evolução de um processo de decisão, os objetivos, e o sistema de valor do processo (GONÇALVES *et al.*, 2003).

De modo geral, a ideia do método AHP é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. Para Vieira (2006), o método baseia-se em três princípios: construção de hierarquias, na qual o critério de mais alto nível é decomposto a níveis mais detalhados; definição de prioridades: tais prioridades são definidas a partir de comparações par a par dos elementos, à luz de determinado critério; e consistência lógica: o método permite, por meio da proposição de índices, avaliar a consistência da definição de prioridades, ou seja, é capaz de verificar a consistência dos julgamentos.

Os métodos tradicionais para avaliar o risco de queimadas e incêndios são dispendiosos, morosos e impreciso, enquanto, os sistemas de informação geográfica (SIG) e os sistemas de detecção remota identificam múltiplas variáveis, fornecem análises rápidas, baratas e altamente precisas. A combinação do SIG e das técnicas de análise de decisão de critérios múltiplos torna-se um método eficaz para mapear o risco de queimadas e incêndios, devido à complexidade e a quantidade de fatores considerados na análise.

Na literatura, alguns métodos de análise multicritérios foram propostos em análises de risco a queimadas e incêndios. Contudo, os fatores selecionados para análise podem ser diferentes para cada trabalho, por exemplo: Lamat *et al.*, (2021) utilizou os parâmetros de densidade populacional, altitude, declive, aspecto, temperatura, precipitação, velocidade do vento e uso/cobertura do solo para mapear zonas de risco de incêndio florestal na Índia, o estudo recomenda a utilização do método AHP inclusive para outras regiões tropicais para prever os riscos de incêndios em larga escala.

Sivrikaya e Küçük (2022) utilizou 16 critérios, subdivididos em 4 grupos: estrutura florestal (composição de espécies florestais, estágio de desenvolvimento e fechamento da coroa do suporte); topografia (Aspecto, Declive, Elevação, Índice de umidade topográfica); ambiente (Distância até o assentamento, Distância para áreas agrícolas, Distância até a estrada, Distância até o rio, Densidade populacional) e clima (Temperatura, Precipitação, Velocidade do vento,



Radiação solar). Com esses critérios, a precisão do mapa foi de 77%, demonstrando um resultado consistente e confiável.

Abdo *et al.* (2022) empregaram 13 fatores determinantes: inclinação, aspecto, curvatura, elevação, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI), Índice de Umidade Topográfica (TWI), precipitação, temperatura, velocidade do vento, TWI e distância até assentamentos, rios e estradas. O método AHP obteve resultados que fornecem perspectivas espaciais construtivas para a adoção de estratégias de gestão florestal.

No Brasil, estados com menores extensões territoriais tiveram os mapeamentos de risco de incêndios elaborados, Curty (2023) empregando o uso e cobertura da terra, altitude, declividade, aspecto, proximidade de estradas/rodovias, deficiência hídrica, precipitação pluvial e temperatura, no Espírito Santo; e Silva *et al.*, (2019) utilizando os critérios de declividade, altitude e orientação das encostas, dados de uso e ocupação do solo e déficit hídrico, temperatura e precipitação para o estado do Rio de Janeiro.

O fator que influenciou a escolha do método AHP para a análise de risco à queimada e incêndios em Minas Gerais é o número de aplicações do mesmo na área ambiental, por sua adequação aos objetivos de nossa pesquisa. A possibilidade de estruturar o problema em níveis de hierarquia juntamente com o teste de consistência é um aspecto importante, pois precisa-se considerar possíveis critérios de decisão e selecioná-los de acordo com a relação ao objetivo da decisão. Associados a outras características, como a falta de estudos suficientes sobre o mapeamento de risco a queimadas e incêndios com AHP no Brasil, faz com que essa pesquisa preencha essa lacuna.

Os resultados poderão ajudar os bombeiros no combate aos incêndios, e os gestores públicos a tomarem as precauções necessárias para evitar que os incêndios ocorram ou se propague rapidamente. Nos últimos anos, as geotecnologias têm utilizado as tecnologias de tomada de decisão multicritério atribuindo pesos às camadas temáticas. Essas técnicas contribuem efetivamente na estrutura, adequação e precisão na tomada de decisão.

Além disso, por serem cálculos matemáticos simples e de fácil compreensão, isso torna a técnica ideal para o emprego neste trabalho, além de apresentar consistência, lógica, transparência e facilidade de uso. Dentre suas desvantagens, esses cálculos estão no limite máximo aconselhado de elementos a serem comparados, além da necessidade de ter obrigatoriamente duas alternativas para aplicação do método, e o fato de que os pesos obtidos da comparação podem não refletir as reais preferências das pessoas (LINKOV e STEEVENS, 2008; BOUCHER *et al.*, 1997; VILAS, 2008; AYALA e FRANK, 2013).

O AHP é uma das técnicas de modelo analítico de decisão mais comuns e atuais, usada para classificar a significância dos oito fatores de risco a queimadas e incêndios utilizados neste estudo. O AHP foi criado por Thomas L. Saaty em 1971. Esse método consiste na elaboração de um modelo que simplifica opiniões complexas para comparações de séries pareadas, ou seja, os diferentes fatores são comparados dois-a-dois e um valor de importância relativa (Quadro 4) é atribuído ao relacionamento entre eles, conforme uma escala pré-definida (FALCÃO, 2013).

Quadro 4 - Escala Fundamental de Saaty

Grau de importância	Definição	Descrição
1	Importância igual	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância Moderada	A experiência e o julgamento favorece moderadamente uma atividade em relação à outra.
5	Importância Forte	A experiência e o julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância Muito Forte	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra e sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância Extrema	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Números racionais	Razões resultantes da escala.	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Após a escolha dos critérios, o próximo passo foi a comparação dos julgamentos de importância para cada elemento realizado com base na Tabela anterior, a Matriz de Comparação de Julgamentos consiste em atribuir a cada célula da tabela um valor de importância. Os elementos são comparados a partir de uma matriz quadrada, na qual a ordem é igual ao número de elementos subordinados ao nó imediatamente superior (Quadro 5). Os elementos subordinados são dispostos na mesma ordem, formando as linhas e as colunas da matriz (RIBEIRO e ALVES, 2016). Para auxiliar nos cálculos de prioridades, foi utilizada a calculadora AHP por meio do *site* <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?lang=pt> (GOEPEL, 2018). O resultado é apresentado na Tabela 17.

Quadro 5 - Estrutura de uma matriz quadrada (n x n) de critérios

<b>C<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	...	<b>a<sub>n</sub></b>
<b>a<sub>1</sub></b>	1	X <sub>12</sub>	...	X <sub>1n</sub>
<b>a<sub>2</sub></b>	1/ X <sub>12</sub>	1	...	X <sub>2n</sub>
...	...	...	...	...
<b>a<sub>n</sub></b>	1/ X <sub>n1</sub>	1/ X <sub>n2</sub>	...	1

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Tabela 17 - Matriz de Comparação de Julgamentos e os Pesos

	Precipitação	Uso Terra	Altitude	Temp.	Decliv.	Aspecto	Rodovias	Dens. Dem.	Pesos
Precipitação	1,00	2,00	2,00	2,00	7,00	6,00	8,00	7,00	0,239
Uso da Terra	0,50	1,00	2,00	2,00	6,00	8,00	8,00	7,00	0,235
Altitude	0,50	0,50	1,00	1,00	5,00	7,00	6,00	6,00	0,184
Temperatura	0,50	0,50	1,00	1,00	4,00	6,00	6,00	6,00	0,170
Declividade	0,14	0,17	0,20	0,25	1,00	2,00	2,00	7,00	0,087
Orientação das encostas	0,17	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	1,00	2,00	0,035
Rodovias	0,13	0,13	0,17	0,17	0,50	1,00	1,00	1,00	0,028
Densidade Demográfica	0,14	0,14	0,17	0,17	0,14	0,50	1,00	1,00	0,022

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Na análise multicritério, os elementos da matriz, via de regra, apresentam unidades diferentes, de acordo com Saaty (1991), sendo necessário realizar a normalização dos critérios, ou seja, calcula-se o somatório de cada coluna da matriz de julgamentos e a partir desse dado cria-se uma nova matriz normalizada, onde o valor da somatória da linha é dividido pelo valor total de sua respectiva coluna. Em seguida, é calculada a prioridade a partir da média aritmética dos elementos de cada linha da matriz normalizada (Tabela anterior).

O Índice de Consistência (IC) é definido pela equação 2:

Equação 2

$$IC = \frac{(\lambda_{m\acute{a}x} - n)}{n - 1} \quad (2)$$

Resultando em IC = 0,099.

O autovalor ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ) da matriz de decisão é obtido através da média dos elementos, cujo valor resultante é igual ou aproximado ao número de linhas ou colunas ( $n$ ). Portanto, quanto mais próximo  $\lambda_{m\acute{a}x}$  for de  $n$ , melhor será o resultado. Para encontrar o valor de  $\lambda_{m\acute{a}x}$  é utilizada a seguinte equação (Equação 3):

Equação 3

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n vi \frac{Aw_i}{w_i} \quad (3)$$

Onde:  $w_i$  corresponde aos pesos calculados e  $Aw_i$  é a matriz resultante do produto da Matriz de Comparação Pareada pela matriz dos pesos calculados ( $w_i$ ). Observando-se os valores das somas das colunas, multiplicadas pelo peso (Tabela 17), o resultado do autovalor pode ser expresso como  $\lambda_{m\acute{a}x} = 8,6933$ . A Razão da Consistência (RC) indica a probabilidade de as comparações terem sido geradas aleatoriamente, portanto, descreve a qualidade dos

julgamentos feitos na matriz, definida através do IC (0,099) e do *Random Index* (RI) já calculado pelo laboratório Oak Ridge para matrizes recíprocas quadradas de ordem  $n$ , a equação 4 representa o cálculo da RC:

Equação 4

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (4)$$

Tabela 18 - Índices de consistência aleatória.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991)

Neste trabalho, o RC obteve um valor de 0,071. Sendo assim, é aceitável os que os valores obtidos para os pesos dos fatores alcancem uma razão de consistência inferior a 0,1; caso contrário, é imprescindível uma nova reavaliação da ponderação.

A etapa final consistiu na álgebra dos mapas gerado para cada variável anterior, a fim de gerar o mapa de risco a incêndios e queimadas. Foi utilizada a calculadora raster no QGis, para cada ano do período escolhido, como mostrado na equação 5.

Equação 5

$$\text{Risco} = (P * 0,239) + (UT * 0,235) + (A * 0,184) + (T * 0,170) + (D * 0,087) + (OE * 0,035) + (R * 0,028) + (DD * 0,022) \quad (5)$$

Em que:

A = Coeficiente de risco da altitude

D = Coeficiente de risco da declividade

DD = Coeficiente de risco da densidade demográfica

OE = Coeficiente de risco da orientação das encostas

P = Coeficiente de risco da precipitação

R = Coeficiente de risco das rodovias

T = Coeficiente de risco da temperatura

UT = Coeficiente de risco do uso da terra

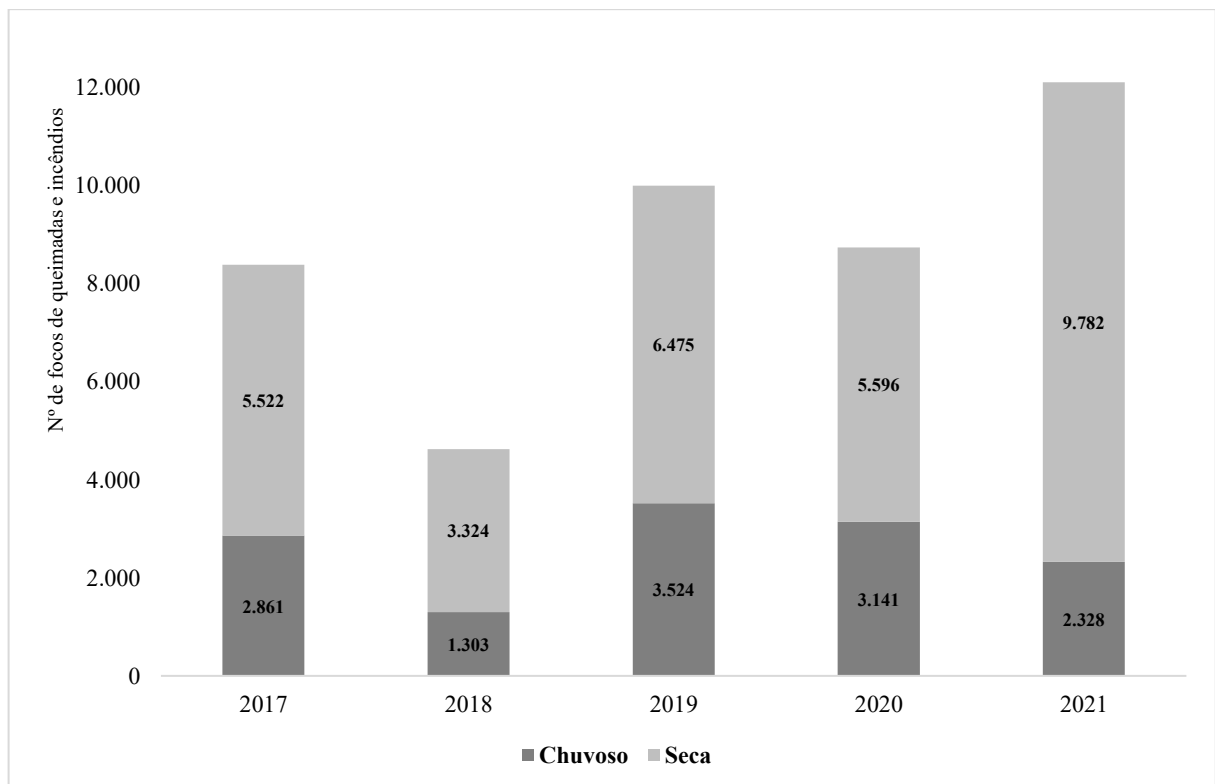
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação dos focos de queimadas e incêndios em Minas Gerais

Por meio da análise das informações obtidas no Programa Queimadas para o estado de Minas Gerais foi subdividido em período de seca (maio a setembro) e chuvoso (outubro a abril). Constata-se que no período da seca para todos os anos analisados, foi o período com a maior incidência de fogo, chegando a alcançar mais de 80% em 2021 do total de casos de focos.

Observou-se que após um ano com alto número de focos, no ano seguinte tem-se a queda (Gráfico 9). O gráfico mostra ainda que o ano de 2021 foi o que apresentou o maior índice de ocorrências, com 12.110, seguido do ano de 2019, com 9.999 registros, e com menor número de registros identificados na série analisada de 2018, com apenas 4.627 ocorrências.

Gráfico 9 - Focos de queimadas e incêndios detectados em Minas Gerais no período de seca e chuvoso (2017 a 2021)



Fonte: INPE (2023).  
Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

O estado totalizou 43.856 registros de focos de queimadas e incêndios entre os anos de 2017 e 2021. O total registrado no ano de 2021 corresponde a 27% do total de focos, enquanto os anos de 2017, 2019 e 2020 apresentaram valores bens próximos, 19,1%, 22,8%, 19,9%,

respectivamente, com exceção do ano de 2018, que apresentou o menor índice para os anos analisados, de 10,6%.

Estes dados revelam que Minas Gerais passa por um processo de queima principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro, que coincide com o período de seca. No entanto, vale ressaltar que a baixa precipitação, por si só, não explica o grande número de ocorrências, visto que, de acordo com o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema, 2011), 90% dos incêndios e queimadas são provocados, sobretudo, pelas ações antrópicas, cujas causas principais são: a) uso do fogo para fins agropastoris; b) fogueiras; c) incendiário; d) fumantes; e) linhas elétricas; f) linhas férreas; g) carroarias; h) velas; i) queima de lixo; i) causas acidentais; j) queimadas sem controle; e k) ampliação de áreas de pastagens, dentre outras.

Em termos econômicos, de acordo com a CNM, os setores da economia foram severamente afetados pelos incêndios e queimadas, sendo o setor agropecuário o mais atingido. Isso pode ser explicado, além das razões antrópicas, por fatores climáticos de cada região, como exemplo, a seca prolongada, que ocasiona na diminuição do rendimento das plantações e cultivos e redução das reservas de alimentos. A Tabela 19 mostra que em 2019 houve o maior prejuízo financeiro do período analisado, chegando a mais de 100 milhões de reais, atingindo principalmente os setores da pecuária, agricultura, instalações públicas danificadas/destruídas, e em 2018 tivemos a menor perda, com apenas 50 mil reais em prejuízos. Quando comparamos a Tabela 19 à tabela anterior, é possível assimilar que em 2018 houve o menor número de ocorrências e, conseqüentemente, menor prejuízo financeiro.

Tabela 19 - Prejuízos causados pelas queimadas e incêndios em Minas Gerais de 2017 a 2021 (R\$)

	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
<b>MG</b>	21.800	50.000	107.350.000	270.000	119.450	<b>107.811.250</b>

Fonte: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/ Confederação Nacional de Municípios (2021).

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

No Brasil, entre 2017 e 2021 foram contabilizados mais de 1,1 bilhão em prejuízos, e a União investiu, nesse período, apenas 298,8 milhões em recursos públicos para ações de fiscalização e monitoramento, prevenção e resposta a queimadas e incêndios. A Tabela 20 apresenta os recursos autorizados versus os recursos pagos, sendo verificado que a União deixou de pagar 109,7 milhões de reais. Além disso, apenas em 2018 a União pagou quase 100% do total autorizado.

Em contrapartida, 2021 foi o ano de maior incidência de registros de focos, e que teve a maior destinação de recursos (contratação e o treinamento de brigadistas, a realização de convênios com órgãos ambientais e a instituição de medidas de educação ambiental,

especialmente junto a agricultores que vivem nas bordas da floresta), porém, a quantia efetivamente paga pela União foi apenas 46%, e mais de 73,4 milhões de reais não foram utilizados (CNM, 2021).

Tabela 20 - Recursos autorizados x recursos pagos pela União no combate e prevenção de queimadas e incêndios (2017 a 2021)

	<b>Aprovado (R\$) milhões</b>	<b>Pago (R\$) milhões</b>	<b>% Autorizado</b>
<b>2017</b>	68,0	51,0	75
<b>2018</b>	60,9	59,9	98
<b>2019</b>	83,0	78,6	95
<b>2020</b>	60,3	46,4	77
<b>2021</b>	136,3	62,9	46
<b>TOTAL</b>	<b>408,5</b>	<b>298,8</b>	<b>73,1</b>

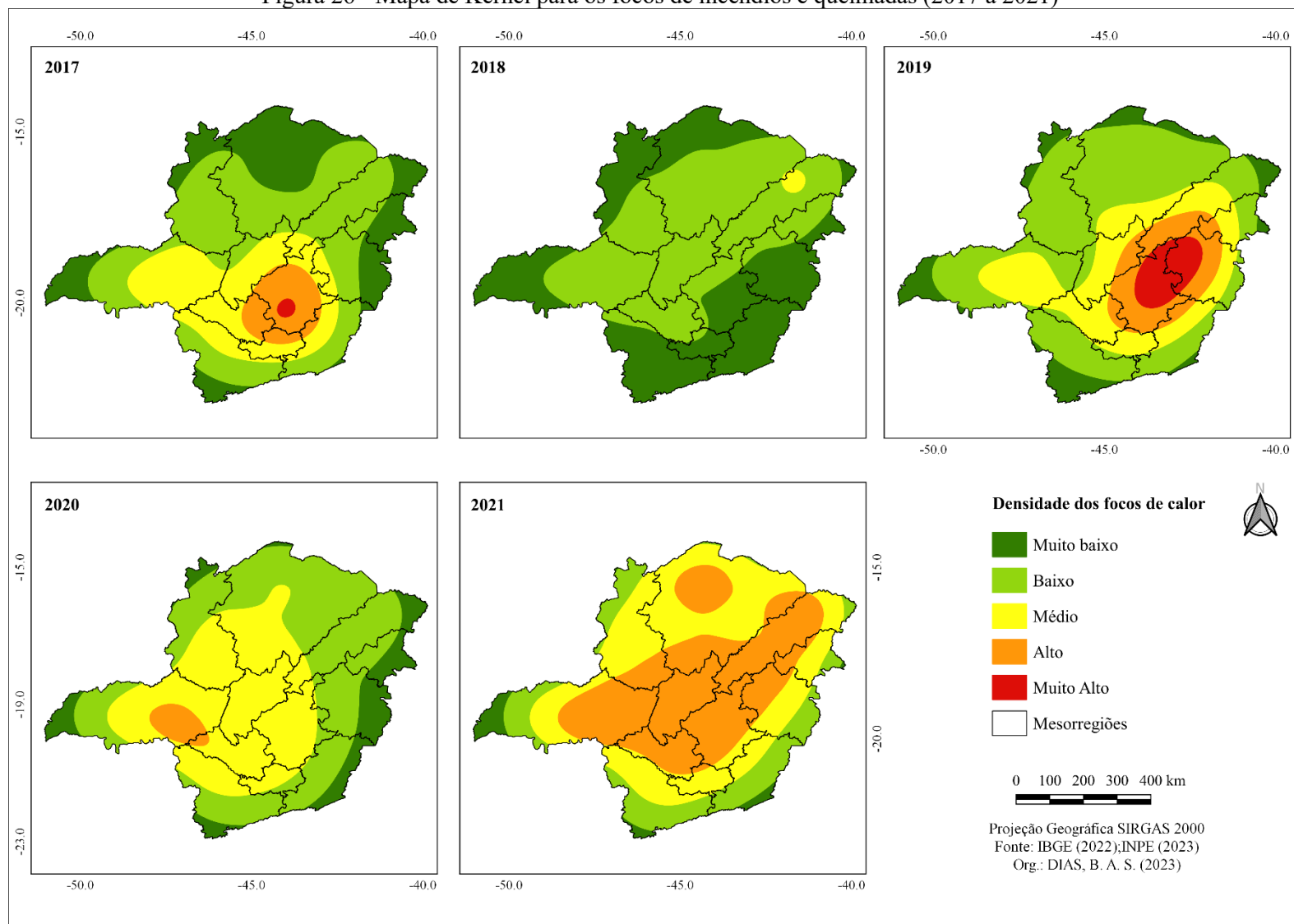
Fonte: Ministério do Meio ambiente/ Confederação Nacional de Municípios (2021).

Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Segundo a *United States Environmental Protection Agency* (EPA, 2022) o aumento da temporada de incêndios contribui nas mudanças climáticas, devido a fatores como: primaveras mais quentes; estações secas de verão mais longas; solos e vegetação mais secos; uso da terra; infestação de insetos em grande escala; disponibilidade de material combustível; e práticas de manejo, incluindo a supressão de incêndios, que aumentam a frequência e a intensidade do risco de incêndios, podendo prejudicar propriedades, meios de subsistência e saúde humana. É importante destacar que a estação seca, por exemplo, cria condições favoráveis para o uso e propagação do fogo, mas iniciar um incêndio florestal ou uma queimada é obra do homem, seja de forma deliberada ou acidental. Portanto, a forte influência da atividade antrópica provoca o aumento das ocorrências e das áreas queimadas.

Nyamadzawo *et al.* (2013), visando compreender as causas e os impactos socioeconômicos e ambientais dos incêndios na savana no Zimbabué, descobriram que os incêndios são causados principalmente por atividades humanas, cujos os impactos vão desde a diminuição da renda e dos meios de subsistência a perturbações do equilíbrio hidrológico, perda da biodiversidade e impactos psicossociais associados a fatalidades e luto familiar. Nielsen-Pincus *et al.* (2014) também examinaram o efeito de grandes incêndios no emprego em todos os setores no oeste dos EUA. O estudo concluiu que setores como lazer e hospitalidade e manufatureiro são mais afetados em municípios com baixo número de habitantes, enquanto setores de recursos naturais, mineração e emprego federal tiveram aumento.

Figura 26 - Mapa de Kernel para os focos de incêndios e queimadas (2017 a 2021)



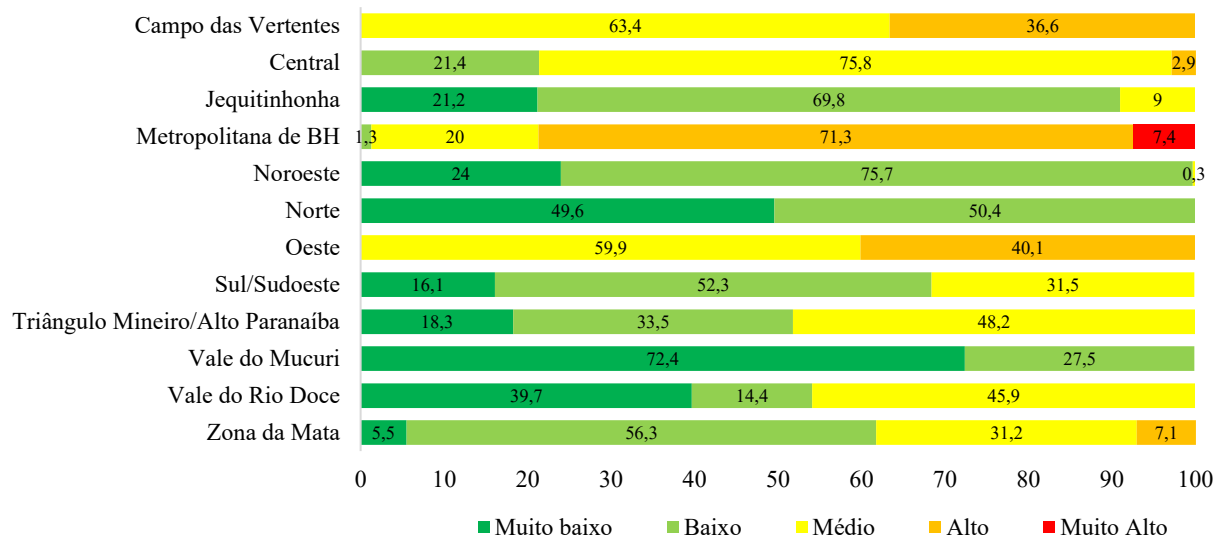
Fonte: Elaborado pela autora (2023) a partir de IBGE (2021) e INPE (2022).



Analisando a distribuição temporal dos focos de queimadas e incêndios em Minas Gerais no período de 2017 e 2021 por meio do satélite de referência AQUA-M-T resultantes da interpolação dos dados empregando a técnica de Kernel (Figura 26), verificou-se que os maiores índices de ocorrências estão localizados na porção central do estado.

Quando analisamos a Gráfico 10, com o percentual da área da mesorregião que concentra os graus de risco, observa-se que, em 2017, o *hotspot* da densidade concentrou-se na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, ou seja, trata-se da região de maior densidade populacional do estado. Dentre as classificações de risco, em 2017, a maior parte do estado foi identificado como áreas de baixo risco à ocorrência de incêndios e queimadas.

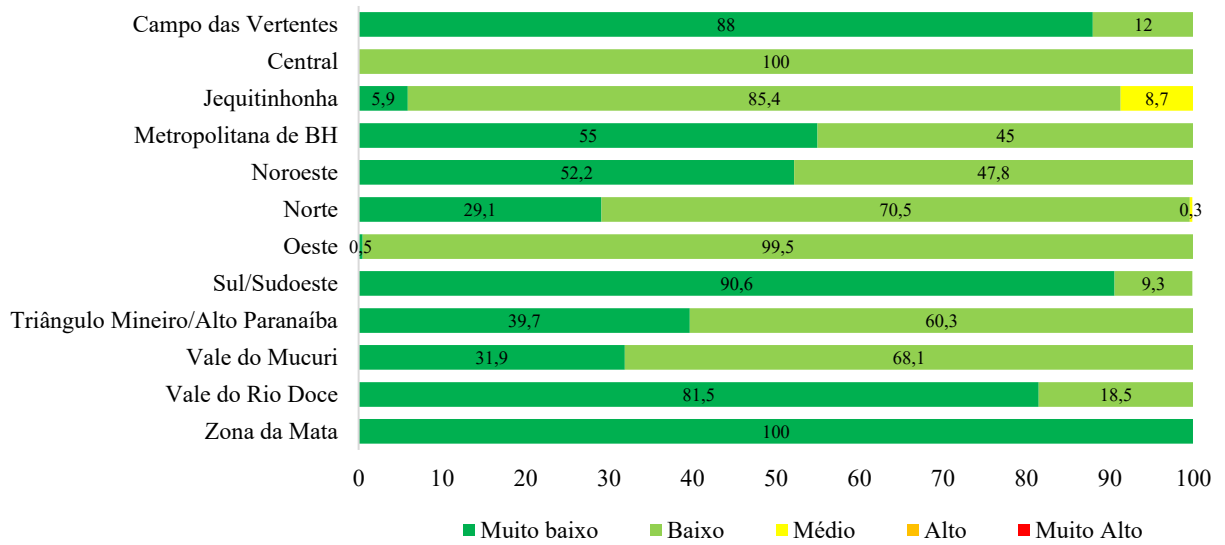
Gráfico 10 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2017)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Em 2018, a mesorregião do Vale do Jequitinhonha apresentou uma pequena área cuja concentração de focos foi a maior em todo estado, identificado como de médio risco à ocorrência de fogo. Não houve nenhuma área nas mesorregiões que apresentou risco alto e muito alto, ficando concentrado o percentual em áreas de muito baixa e baixa fragilidade (Gráfico 11).

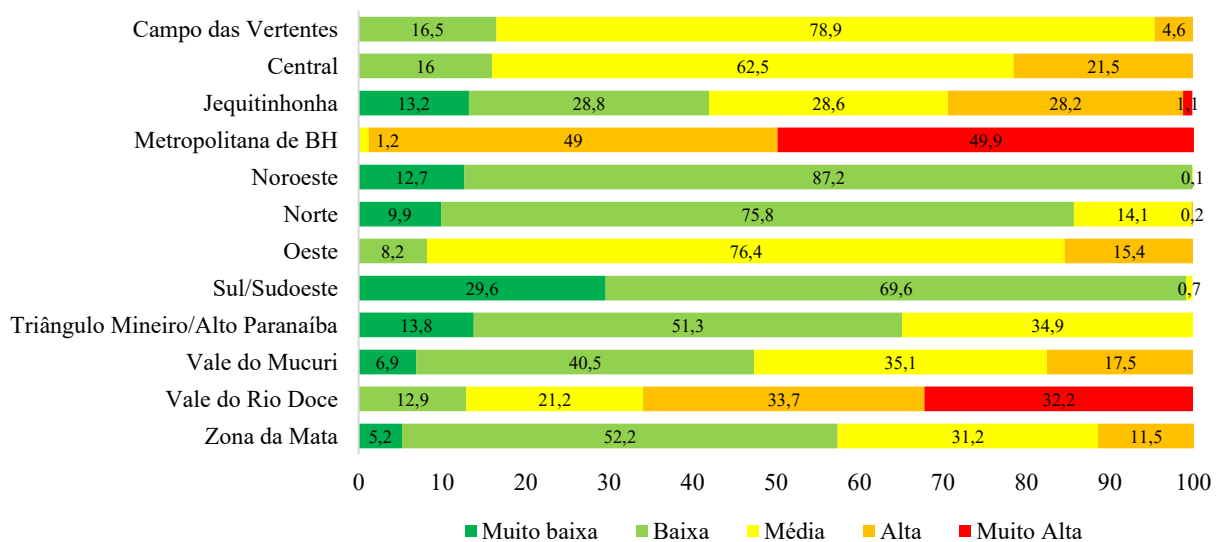
Gráfico 11 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2018)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Para 2019, novamente a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, seguida da mesorregião do Vale do Rio Doce, apresentaram as maiores densidade de focos e o risco muito alto de ocorrências, enquanto as regiões ao entorno e parte leste da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba foram identificadas como áreas de alto risco de incêndios e queimadas (Gráfico 12).

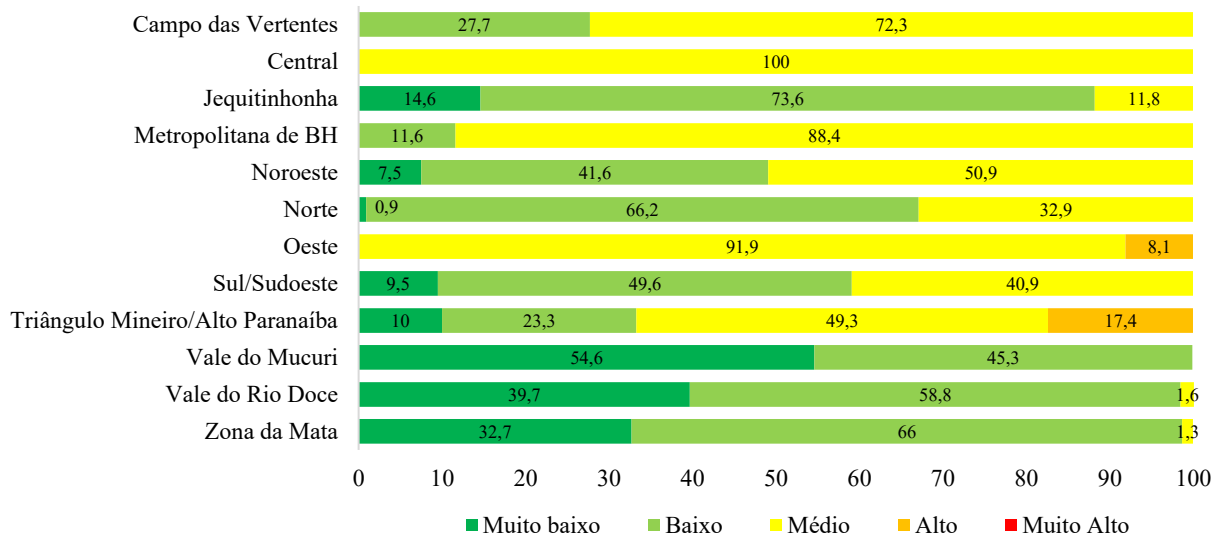
Gráfico 12 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2019)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

No ano de 2020 (Gráfico 13), semelhante em 2019, a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba registraram a maior concentração de queimadas e incêndios, área classificada como alto risco.

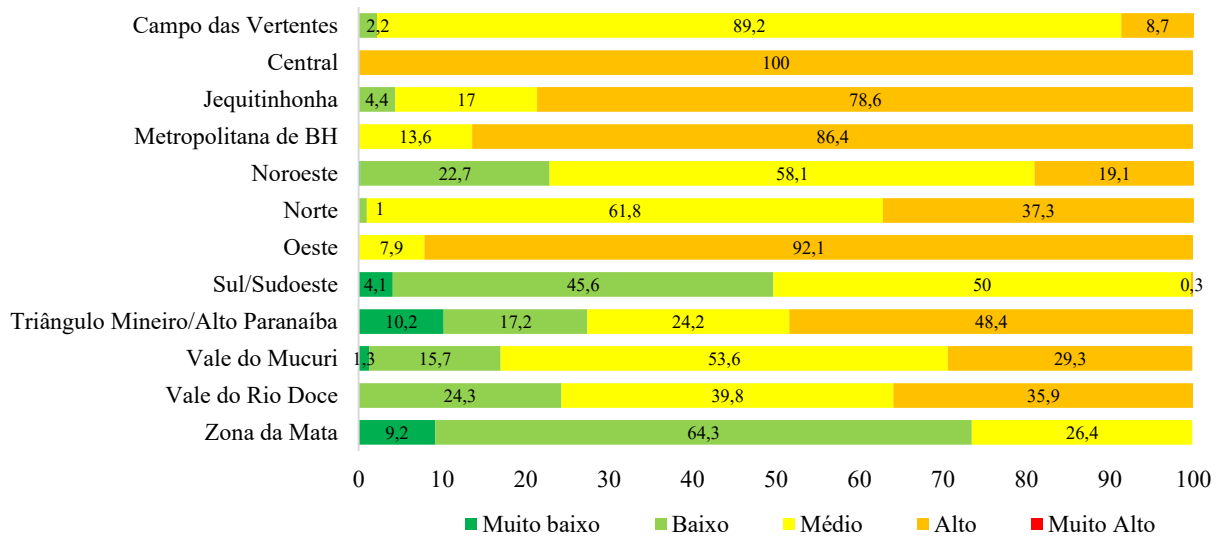
Gráfico 13 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2020)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Já em 2021 (Gráfico 14), parte da mesorregião do Norte de Minas e a porção central do estado apresentaram uma densidade alta, resultando numa área de risco maior quando comparado aos demais anos analisados. Isso se deve ao fato de ter sido o ano de maior número de focos.

Gráfico 14 - Percentual da área de risco para cada mesorregião de MG (2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

## **4.2 Avaliação do Risco a incêndios e queimadas em Minas Gerais**

A partir do trabalho desenvolvido e pela análise integrada de todos os fatores das variáveis espaciais consideradas na ignição e propagação de uma queimada e/ou incêndio florestal, é possível verificar os resultados através dos mapas de riscos para o período de seca e período chuvoso, tabelas e gráficos a seguir.

Analisando o mapa de risco de incêndios e queimadas envolvendo as variáveis propostas: declividade, orientação das encostas, densidade demográfica, rodovias, uso da terra, altitude, precipitação e temperatura, observa-se as seguintes considerações para cada mesorregião:

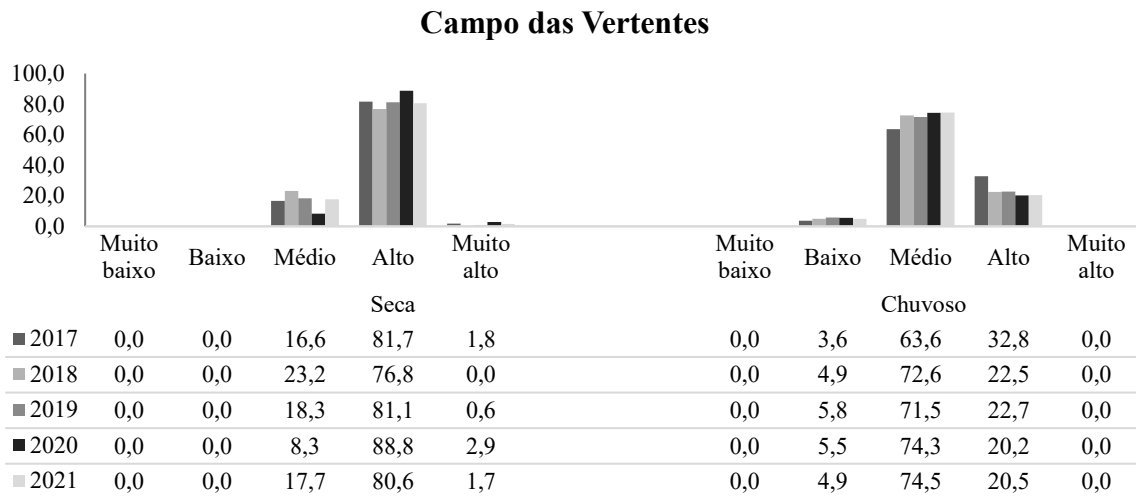
### **Campo das Vertentes**

A mesorregião Campo das Vertentes tem área de aproximadamente 12mil km<sup>2</sup>, formada por 36 municípios, divididos em três microrregiões: Lavras, Barbacena e São João Del Rei. A região pertencente ao bioma Mata Atlântica, destaca-se por fazer parte da Serra da Mantiqueira, região montanhosa, com altitudes variando de 567 a 1557m, com clima temperado úmido com inverno seco e verão de quente a moderado quente (Cwa e Cwb), campos nativos formados por vegetação rasteira. Destaca-se também pela produção de leite, uma das principais atividades econômicas da região.

No período de seca e chuvoso na região, observa-se no mapa da Figura 27 e no Gráfico 15, no período de seca não houve áreas identificadas de muito baixo risco, em contrapartida, nota-se a maior porção de área classificadas com o grau de risco alto, com o percentual chegando a 88,8% em 2020. Embora em 2020, não tenha sido o ano de maior incidência de focos (Gráfico 16), percebe-se que as variáveis tiveram maior relevância.

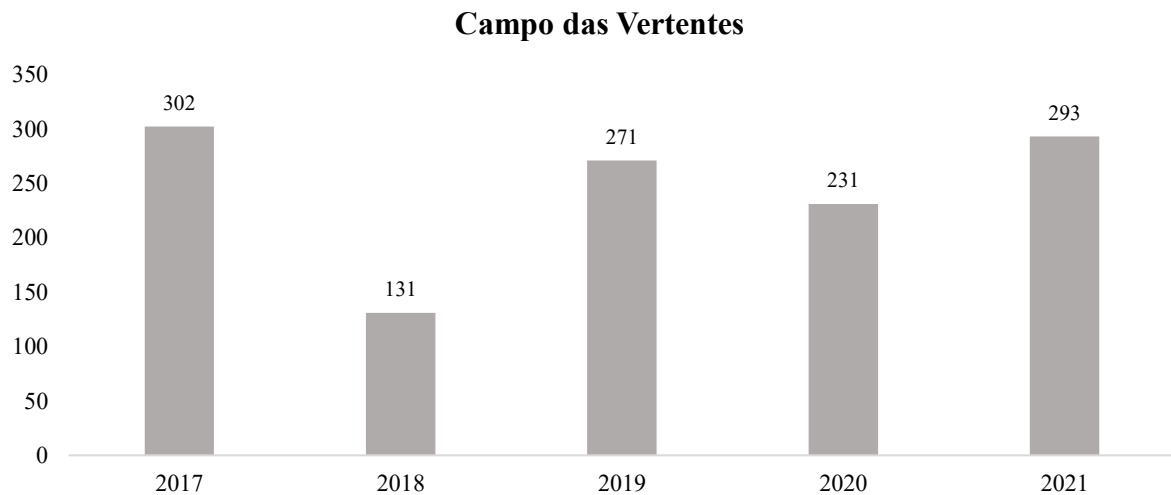
No período chuvoso, houve um pequeno aumento na classe de risco baixo para todos os anos analisados, principalmente em 2019 e 2020, com 5,8% e 5,5%, respectivamente. Verifica-se, a diminuição no percentual de risco alto, em quase 60% para todos os anos, fato este, que pode estar relacionado especialmente pela alta precipitação que pode chegar a mais de 1600mm, em contrapartida, há aumento no grau de risco médio, não ultrapassando os 33%.

Gráfico 15 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Campo das Vertentes (2017 a 2021)



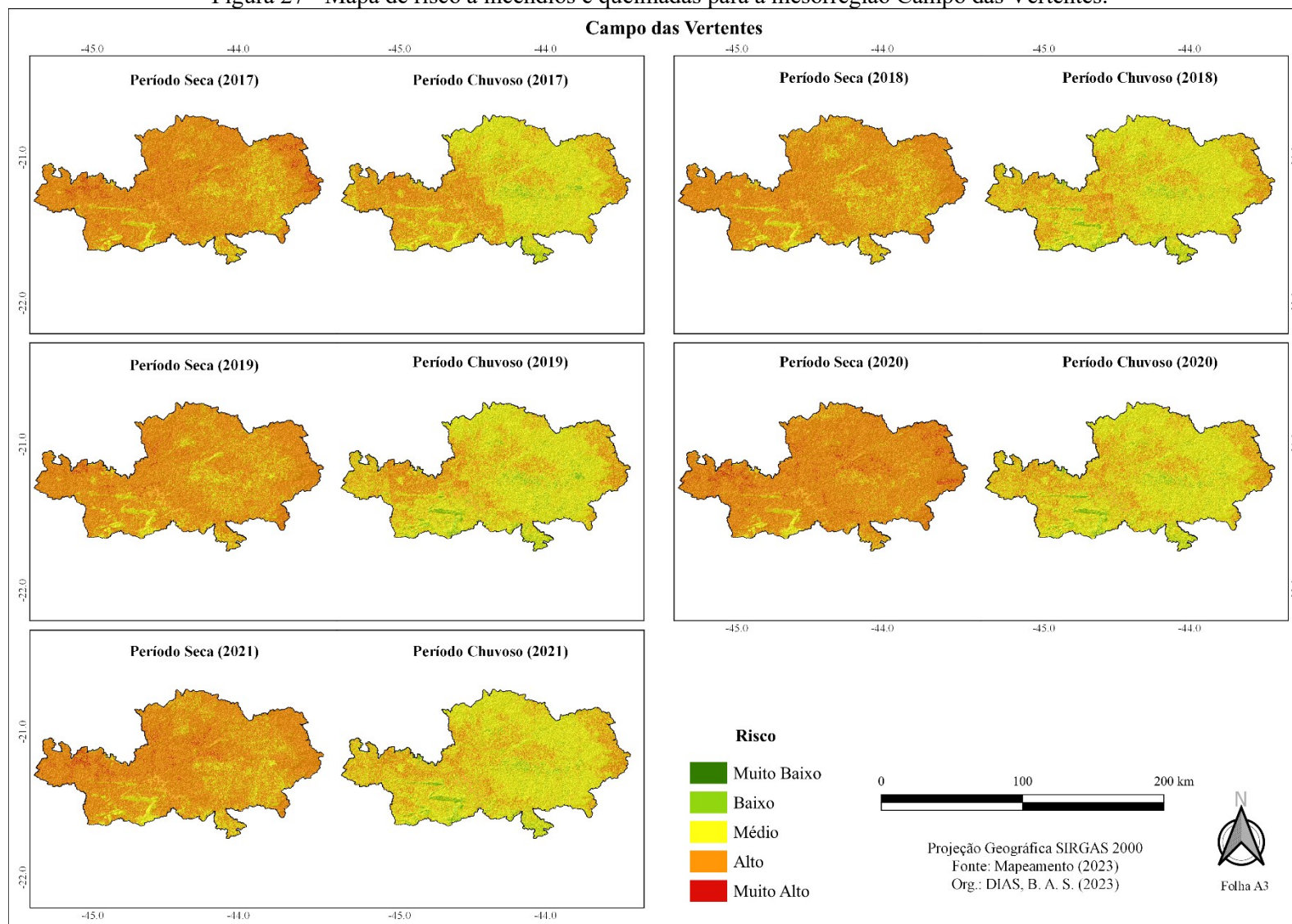
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 16 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Campo das Vertentes (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 27 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Campo das Vertentes.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

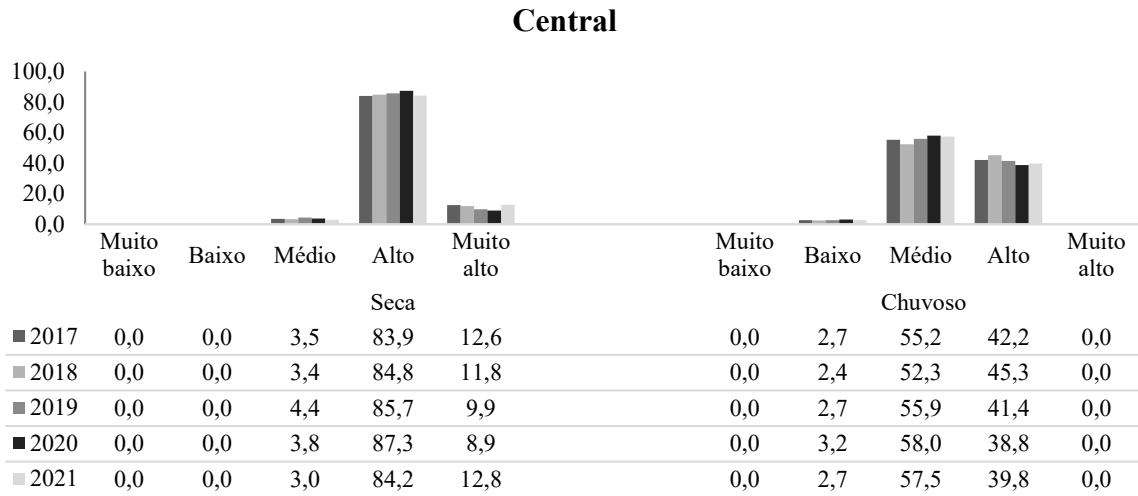
## Central

A mesorregião Central é composta por trinta municípios agrupados em três microrregiões: Bom Despacho, Curvelo e Três Marias, totalizam-se 31.751,9 km<sup>2</sup> em extensão territorial. Encontra-se em área do bioma Cerrado, sendo que sua vegetação se compõe de gramíneas, arbustos e árvores, abrange terras drenadas pelo Rio São Francisco, possui relevo de topografia suave e clima tropical de savana com estação seca de inverno (Aw) (PIMENTEL, 2020).

Analisando os resultados apresentados quanto ao risco de queimadas e incêndios, observa-se no Gráfico 17 e na Figura 28, que a mesorregião Central, no período de seca, a maior parte do município (de 83,9% a 87,3%) concentrou-se na classe alta de risco, seguido da classe de risco muito alto, que variou de 8,9% a 12,8%, com destaque para o ano de 2021, que atingiu o maior percentual nessa classe (12,8%), e também, o ano com maior número de ocorrências de focos registrados, totalizando 644 registros (Gráfico 18). Nas classes de risco baixo e muito baixo, não houve áreas identificadas, e a classe de médio risco, manteve-se abaixo de 5%.

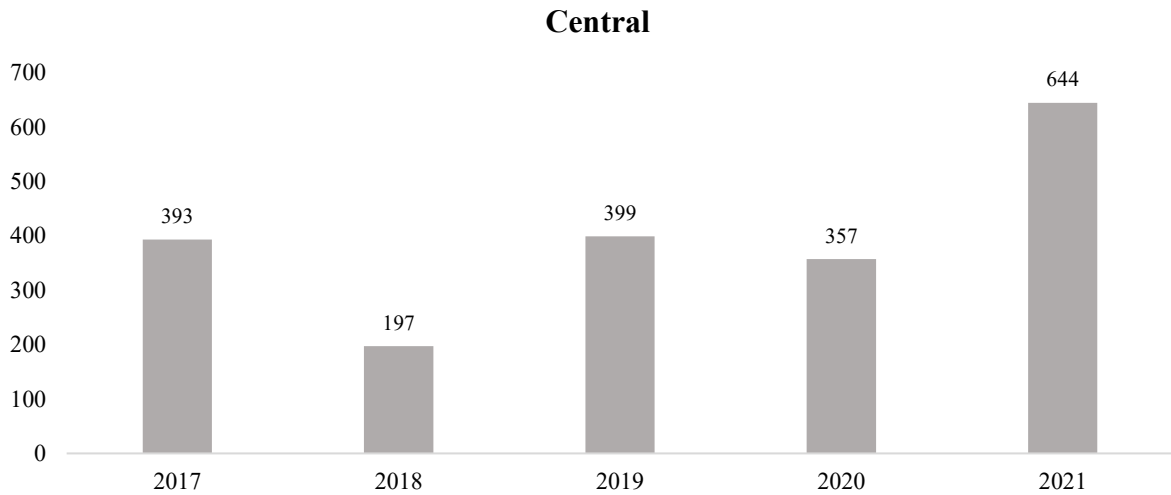
Já no período chuvoso, a mesorregião não apresentou nenhuma área nas classes extremas (muito baixo e muito alto), a maior parte concentrou-se no risco médio, com o maior percentual registrado em 2020 (58%) verificando o aumento considerável em relação ao período de seca. Por outro lado, o risco alto diminuiu, mas se manteve com alto percentual, chegando a 45,3% em 2018, embora, este ano tenha sido o ano com menor número de focos identificados, demonstrando que, as condições meteorológicas da área e as características ambientais favorecem o risco de médio a muito alto.

Gráfico 17 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Central (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

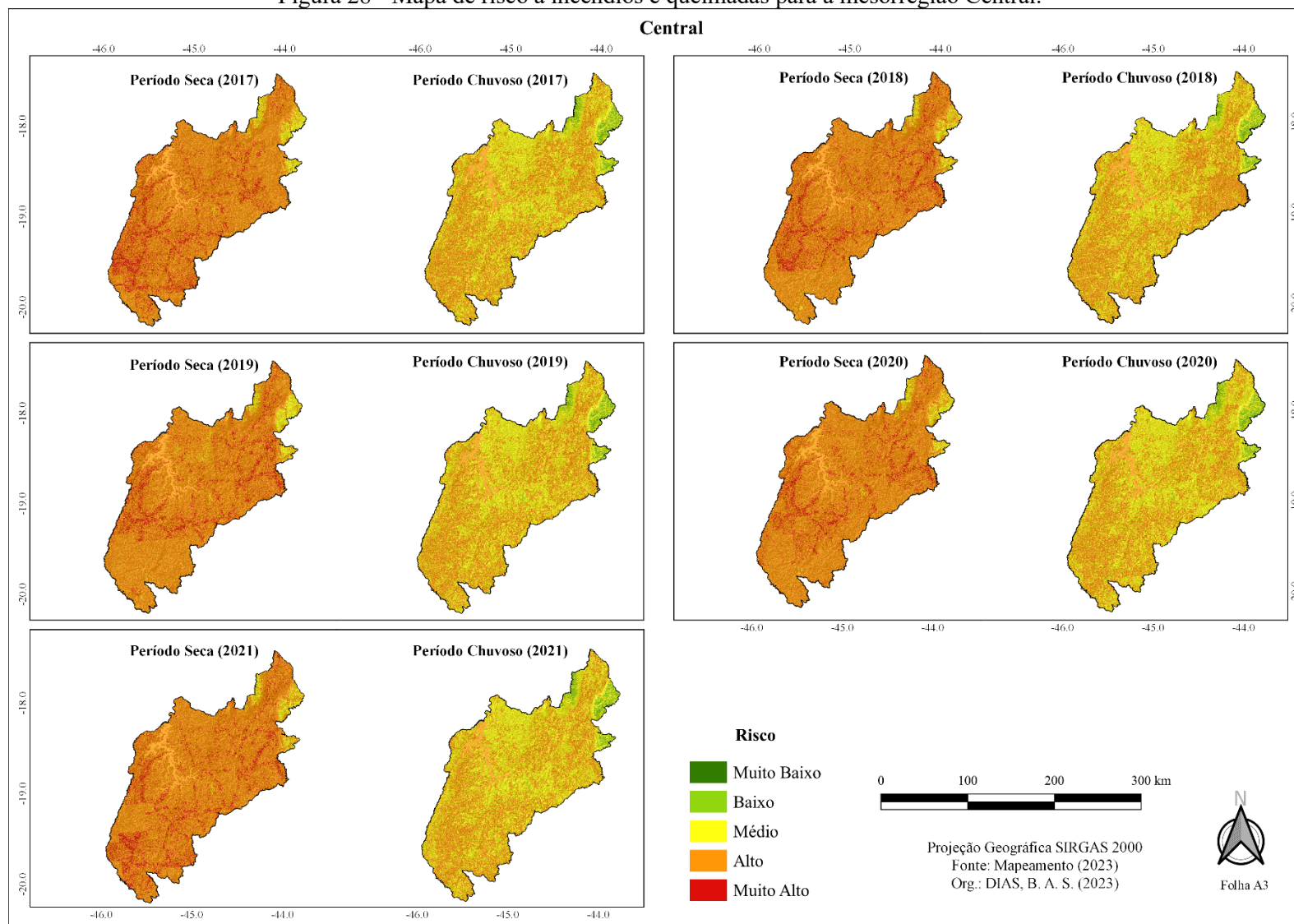
Gráfico 18 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Central (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)



Figura 28 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Central.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## **Jequitinhonha**

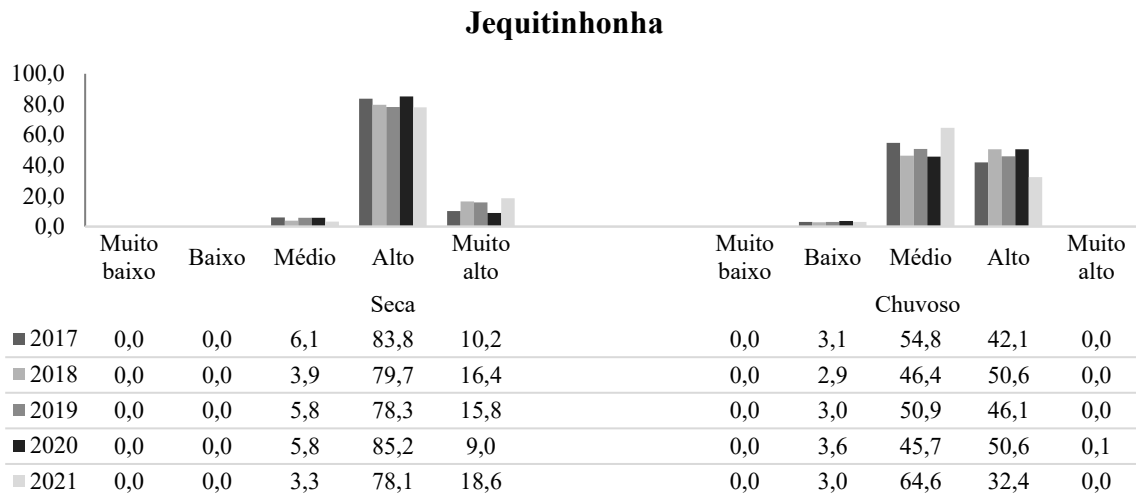
A mesorregião do Jequitinhonha situa-se ao nordeste de Minas Gerais, formada por 51 municípios em um conjunto de cinco microrregiões: Almenara, Araçuaí, Capelinha, Diamantina e Pedra Azul distribuídos numa área de 50.143,24 km<sup>2</sup>. É conhecida por seus baixos indicadores econômicos, precariedade de serviços e baixo desenvolvimento econômico (ARAÚJO e CASTRO, 2011). Localizado nos biomas de Cerrado e Mata Atlântica, a mesorregião do Jequitinhonha, apresenta contrastes climáticos, porém tem-se o predomínio do clima tropical de savana com estação seca de inverno (Aw).

Os resultados do risco de incêndios e queimadas para a mesorregião do Jequitinhonha são apresentados no Gráfico 19 e na Figura 29, é possível observar que, no período de seca, o risco muito alto chegou a 18,6% em 2021, destacando as áreas de baixa altitude e próximas as rodovias. A classe de risco alto foi predominante em todo período analisado, principalmente em 2020, com percentual de 85,2%, ao passo que no ano seguinte, 2021, há queda no percentual de 7,1%. O risco médio, sobressai em 2017, com 6,1%, porém, apresenta a classe com as menores áreas identificadas nesse grau de risco. As classes baixo e muito baixo, não apresentaram áreas significativas.

Observa-se ainda, que o número de focos aumentou consideravelmente de um ano para o outro, registrando 645 em 2018 parra 1422 focos registrado em 2021 (Gráfico 20), comprovando o maior percentual de risco identificado na classe de risco muito alto. Somados, foram 4.306 focos registrados durante o período de 2017 a 2021.

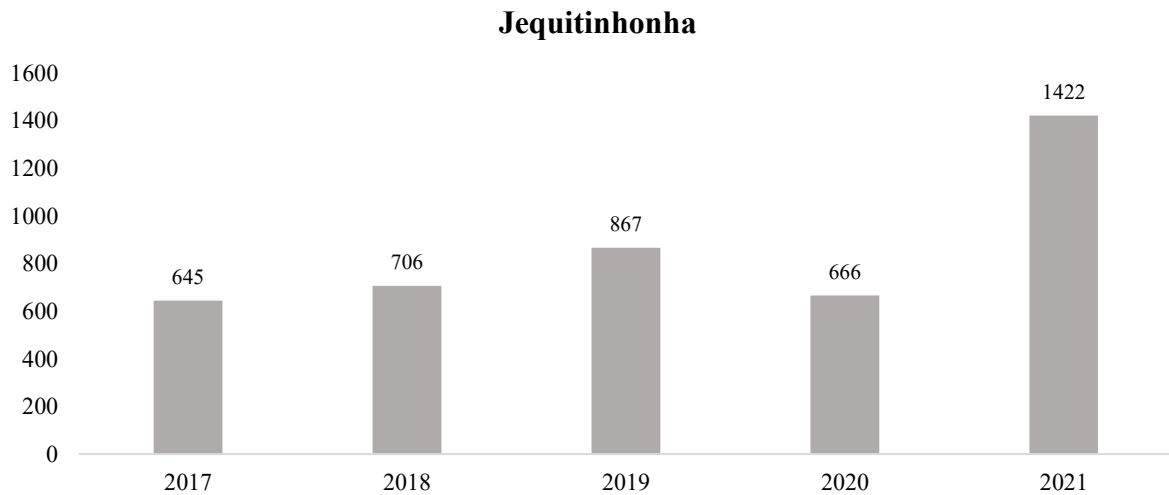
Quanto ao período chuvoso, observa-se a diminuição na classe de risco muito baixo, chegando a zero percentual em todos os anos, seguido do risco alto que também reduziu o percentual de área mais susceptível ao fogo, mantendo o maior percentual (50,6%) em 2018 e 2020. Enquanto que houve aumento no risco médio em todo período analisado, atingindo 64,6% em 2021. O risco baixo, as áreas de risco aumentam em relação ao período de seca, mantendo em menos de 4%.

Gráfico 19 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Jequitinhonha (2017 a 2021)



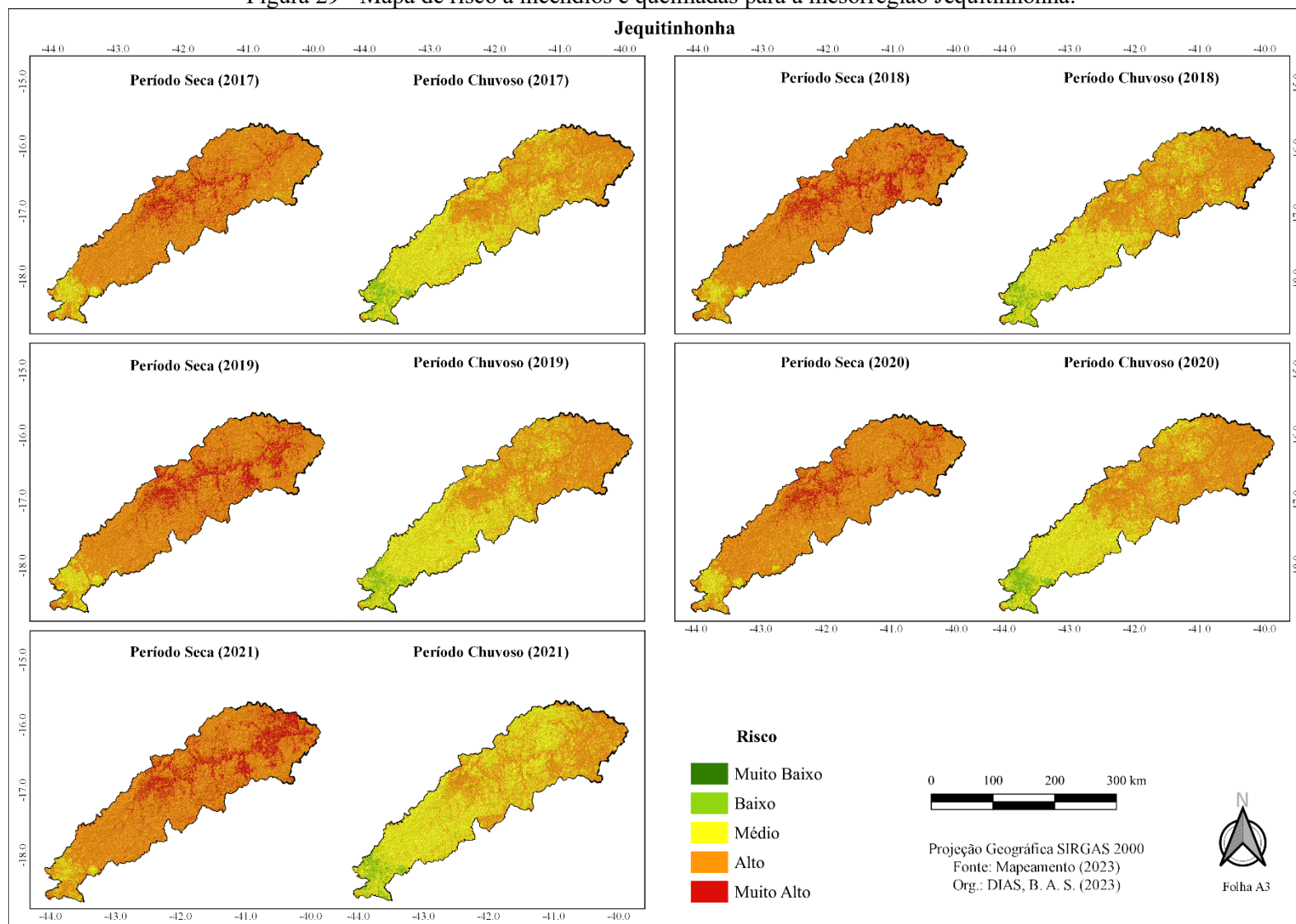
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 20 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Jequitinhonha (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 29 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Jequitinhonha.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## **Metropolitana de Belo Horizonte**

A mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte concentra-se o maior PIB e a capital do estado, Belo Horizonte. São 105 municípios agrupados em oito microrregiões: Belo Horizonte, Conceição do Mato Dentro, Conselheiro Lafaiete, Itabira, Itaguara, Ouro Preto, Pará de Minas e Sete Lagoas. Pertence aos biomas de Cerrado e Mata Atlântica, com o predomínio do clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa).

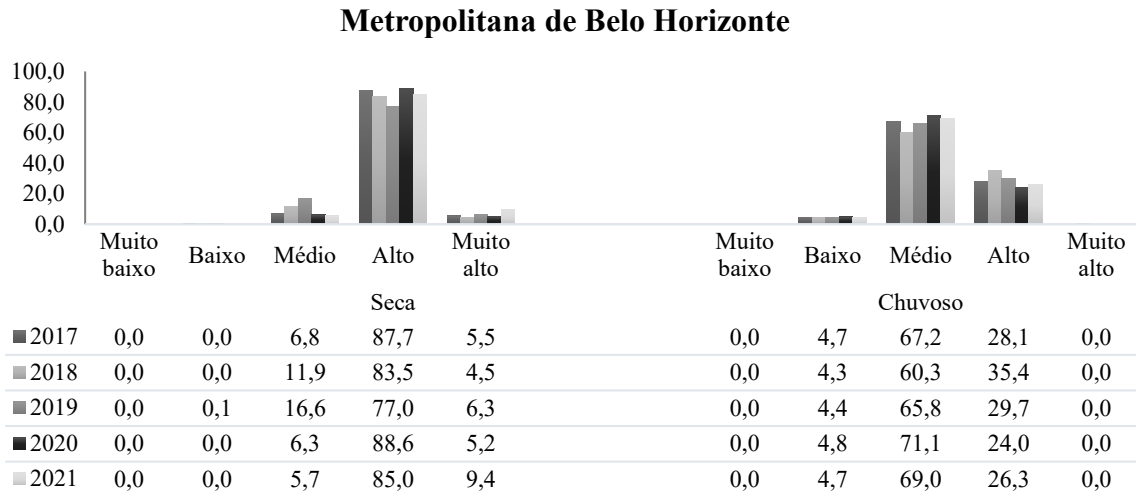
Analisando o mapa de risco (Figura 30) e o Gráfico 21, verifica-se que a classe de risco muito alto obteve menos de 10% das áreas de risco para o período de seca, sendo o menor percentual em 2019, com 4,5% e o maior em 2021, com 9,4%. A maior parte da mesorregião apresenta risco alto, sendo mais expressivo em 2020, com 88,6%.

No período chuvoso, a classe de risco médio passa a representar mais de 60% da área, seguido da classe de risco alto, que teve a queda em comparação com o período de seca, mas se manteve com o percentual considerável, principalmente em 2018, cujo percentual foi de 35%. Contudo, a classe de risco baixo, que na seca não houve nenhuma área classificada, passa a apresentar o percentual de quase 5% no período chuvoso.

Destaca-se no mapa, a Serra do Cipó que tanto no período de seca quanto no chuvoso foi identificado o risco médio e baixo, isso se deve, pelas condições climáticas na região, as altas altitudes, ser classificado como formação natural não florestal e possuir baixa densidade demográfica.

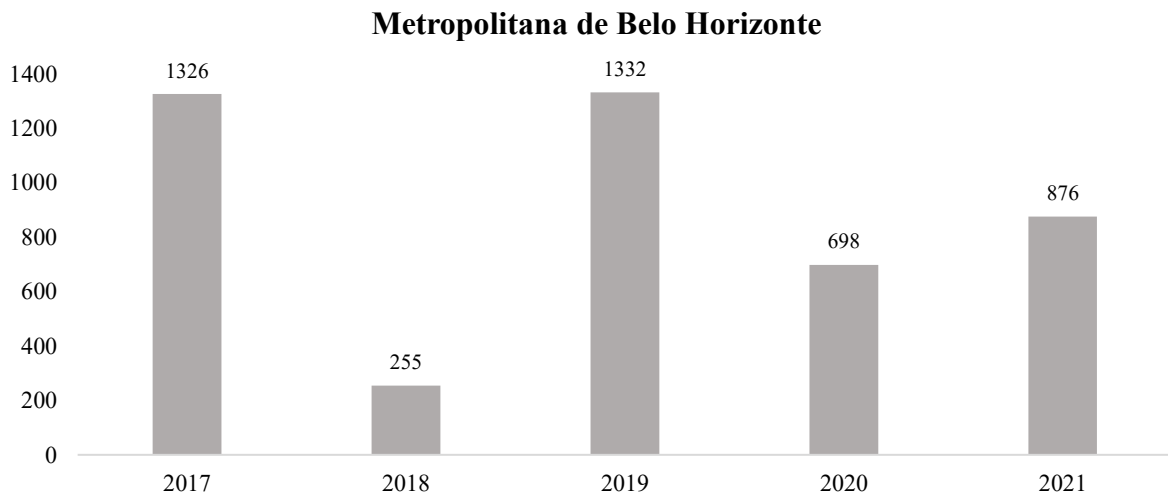
Embora, os anos de 2017 e 2019 não apresentaram os maiores percentuais, exceto na classe média, no período de seca, foram os anos com os maiores registros de incidência de fogo na região, sendo registrados, 1326 focos em 2017, e 1332 focos em 2019 (Gráfico 22).

Gráfico 21 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (2017 a 2021)



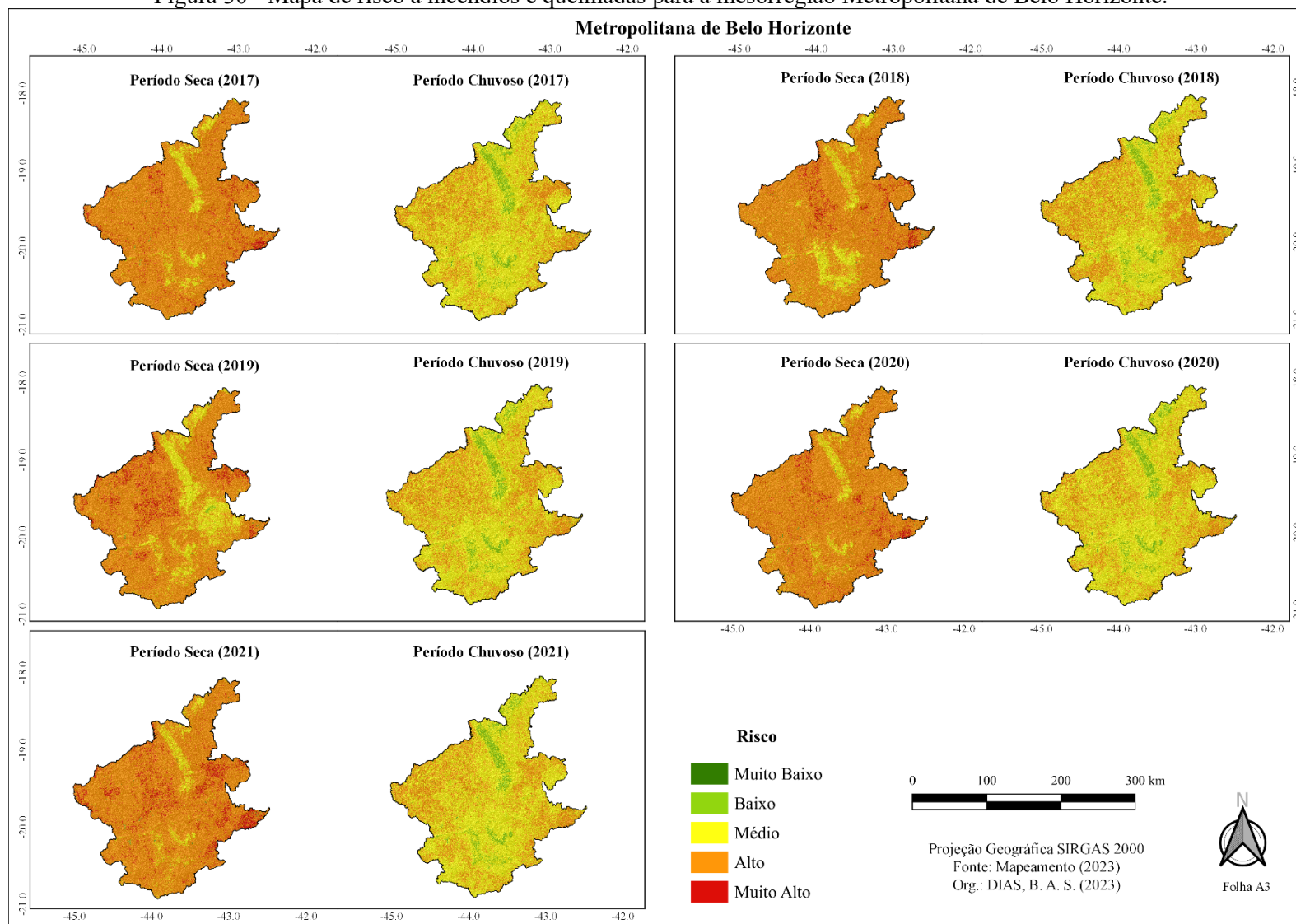
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 22 -Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 30 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## Noroeste

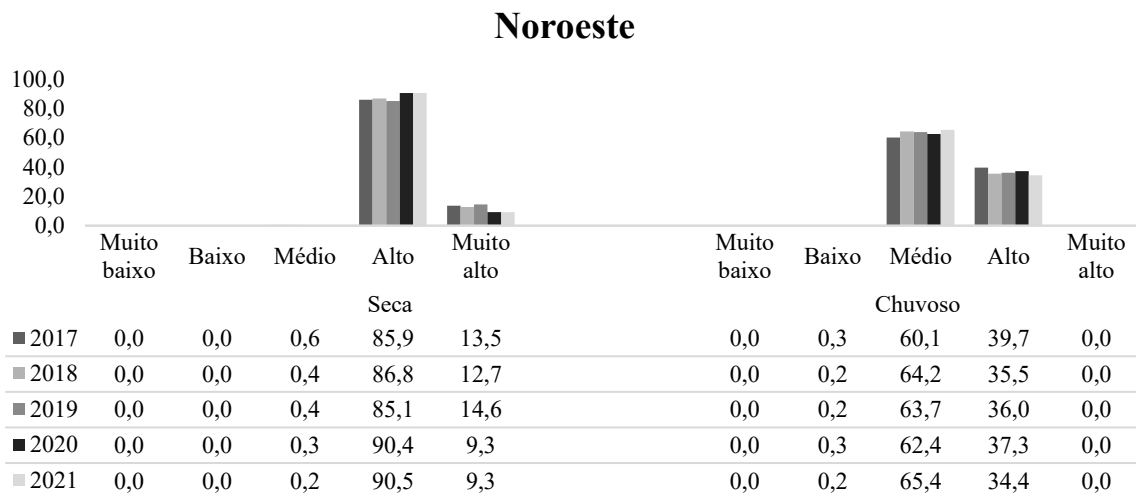
Situada no bioma Cerrado, a mesorregião Noroeste é composta pela união de 19 municípios agrupados em duas microrregiões: Paracatu e Unaí. Possui área de 62.381 km<sup>2</sup>, e o predomínio do clima tropical de savana com estação seca de inverno (Aw). A atividade agropecuária e indústrias nas áreas de extração mineral e siderurgia são destaques na economia da região.

Analisando o Gráfico 23 e o mapa da Figura 31, para o período de seca, observa-se que as classes de risco alto e muito alto tiveram os maiores percentuais, e grande parte das áreas destacadas no risco muito alto foram próximas as rodovias. Nessa mesorregião, o grau de risco alto ultrapassou os 90%, nos anos de 2020 e 2021, embora, o risco muito alto foi mais expressivo nos demais anos, chegando a 14,6% em 2019. Constata-se que as condições climáticas foram propícias para aumentar o risco de queimadas e incêndios na região, pois houve baixíssimos percentuais na classe de risco médio.

No período chuvoso, ainda que o percentual do risco muito alto não apresentou valores significativos, o risco médio ficou acima dos 60%, principalmente em 2021, com 65,4%. O risco alto diminuiu em comparação ao período de seca, no entanto, quase 40% em 2018, par ao período chuvoso foi classificado nessa classe de risco.

Percebe-se que a partir de 2019, tem-se um crescimento no número de focos registrados na mesorregião, houve aumento no número de registros, de 432 em 2019 para 1.265 em 2021 (Gráfico 24).

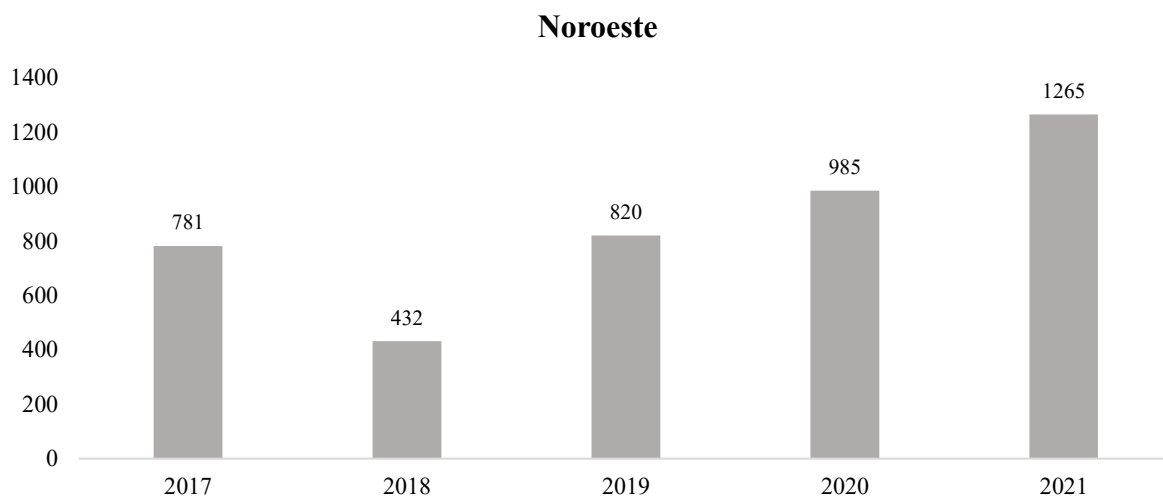
Gráfico 23 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Noroeste (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

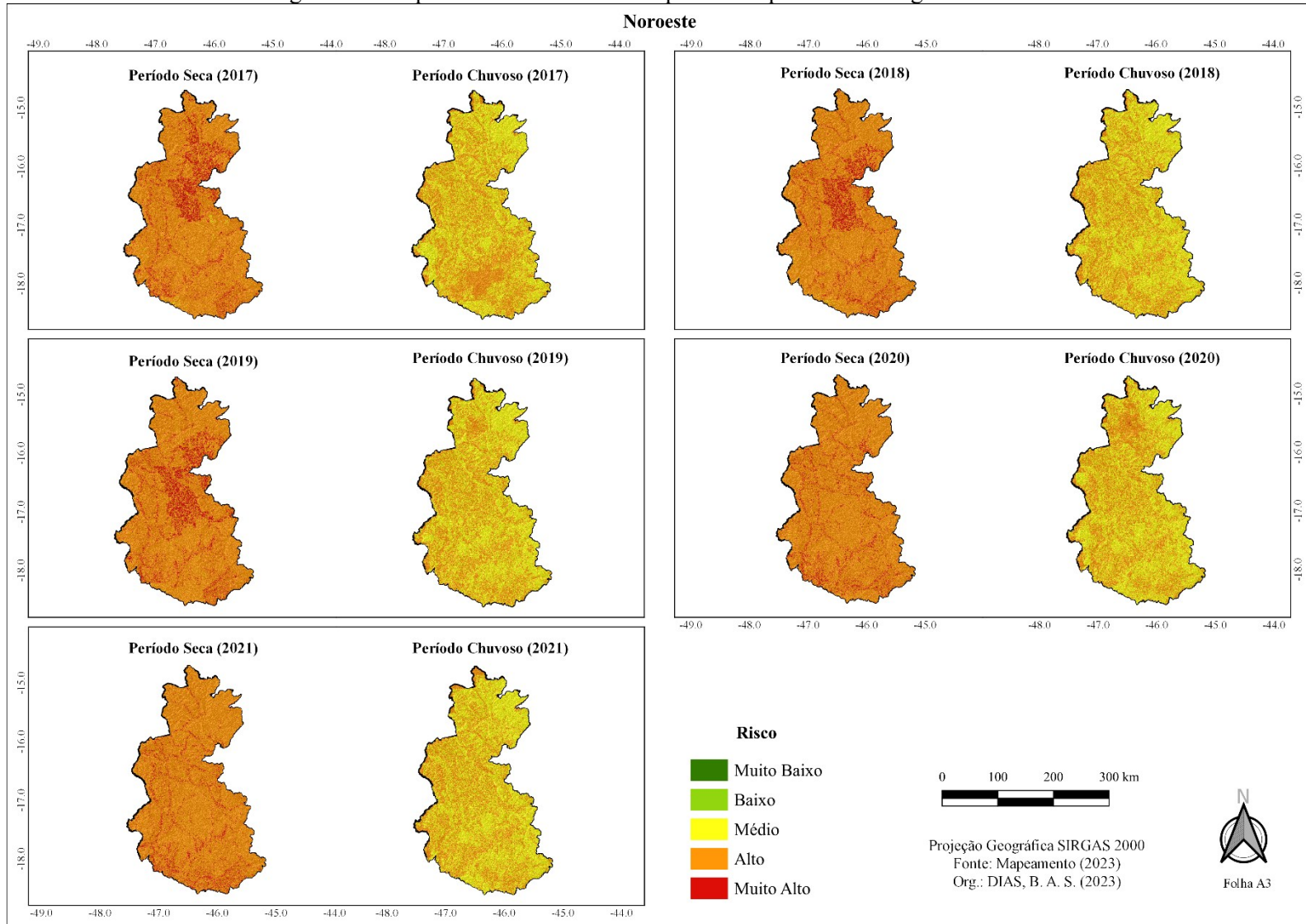


Gráfico 24 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Noroeste (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 31 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Noroeste.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## Norte

A mesorregião Norte de Minas Gerais é a maior em extensão territorial, com 128.545 km<sup>2</sup>, distribuídos em 89 municípios pertencentes a sete microrregiões: Bocaiuva, Grão Mogol, Janaúba, Januária, Montes Claros, Pirapora e Salinas. Uma das principais características está na sua localização, estando numa área de transição, tanto do ponto de vista físico como socioeconômico. Caracteriza-se como uma área de transição do clima tropical semiúmido para o semiárido e da vegetação de cerrado para a de caatinga, com precipitações irregulares e escassas, clima seco, temperaturas elevadas e pouca disponibilidade de água (PEREIRA, 2006).

Observa-se no Gráfico 25 e no mapa da Figura 32, que as áreas de muito alto risco identificadas no período da seca, encontram-se principalmente nas baixas altitudes e próximo as rodovias, fato este, que pode estar relacionado as interferências antrópicas na região, pois o percentual chegou a 18,2% em 2019, seguido do ano de 2018, com 15,6%.

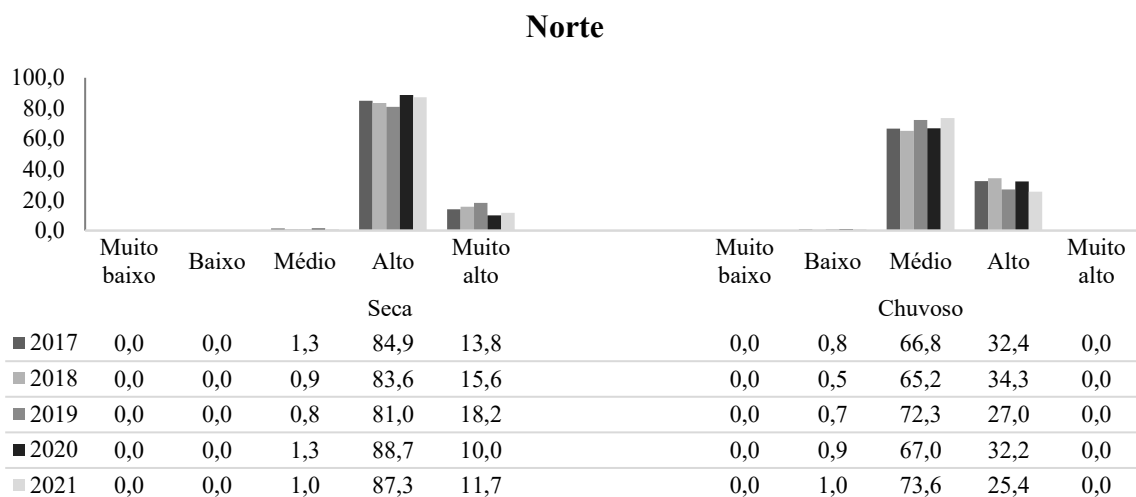
O risco alto foi a classe predominante para o período da seca, especialmente em 2020, cujo percentual alcançou 88,7% e permanecendo na acima dos 80% durante os demais anos analisados. Já o médio risco, teve queda de 2018 (0,9%) para 2019 (0,8%), no entanto, em 2020 aumentou 0,5%, chegando a 1,3, percentual este, igual no ano de 2017. Para as classes de risco baixo e muito baixo, não houve áreas identificadas.

No período chuvoso, enquanto os percentuais da classe de risco muito alto e alto decrescem, há aumento no percentual do risco médio, chegando a 73,6% em 2021, permanecendo como a principal classe. Na classe de risco baixo, apesar de não ser significativo, a classe sai de 0% no período de seca e atinge 1% no período chuvoso.

Além disso, no Gráfico 26 temos a evolução do número de focos de queimadas e incêndios para o período analisado, nele, percebe-se o alto número de ocorrências de fogo. Para o período analisado e comparando as mesorregiões, o Norte de Minas apresentou o maior número de incidência entre elas, totalizando 8.264 focos.

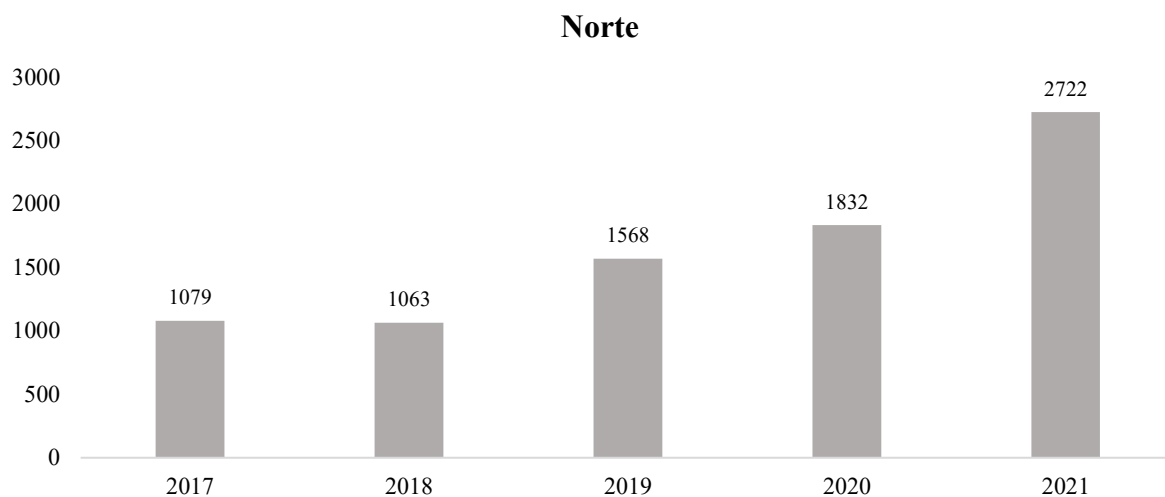
Quando comparamos os mapas desta mesorregião com as mesorregiões a leste do estado (Vale do Rio Doce, Zona da Mata, Vale do Mucuri), observa-se que, por mais que tenha tido o maior número de focos no Norte, predominou-se a classe de risco alto, enquanto no leste, houve mais áreas de risco muito alto. Pode-se dizer que esse aumento deve-se a maior em área territorial, as características físicas, ambientais, sociais e principalmente antrópicas, como os incêndios criminosos, que corroboram no aumento dos registros.

Gráfico 25 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Norte (2017 a 2021)



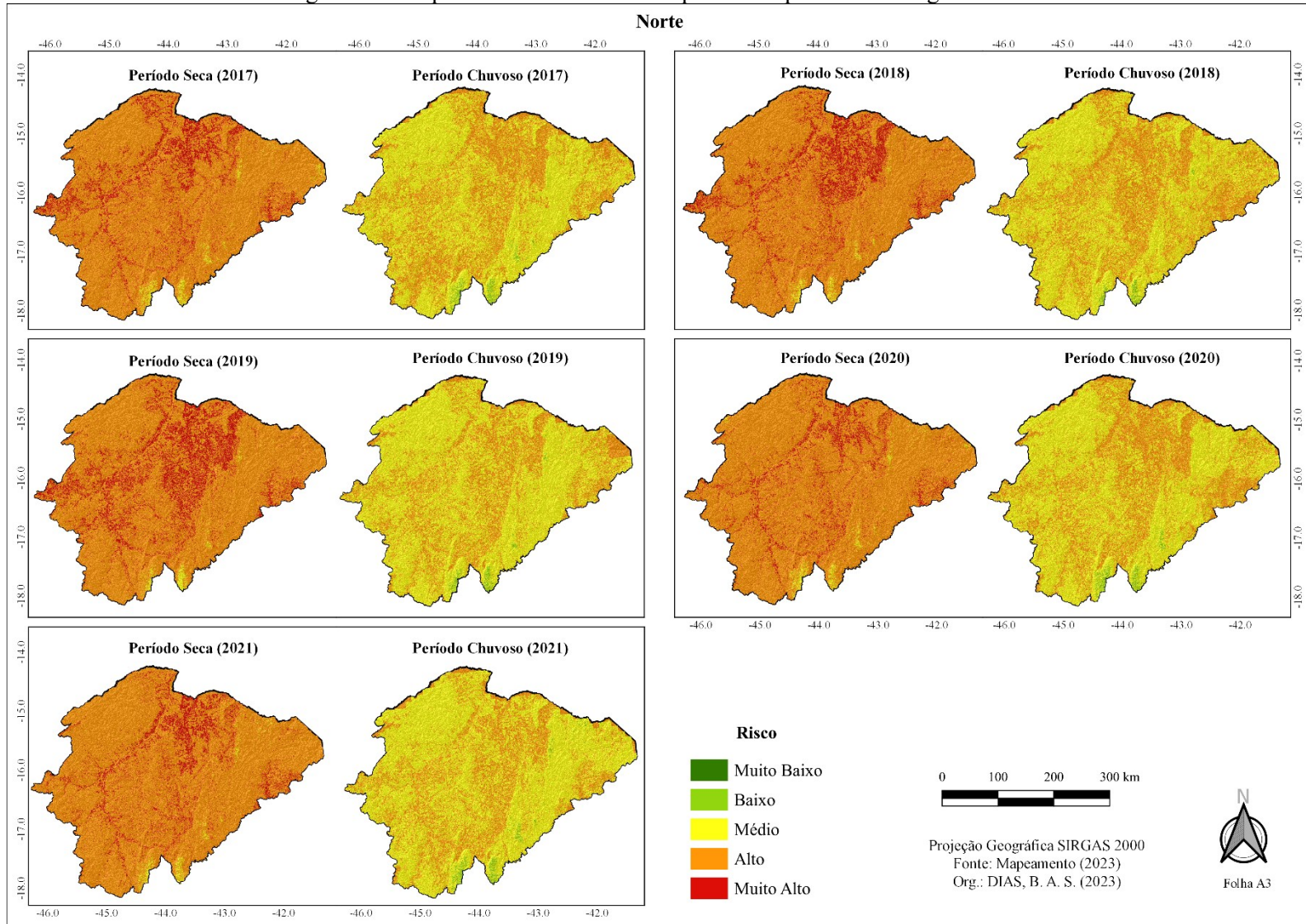
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 26 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Norte (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 32 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Norte.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## Oeste

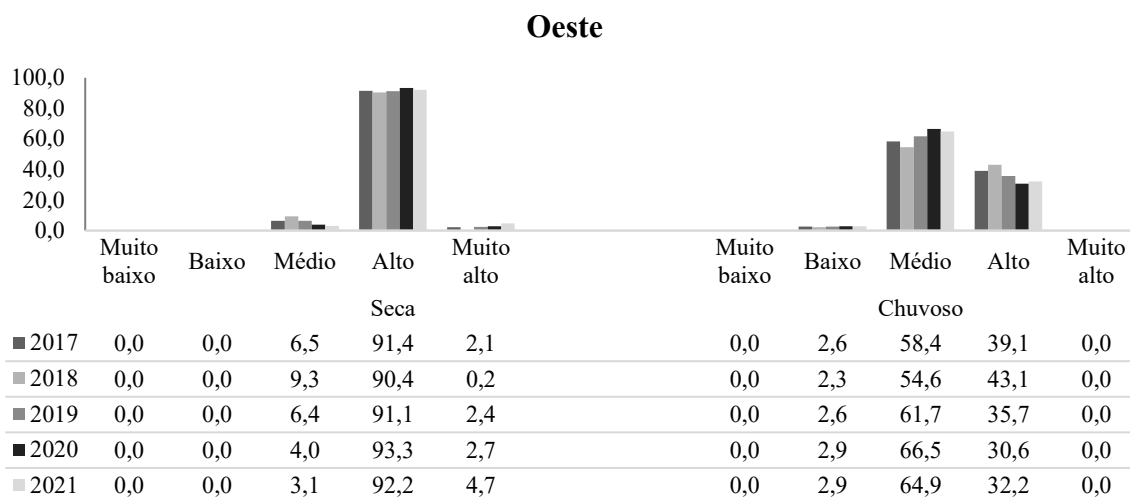
Formada por 44 municípios agrupados em cinco microrregiões: Campo Belo, Divinópolis, Formiga, Oliveira e Piumhi, a mesorregião Oeste, possui 24.043 km<sup>2</sup>. Situada nos biomas de Cerrado e Mata Atlântica, o clima predominante é o temperado úmido com inverno seco e verão quente. Trata-se de uma mesorregião que contempla uma economia diversificada e intermediária, porém de tendência ascendente, baseada principalmente na indústria e no setor de serviço (COUTO, 2018).

O risco de queimadas e incêndios é mostrado no Gráfico 27 e na Figura 33, observa-se que o risco muito alto não ultrapassou o percentual de 5%, e obteve o menor percentual da classe em 2018, com 0,2% e o maior percentual em 2021, com 4,7%. A classe de risco alto, atingiu o percentual acima de 90% em todos os anos, chegando a 93,3% em 2021. Em seguida, a classe de risco médio, manteve abaixo dos 10%.

No período chuvoso, o risco muito baixo não alterou do período de seca para este, entretanto, a classe de risco médio teve o percentual aumentado em detrimento da queda nos percentuais da classe de risco alto, o que corrobora na importância das variáveis climáticas para o mapeamento. Destaca-se também, a principal formação natural da região é a Serra da Canastra identificada no período de seca como médio risco, seu entorno apresenta algumas áreas de risco alto e muito alto, principalmente em 2021 e no período chuvoso, como risco baixo.

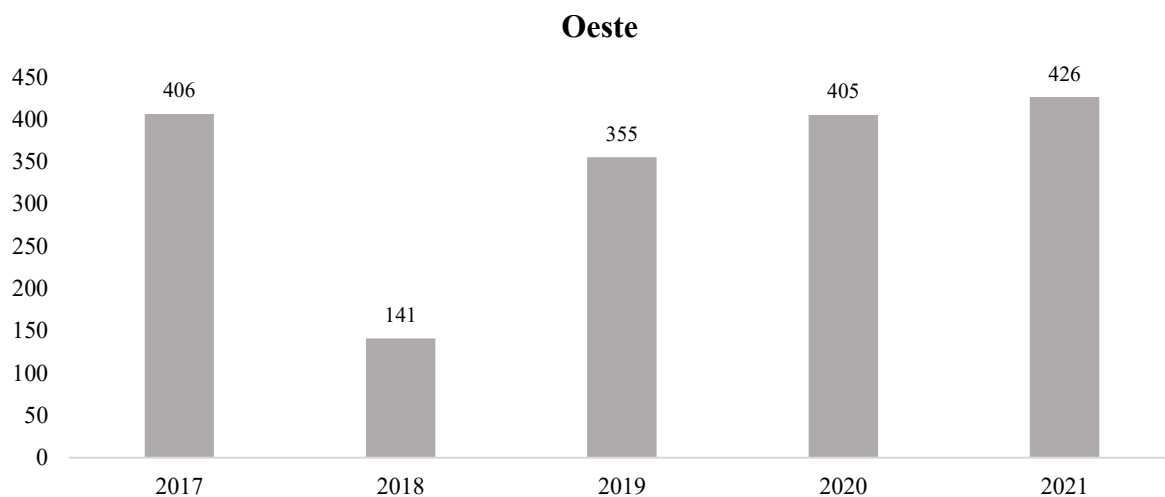
Observa-se que na mesorregião Oeste, não há um número muito alto de focos detectados em comparação as demais mesorregiões, os números mantiveram abaixo dos 500 focos registrados, com máxima de 426 focos em 2021, e o menor quantitativo em 2018, com 141 focos (Gráfico 28).

Gráfico 27 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Oeste (2017 a 2021)



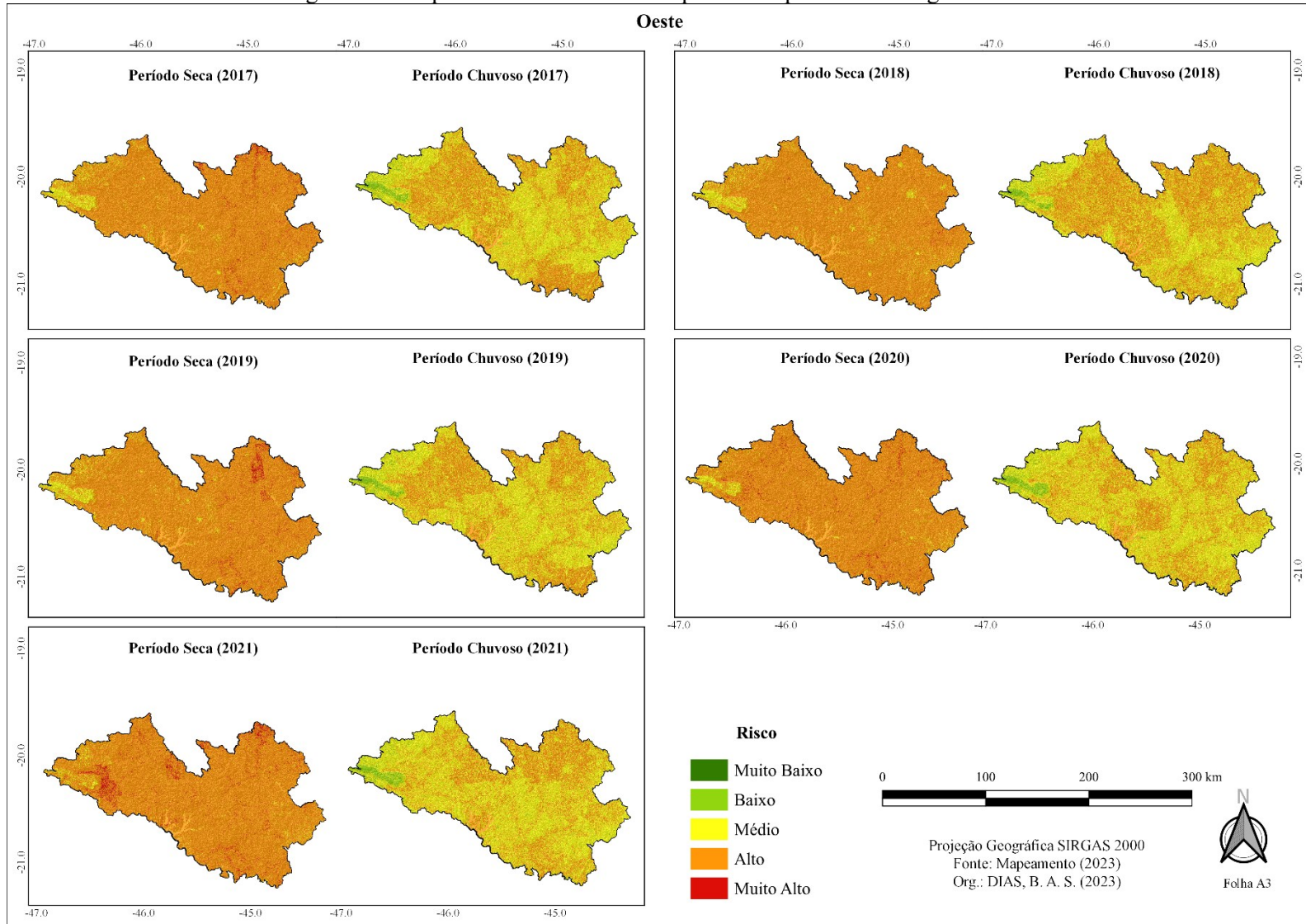
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 28 - - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Oeste (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 33 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Oeste.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).



### **Sul/Sudoeste**

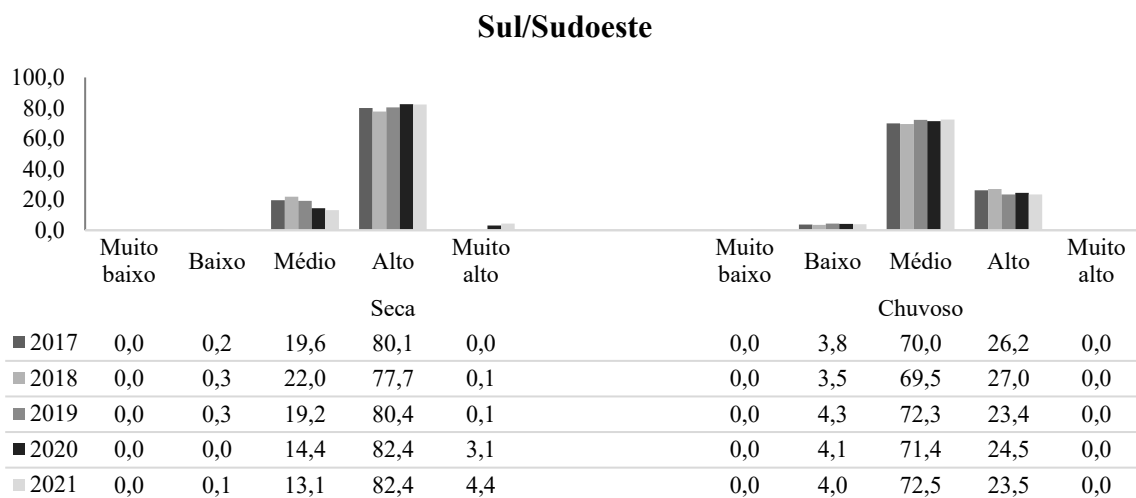
Composto por 146 municípios agrupados em 10 microrregiões: Alfenas, Andrelândia, Itajubá, Passos, Poços de Caldas, Pouso Alegre, Santa Rita do Sapucaí, São Lourenço, São Sebastião do Paraíso e Varginha. A mesorregião do Sul/Sudeste de Minas tem 49.523 km<sup>2</sup> de área e 2,5 milhões de habitantes, a renda concentra-se nos setores de serviços, indústria e agropecuária, com destaque ao cultivo do café (IBGE, 2017). A região apresenta características naturais bem diversas, como grandes altitudes e clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente (Cwb), influenciado pela Serra da Mantiqueira.

O Gráfico 29 e a Figura 34 expõem a distribuição das classes de risco a queimadas e incêndios, bem como, a espacialização das áreas identificadas em cada classe. Assim, fazendo a análise dos dados expostos, verifica-se que no período da seca, a mesorregião Sul/Sudoeste apresentou o percentual de área elevado na classe de risco muito alto, apenas nos anos de 2020 e 2021, com 3,1% e 4,4%, respectivamente. Contudo, nos dois últimos anos analisados, percebe-se que foram os mais críticos em relação ao risco do fogo, ambos representando na classe de risco alto, o percentual de 82,4%, seguido da classe de risco médio, com destaque para o ano de 2018, cujo percentual foi de 22%.

Com relação ao período chuvoso, observa-se uma diminuição na classe de risco alto e um aumento na classe de risco médio, que passa a representar em média de 70% da área da mesorregião. No risco baixo também apresenta aumento em todos os anos, porém não ultrapassa 4,3% da área.

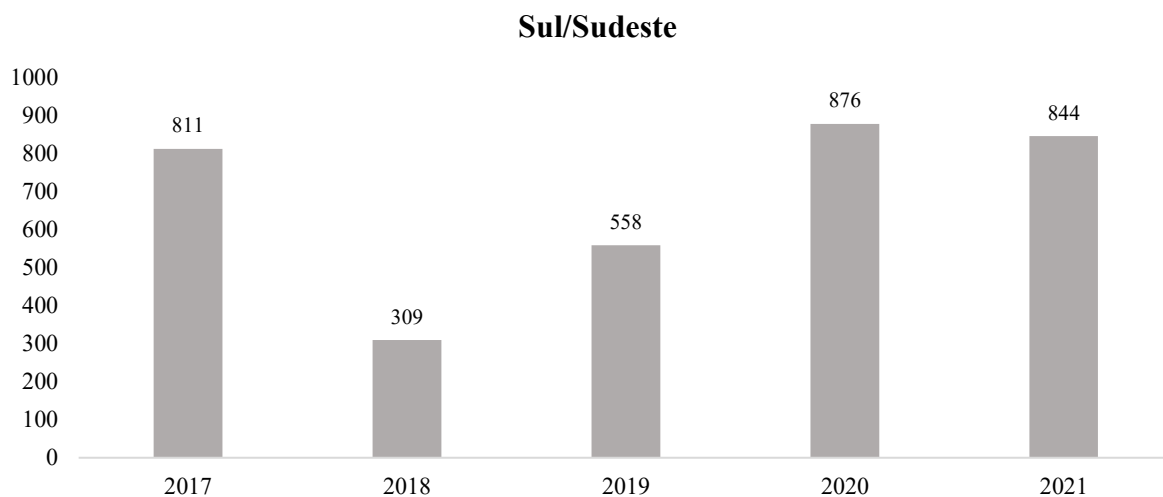
O Gráfico 30, aponta que a mesorregião Sul/Sudeste não há um padrão anual dos registros de focos de queimadas e incêndios, visto que, houve queda em 2018 (309 focos) e 2019 (558 focos) quando comparado a 2017 (811 focos), e em 2020 (876 focos) registra-se o aumento, e novamente tem-se diminuição das incidências em 2021 (844 focos).

Gráfico 29 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Sul/Sudoeste (2017 a 2021)



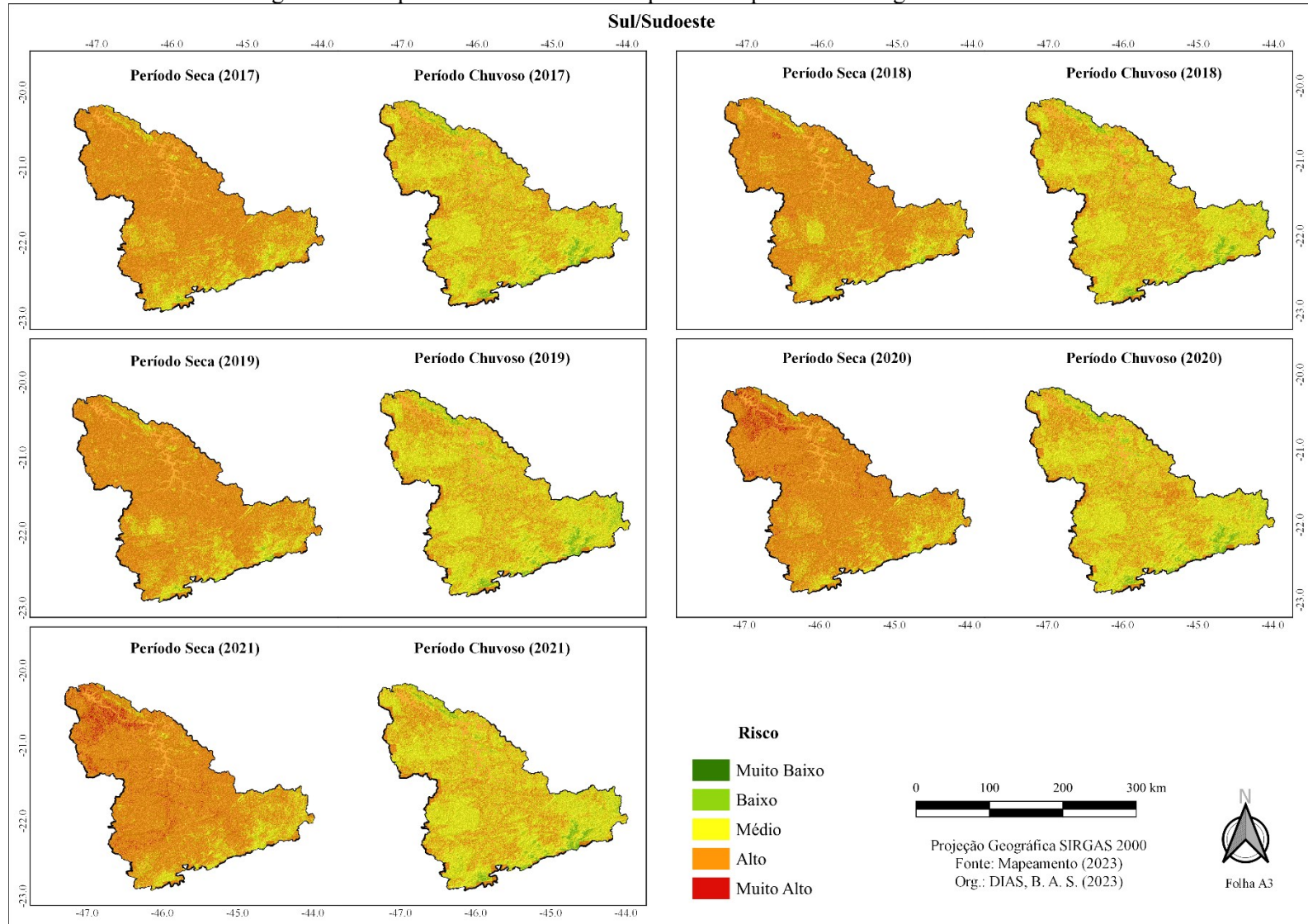
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 30 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Sul/Sudoeste (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 34 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Sul/Sudoeste.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### **Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**

Composta por 66 municípios distribuídos em sete microrregiões: Araxá, Frutal, Ituiutaba, Uberlândia, Uberaba, Patrocínio e Patos de Minas, é a segunda maior mesorregião do estado em área territorial (90.545 km<sup>2</sup>), pertence ao bioma Cerrado, com algumas áreas de Mata Atlântica. Conhecida pela agroindústria mais moderna do estado, a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é considerada uma área de fronteira agrícola. Os principais cultivos comerciais agrícolas são soja, milho e cana-de-açúcar, além da criação do rebanho bovino de alto valor comercial e indústria de fertilizantes.

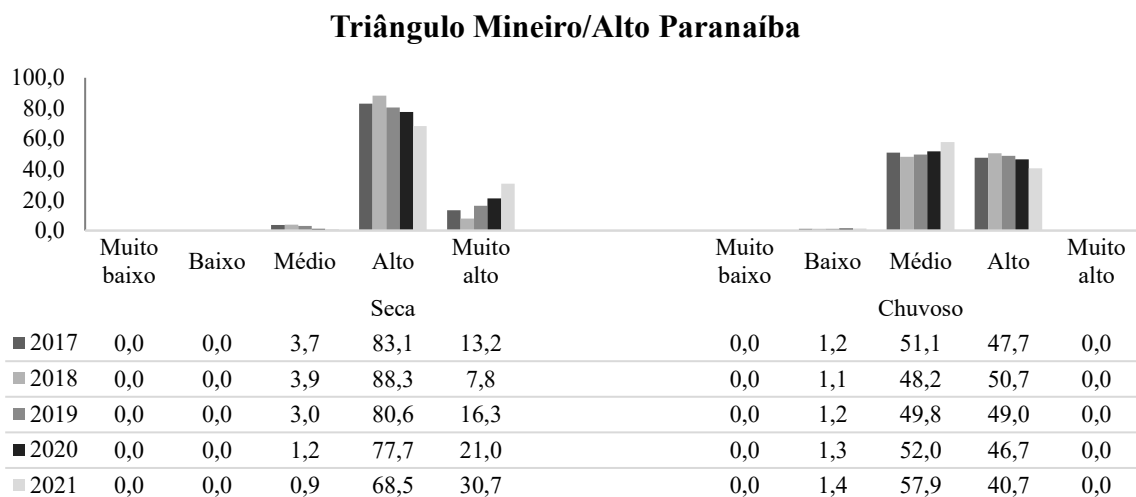
Analisando o Gráfico 31 e a Figura 35, verifica-se que a mesorregião do TMAP passou de 7,8% (2018) para 30,7% (2021) da área classificadas no risco muito alto, no período da seca. Observa-se no mapa, que essas áreas foram em baixas altitudes, próximo as rodovias, com baixa declividade, e cujo o uso da terra foi identificado como pastagens. Acredita-se que todos as variáveis físicas e antrópicas tiveram significativa importância para expressar esse alto percentual.

Contudo, na classe dominante foi o risco alto, observa-se que apesar de percentuais de área bem elevados, houve uma queda anual a partir de 2018, passando de 88,3% em 2018 para 68,5% em 2020. Quanto ao risco médio, houve pouca variação de um ano para outro, porém, mesmo com baixos percentuais, em 2018 apresentou o maior valor na classe analisada (3,9%).

Quanto ao período chuvoso, as classes de risco médio e alto, se mantiveram quase que na mesma proporção, variando de um ano para o outro, entretanto, o percentual não ultrapassou a casa dos 50% em ambas as classes.

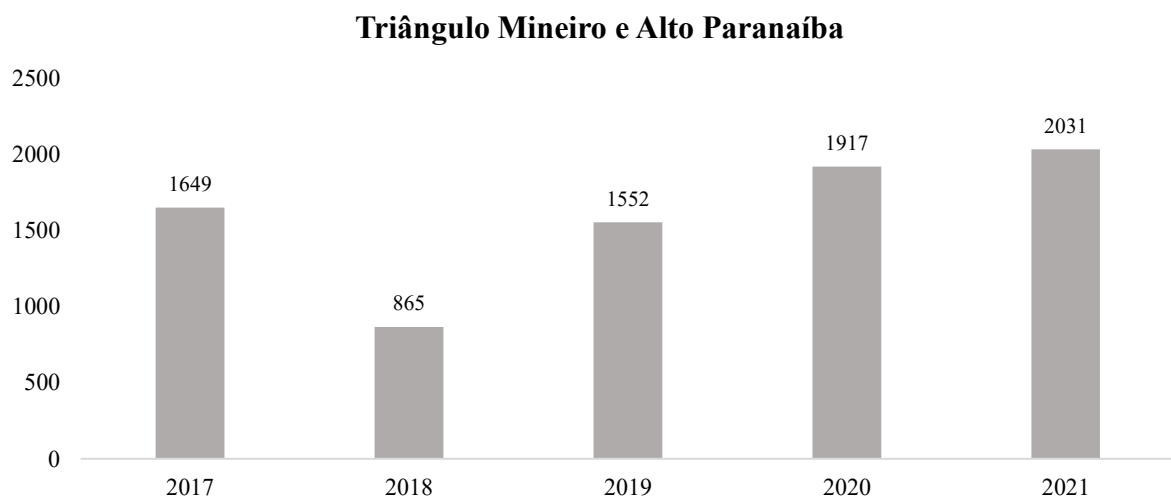
No TMAP foram registrados 8.014 focos de queimadas e incêndios, sendo, portanto, a segunda maior mesorregião a concentrar as incidências de fogo. Em 2021, detectou-se o maior número, com 2.031 focos, seguido do ano de 2020, com 1.917 (Gráfico 32).

Gráfico 31 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (2017 a 2021)



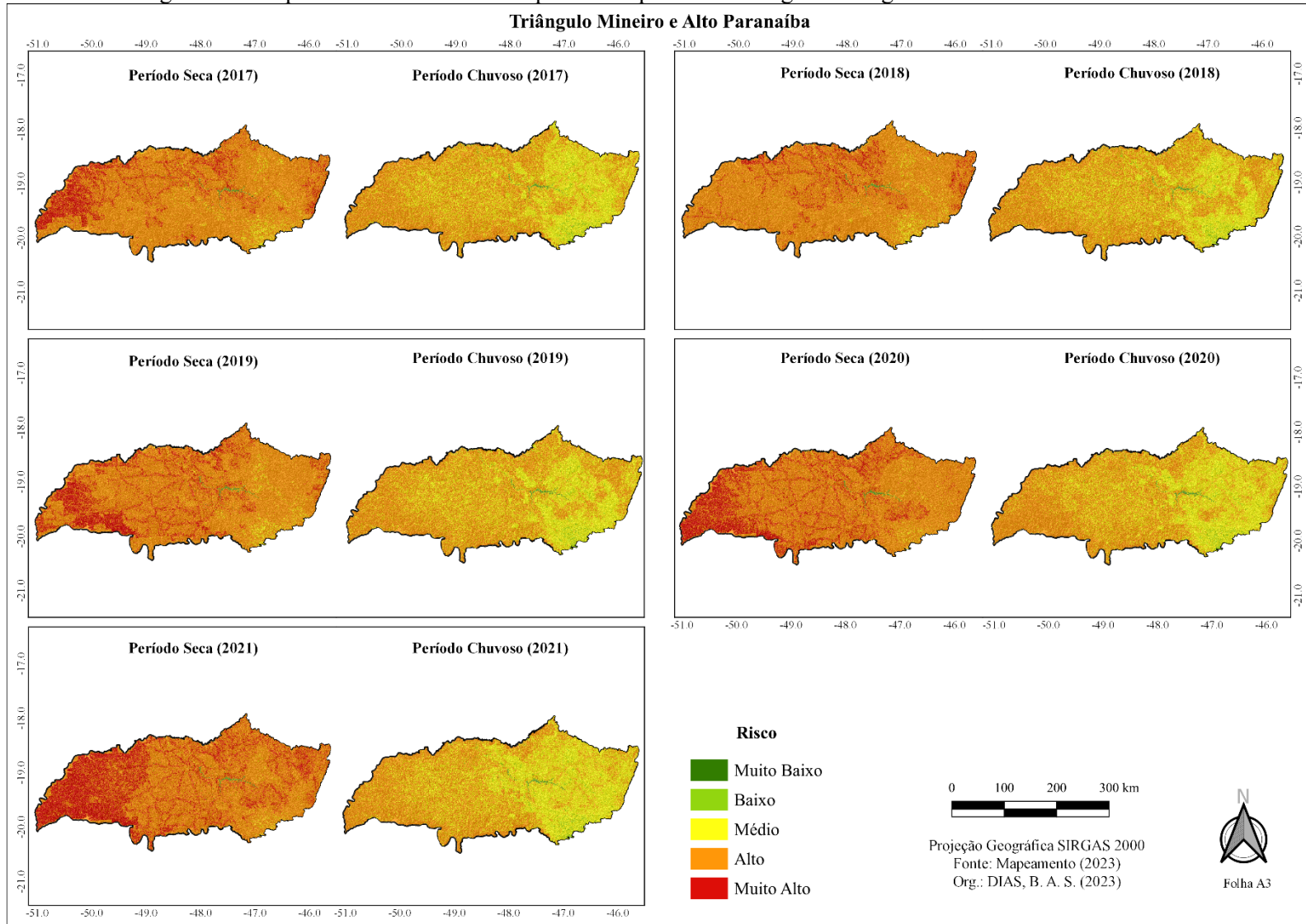
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 32 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 35 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### **Vale do Mucuri**

Com a economia baseada no comércio de pedras semipreciosas, produção agropecuária de baixo valor, a mesorregião do Vale do Mucuri ocupa a área de 20.080 km<sup>2</sup> divididos nas microrregiões de Nanuque e Teófilo Otoni com 23 municípios. Apresenta fitofisionomias do bioma de Mata Atlântica, variando entre formações florestais decíduais e semidecíduais, quanto ao clima, predomina-se o clima tropical de savana com estação seca de inverno (Aw).

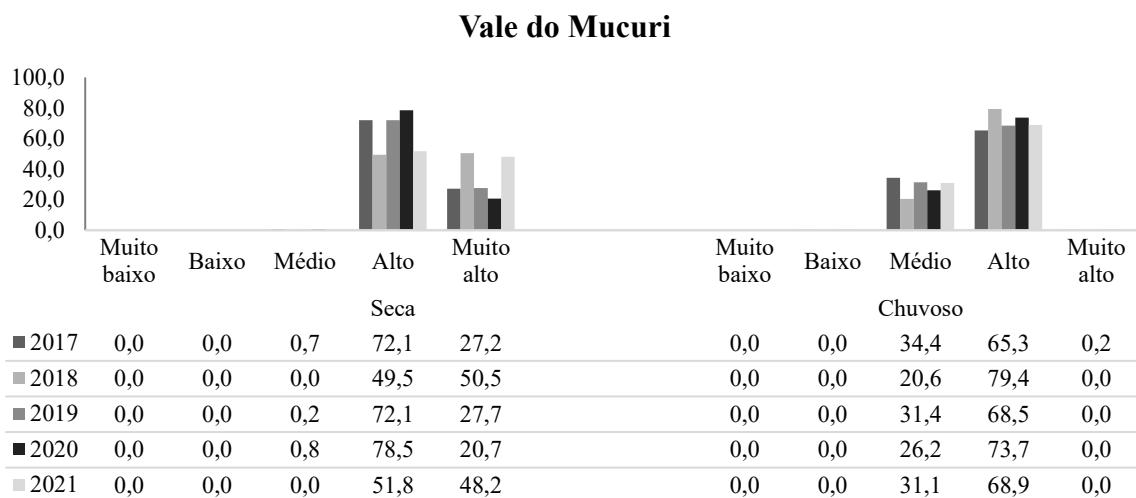
A mesorregião do Vale do Mucuri destacou-se entre todas as demais mesorregiões analisadas, conforme mostra no Gráfico 33 e na Figura 36, observa-se o quanto a mesorregião sofre a influência das rodovias, principalmente por ser uma região pequena em comparação as demais mesorregiões do estado, a extensão territorial enfatiza o predomínio das classes de risco muito alto nos anos de 2018 e 2021 para o período de seca, principalmente pelo alto percentual apresentado nessa classe, cujo valores foram de 50,5% e 48,2%, respectivamente. Portanto, percebe-se que todas as variáveis tiveram influência no grau de risco.

Além disso, a classe de risco alto prevaleceu com os percentuais acima da média no período de seca e no período chuvoso, exceto em 2018. Isso demonstra que a região é extremamente vulnerável e possui condições propícias a ignição e propagação dos incêndios e queimadas, inclusive, ambiente climático favorável a incidência do fogo.

Nota-se também que, nessa mesorregião não houve valores nas classes de risco muito baixo e baixo em nenhum dos períodos (seca e chuvoso) e o risco de grau médio para o período chuvoso foi abaixo dos percentuais encontrados nas mesorregiões anteriores.

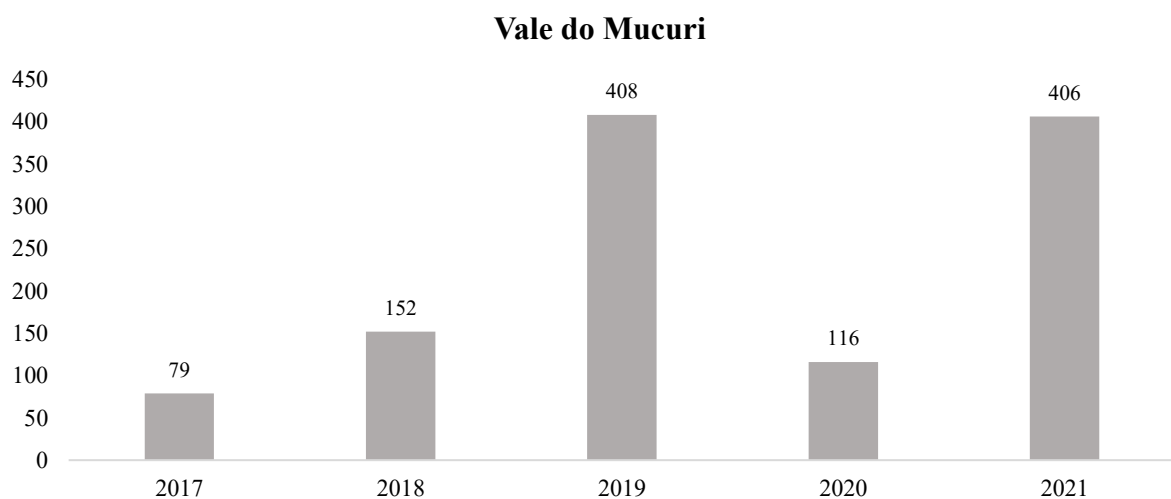
Em contrapartida, no Gráfico 34, mostra que apesar de apresentar áreas de risco alto e muito alto, o número de focos não chegou a 1.200. A mesorregião apresentou apenas 78 focos em 2018, e valores próximos em 2019 e 2021, com 408 e 406 focos registrados.

Gráfico 33 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Vale do Mucuri (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

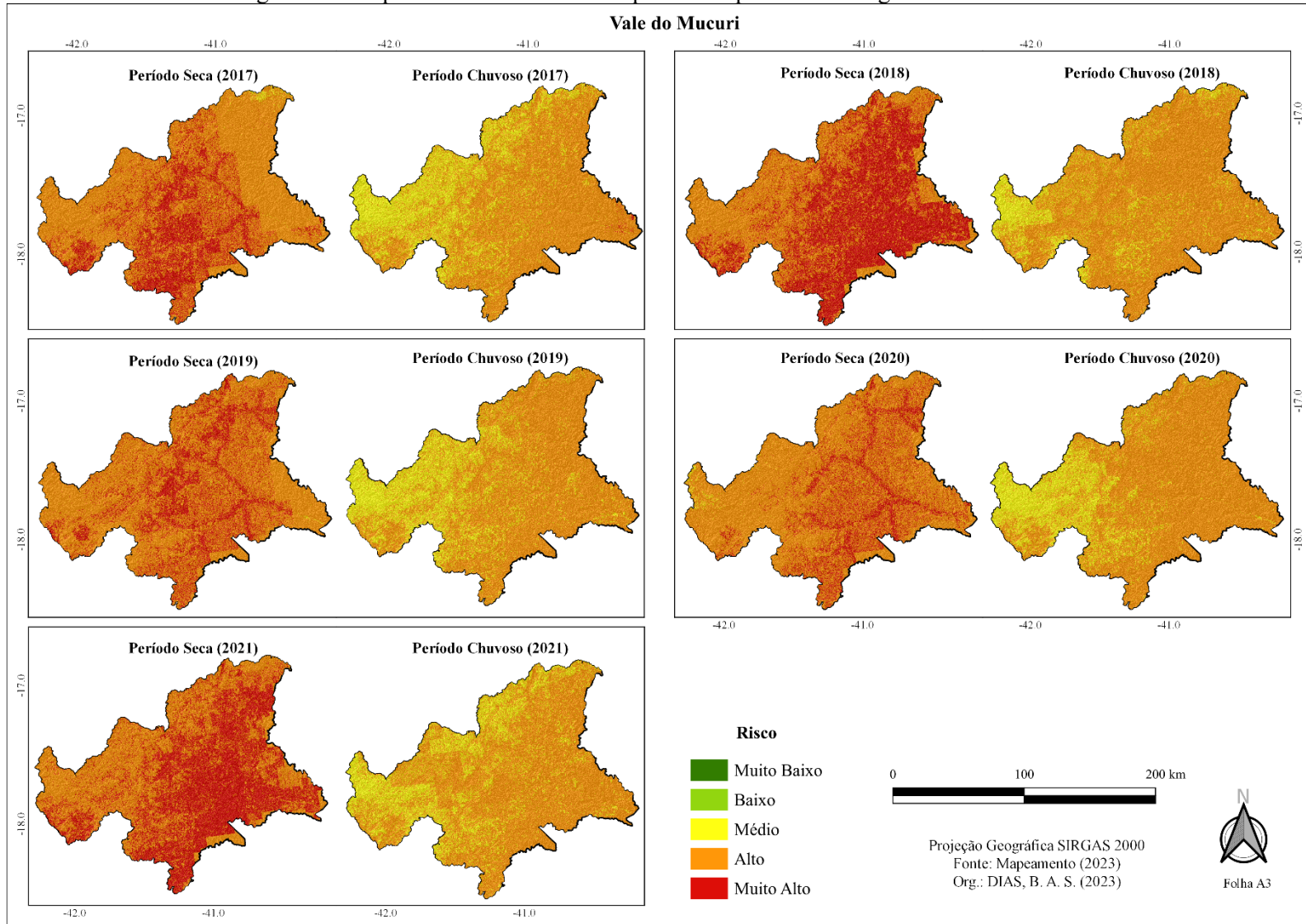
Gráfico 34 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Vale do Mucuri (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)



Figura 36 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Vale do Mucuri.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## Vale do Rio Doce

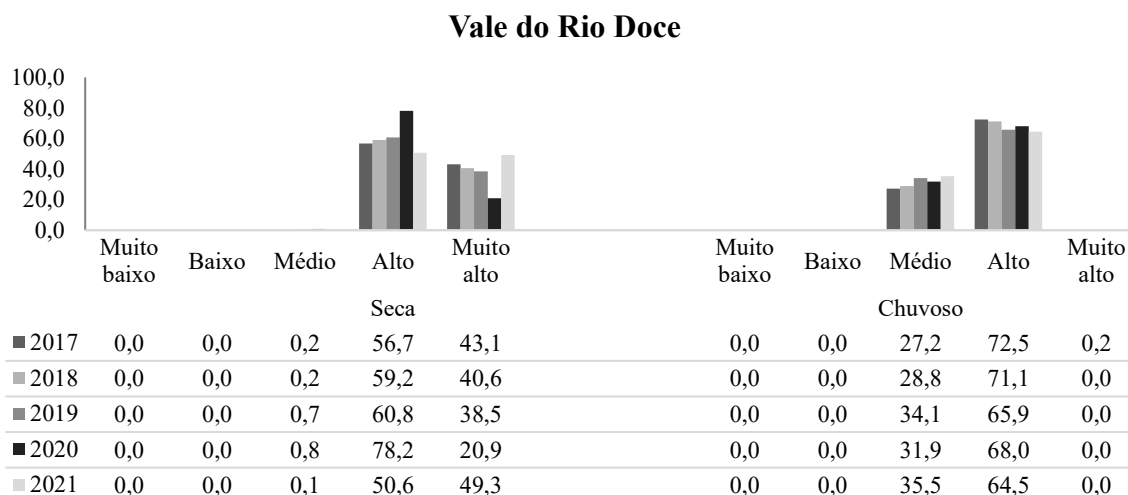
Composta por 102 municípios agrupados em sete microrregiões: Aimorés, Caratinga, Governador Valadares, Guanhães, Ipatinga, Mantena e Peçanha, a mesorregião do Vale do Rio Doce destaca-se pela indústria siderúrgica na região metropolitana do Vale do Aço (28 municípios ao todo), e pela extração mineral, o setor agropecuário não possui grande expressividade. Com extensão territorial de 41.810 km<sup>2</sup>, está contido no bioma de Mata Atlântica e com clima predominante tropical de savana com estação seca de inverno (Aw).

Com base no Gráfico 35 e na Figura 37, observa-se que no período de seca em toda mesorregião as classes mais críticas em relação ao grau de risco são as de alto e muito alto risco, sem valores significativos nas demais classes. O risco muito alto, comparando do ano de 2020 para 2021, houve aumento de mais de 20% da área, passando de 20,9% para 49,3%.

Quanto ao período chuvoso, tem-se queda no percentual de risco muito alto, chegando a zero, e aumento nos percentuais anuais da classe de risco alto, embora decresceu no decorrer dos anos, de 72,5% em 2018 para 64,5% em 2021.

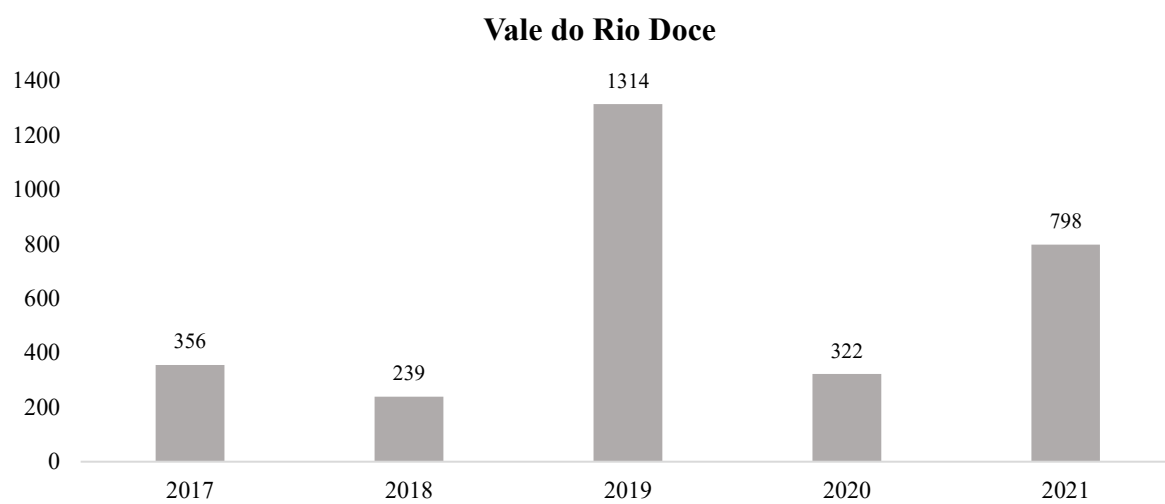
Em relação ao quantitativo de focos de queimadas e incêndios, o ano de 2019 destacou-se por apresentar valores bem acima dos observados nos demais anos, sendo identificados 1.314 focos (Gráfico 36).

Gráfico 35 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Vale do Rio Doce (2017 a 2021)



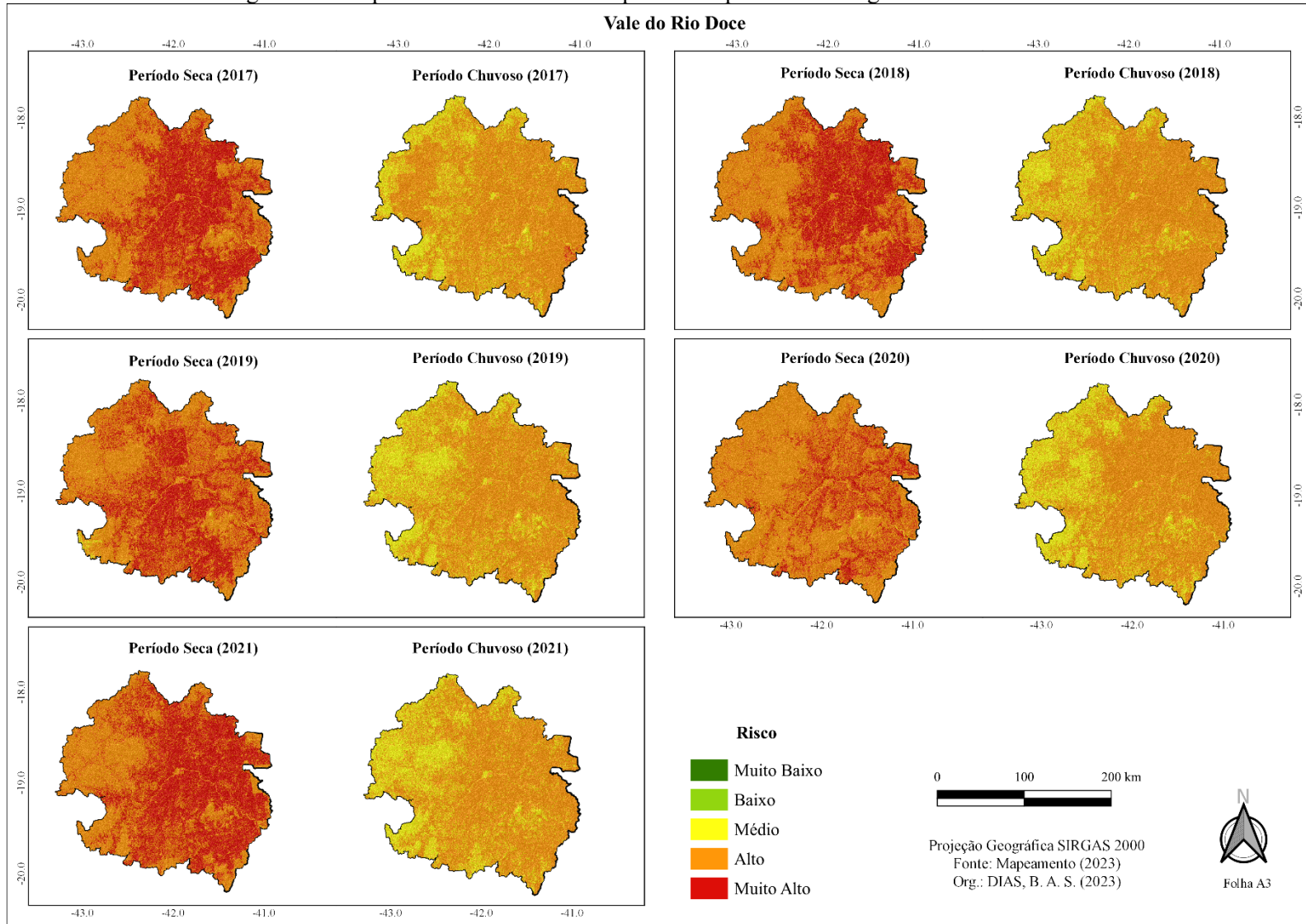
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 36 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Vale do Rio Doce (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Figura 37 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Vale do Rio Doce.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## Zona da Mata

Com área de 35.747 km<sup>2</sup>, a mesorregião da Zona da Mata mineira é composta por 142 municípios agrupados em sete microrregiões: Cataguases, Ubá, Ponte Nova, Viçosa, Juiz de Fora, Muriaé e Manhuaçu. Sua economia é movimentada principalmente pelo setor de serviços, indústria, agropecuária e turismo. Pertence ao bioma de Mata Atlântica, com clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa).

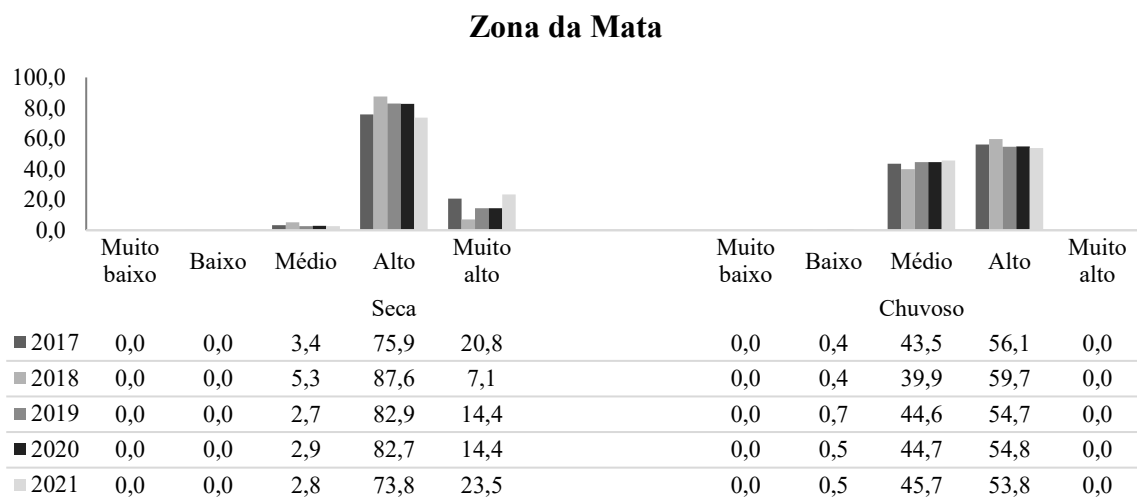
Analisando o Gráfico 37 e a Figura 38, podemos observar que 2017 (20,8%) e 2020 (23,5%) foram os anos com maiores áreas identificadas na classe de risco muito alto, no período de seca, principalmente, na porção sudeste da mesorregião que faz divisa com o Espírito Santo, e mais ao norte, limite com a mesorregião do Vale do Rio Doce, que também apresentou percentuais elevados nessa classe.

A classe de risco alto, teve o maior percentual registrado em 2018 (87,6%), e foi predominante em todos os anos analisados. O risco médio, manteve-se com baixos percentuais, chegando ao máximo percentual em 2018 (5,3%). A mesorregião não apresenta áreas de risco baixo e muito baixo em nenhum dos anos.

Quanto ao período chuvoso, a maior parte da mesorregião passou a apresentar risco médio (variando de 39,9% a 45,7%), verificando decréscimo nas classes muito alto e alto, e aumento da classe de risco baixo, com percentuais que ficaram abaixo de 1%.

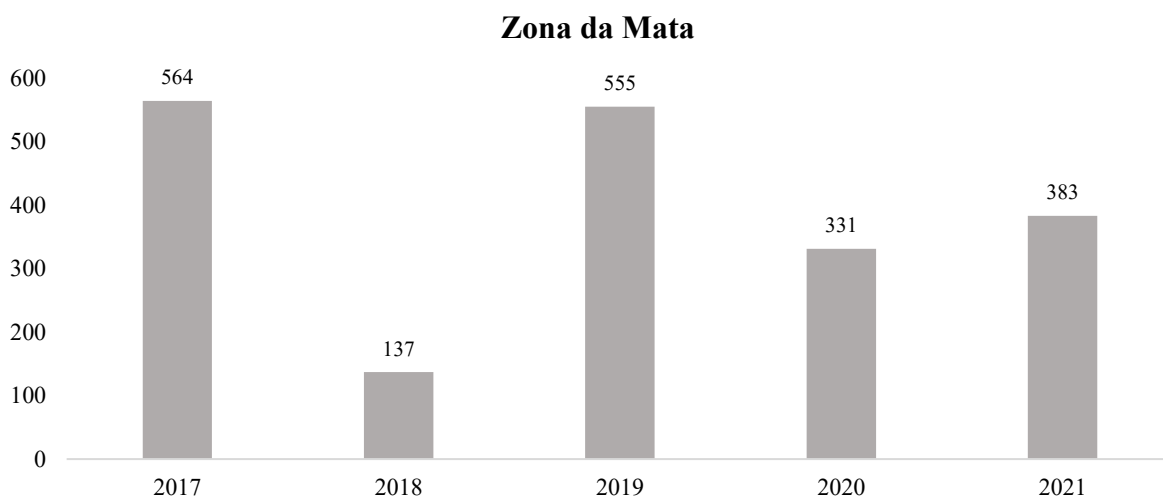
No Gráfico 38, é possível constatar que nos anos de 2017 e 2019, tiveram os maiores números de focos de queimadas e incêndios registrados, com 564 e 555 focos, respectivamente. Isso foi verificado nos percentuais de risco muito alto para o ano de 2017.

Gráfico 37 - Percentual de risco de incêndio e queimada no período de seca e chuvoso na mesorregião Zona da Mata (2017 a 2021)



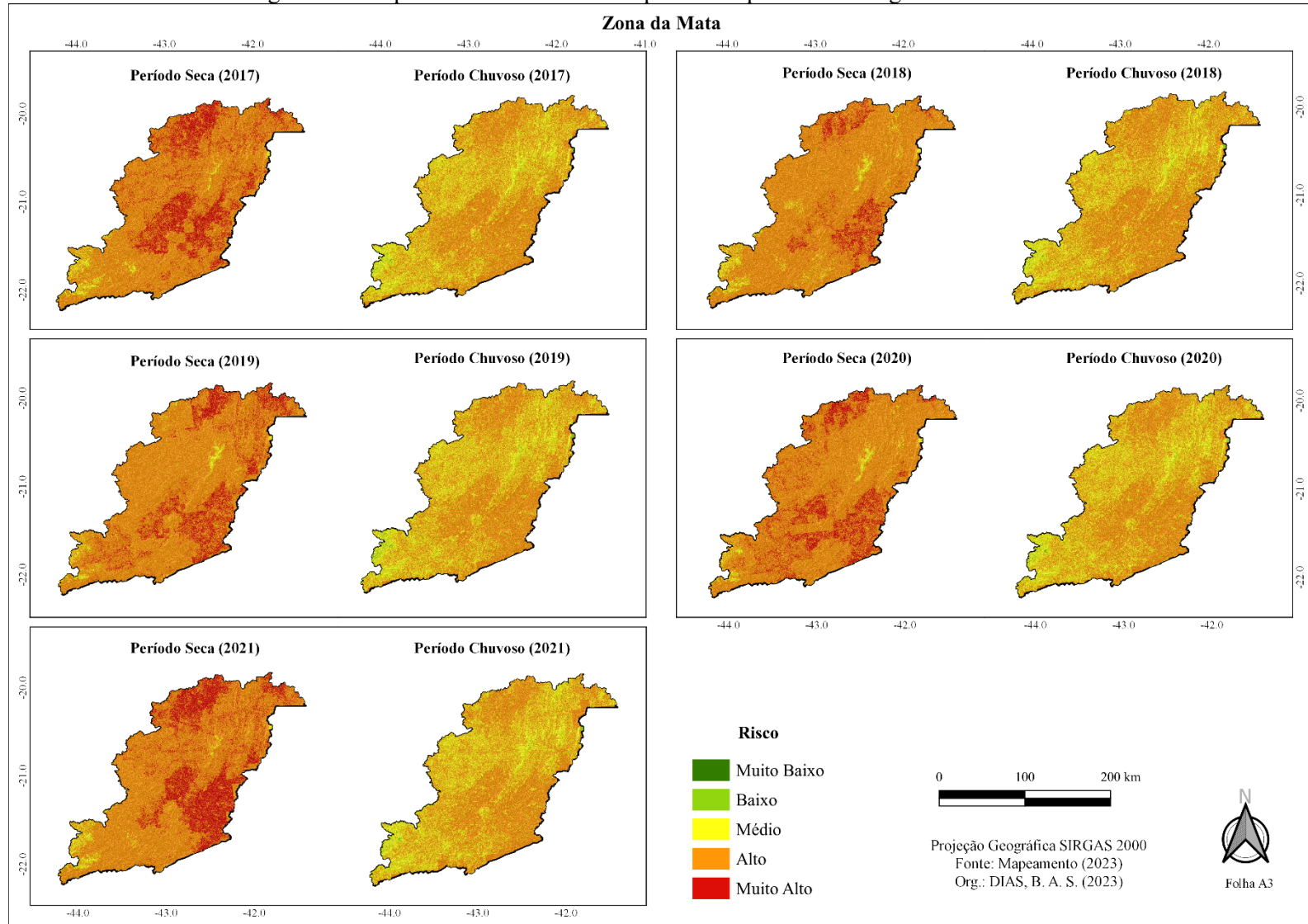
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Gráfico 38 - Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Zona da Mata (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

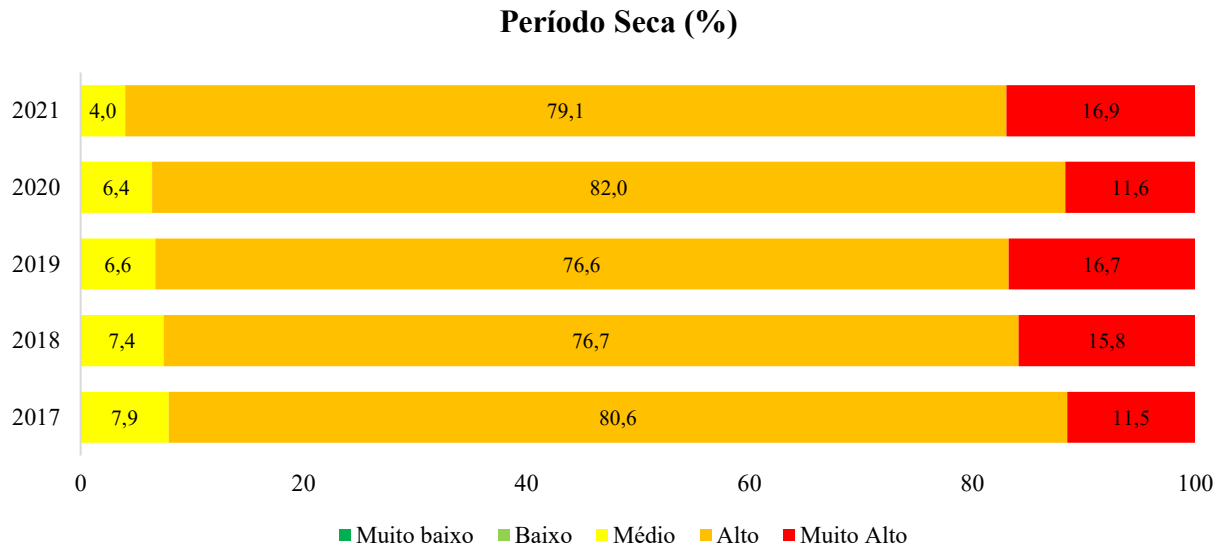
Figura 38 - Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Zona da Mata.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

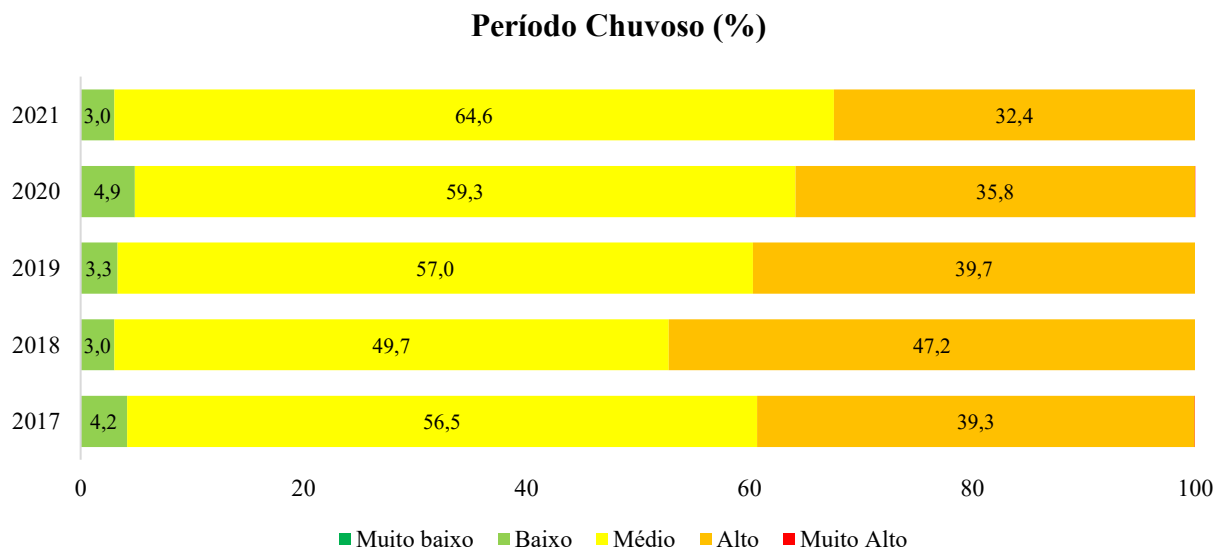
Para verificar a assertividade do método AHP obtido para análise de risco a queimadas e incêndios em Minas Gerais, foi realizada a comparação do arquivo de foco de calor com o mapa de risco em cada ano analisado (por período chuvoso e seca). Os resultados dos dados de focos por classe de risco são apresentados no Gráfico 10 e Gráfico 11.

Gráfico 39 - Percentual de área de risco a incêndios e queimadas em Minas Gerais no período de seca (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Gráfico 40 - Percentual de área de risco a incêndios e queimadas em Minas Gerais no período chuvoso (2017 a 2021)



Org.: DIAS, B. A. S. (2023).



Por meio da comparação dos dados, observa-se a predominância da classe de risco alto e muito alto no período da seca, período este, que caracteriza-se como o de maior incidências, constatando, portanto, que o perfil de risco se compatibilizou com as ocorrências. Além disso, no período de seca a maior parte dos focos foram identificados nas classes de alto (média de 79%), destaque para 2017 e 2020, com 80,6% e 82%. Para o risco muito alto, em todos os anos analisados, teve média de 14,5%, sendo que os anos de 2019 e 2021, registraram os maiores percentuais com 16,7% e 16,9%, respectivamente.

No período chuvoso houve um decréscimo nas classes de risco alto e muito alto e aumento da classe de risco médio que apresentou o resultado mais relevante (média de 57,4%), seguido da classe de risco alto (média de 38,9%).

Percebe-se que, enquanto no período de seca, o risco é predominante alto e muito alto, no período chuvoso, o percentual dessas classes tende a diminuir, e aumenta-se o percentual da classe de risco médio, constatando, que o clima exerce significativo controle sobre o risco de ignição e propagação do fogo tanto no período de seca quanto no período chuvoso.

As condições climáticas, tipos de uso e cobertura da terra, fontes de ignição tende a ser heterogêneas em todo o mundo, principalmente pelas ações antrópicas que alteram e modificam as paisagens de cada ecossistema, diminuindo ou aumentando os ciclos do fogo. Portanto, nenhum fator isolado pode explicar o padrão de risco dos incêndios e queimadas em Minas Gerais.

Vale ressaltar que, as regiões que apresentaram risco muito baixo e baixo normalmente não se encontraram na zona de influência de nenhum fator de peso maior na ocorrência de uma queimada ou incêndio, enquanto que, a relevância dos fatores escolhidos é observada nos intervalos de classe mais influentes, risco médio, alto e muito alto.

Os resultados obtidos tanto nas análises do método AHP quanto na comparação com os focos de queimadas e incêndios detectados pelo INPE, validam a metodologia utilizada e os mapas de risco do fogo.

## 5. CONCLUSÕES

---

Os mapas de risco de queimadas e incêndios espacializou satisfatoriamente as ameaças e a vulnerabilidade da área, trazendo resultados promissores e permitindo ações de gestão de incêndios e prevenção nas áreas críticas, possibilitando a melhoria e eficiência das medidas a serem tomadas e otimizando a utilização de recursos financeiros.

Salientamos que pretendemos contribuir para melhorar a capacidade de prever o risco de ignição dos incêndios e das queimadas, bem como fornecer informações para ajudar a definir e estimar as prioridades entre áreas de risco de propagação. Por isso, analisamos o risco de incêndio e queimadas durante um período de cinco anos (2017 a 2021), selecionamos algumas variáveis de importância física, climática e antrópicas favoráveis à ignição e/ou propagação das incidências do fogo, e assim produzimos os mapas de riscos de incêndio para todo o território mineiro.

O método AHP foi de fácil aplicação e mostrou bons resultados, sendo elaborada com a finalidade de ser aplicada em qualquer outro local e/ou estado. Entretanto, ressalta-se que novos critérios podem ser acrescentados, aprimorando os resultados aqui apresentados, considerando que o presente trabalho realiza a adaptação, aplicação e melhoria do método para tomada de decisões espaciais em condições de incerteza. Além disso, por ser um estado extenso, isso o torna ainda mais complexo e laborioso, necessitando-se de mais integração entre as diferentes regiões do estado e melhorias nas informações disponibilizadas.

Vale salientar que todos os dados utilizados na metodologia são dados secundários, ou seja, os dados já foram coletados e processados, cabendo ao pesquisador utilizá-los e analisá-los de acordo com o problema de pesquisa. Com isso, houve ganho em termos de agilidade e abrangência da pesquisa.

O período que compreende os meses de maio a setembro são meses em que temos a estação seca e estiagens associados a uma baixa umidade do ar, pressionando e favorecendo o princípio do poder evaporativo nos vegetais, tornando-os mais secos e mais combustíveis. Nesse período de seca, é necessária a intensificação das rondas e acompanhamento de focos de queimadas e incêndios por parte da gestão do estado de Minas Gerais. Com o auxílio do mapeamento de risco de incêndios e queimadas será possível prever o material e a logística necessária para cobrir as áreas de maior risco.

A variável antrópica que apresentou o maior peso em relação as demais foi a de uso e cobertura da terra, principalmente nas classes de agricultura e pastagem, cuja biomassa

apresenta alto grau de risco de combustão e alta capacidade de geração de incêndio de longa extensão territorial. Além disso, ocorrem em municípios com baixa densidade demográfica, altitudes mais baixas, terrenos de média declividade, áreas próximas as rodovias, e com baixa precipitação.

A densidade demográfica pode não resultar no aumento de incidências de fogo, exceto se esse aumento ocorrer em áreas menos habitadas. Nesse sentido, o modelo pode ser aprimorado se inserir as rodovias vicinais (rurais) e áreas distritais, pois conforme citado acima, as pastagens e áreas de cultivo agrícola são propícias a ocorrência, e conseqüentemente, o acesso a essas áreas pode influenciar a ignição e propagação do fogo.

As regiões de ocorrência para o intervalo de classe de risco muito alto em relação ao risco de incêndios e queimadas estão distribuídas, principalmente nas mesorregiões do Vale do Rio Doce, Vale do Mucuri e Zona da Mata. Estas regiões possuem forte influência da precipitação, temperatura, do uso da terra, onde há predominância da pastagem, da altitude e da localização das rodovias. Porém, tiveram os menores números de incêndios e queimadas registrados, isso pode ser explicado pela extensão territorial, que são relativamente menores quando comparado as mesorregiões Norte e o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba que são os maiores em extensão territorial e em número de incidências de focos. Com isso, pode-se dizer que, quanto maior a extensão territorial, maior será a probabilidade de ocorrer aumento no número de focos.

De acordo com os dados pesquisados e analisados, há uma oscilação de um ano para o outro em relação aos números de registro dos focos. De 2020 para 2021 houve aumento de mais de 3 mil focos de queimadas e incêndios. Com isso, podemos constatar que ao longo da história da legislação, houve a tentativa de buscar mecanismos para resolver o problema do fogo, seja com penalidades ou com multas, ou criando meios como o Prevfogo e o Programa Queimadas para monitoramento dos focos. Porém, há falhas de implementação na legislação ambiental brasileira no que tange o combate e prevenção das queimadas e incêndios, visto que, mesmo com uma legislação considerada completa e avançada, apresenta lacunas em sua aplicação, e conseqüentemente, o alto número de incidências.

Embora haja a necessidade de planos, metas e ações mais urgentes para reduzir as emissões de gases de efeito estufa a nível nacional e global, o Brasil, ainda assim caminha a passos lentos no que tange à fiscalização efetiva e na prevenção de incêndios e queimadas. Só em 2020, o Governo brasileiro desembolsou no combate ao fogo R\$ 9,99 milhões, enquanto que, para prevenção e controle de incêndios em áreas federais, a verba foi de 38,6 milhões e reais (PORTAL DA TRANSPARÊNCIA, 2020).

Analisando a longo prazo, com a concepção de que devemos atender às necessidades da geração atual sem prejudicar as gerações futuras, as mudanças tornam-se desafiadoras, e devem começar no que diz respeito a políticas públicas. O Governo deve revisar seu regime regulatório, como leis que fornecem apoio a ecossistemas em risco, não apenas para garantir a proteção das florestas, mas para impedir que incêndios de grandes proporções voltem a se repetir. Além disso, aumentar a efetivação e atuação dos órgãos competentes, criando diálogos entre cidadãos e representantes políticos.

Financiar e apoiar pesquisas científicas, pois estes estudos podem fornecer a caracterização, o entendimento, e o comportamento dos diversos tipos de vegetação e floresta, com isso, melhores maneiras de prever as áreas de alto risco de incêndios e queimadas.

Além disso, entender como as mudanças climáticas interferem no comportamento dos incêndios, monitorar e fiscalizar áreas que sofrem com o alto índice de incêndios e queimadas, incentivar a educação ambiental, com o intuito de aumentar o público e o foco através de trabalhos que integrem a sociedade, tradições e floresta, partindo da ideia de integrar a educação em segurança contra incêndios e mostrar as dimensões físicas e socioeconômicas associadas ao risco do fogo.

O mapeamento de risco a incêndios e queimadas com a aplicação de uma técnica de avaliação adequada torna-se um aparato essencial para prevenir e reduzir os danos provocados pelo fogo, e, numa escala a nível estadual, o estudo torna-se ainda mais fundamental na tomada de decisão, visto que Minas Gerais é o maior estado da Região Sudeste em extensão territorial e com a maior concentração de ocorrências de focos de queimadas e incêndios, o que pode agravar os problemas de detecção e combate, tornando mais complexo o conhecimento das características e padrões de distribuição espacial.

Este trabalho pode servir como incremento sobre um tema de estudo que já não é novo, mas carece de mais seguidores, estudando a especificidade dos locais do território onde o fenômeno dos incêndios e das queimadas se manifesta, contribuindo para que se adotem medidas preventivas adequadas e devidamente fundamentadas. Contudo, o fenômeno continuará a manifestar-se e estes estudos serão sempre um contributo para uma resposta melhor e mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

---

ABDO, Hazem Ghassan; ALMOHAMAD, Hussein; DUGHAIRI, Hmed Abdullah Al; AL-MUTIRY, Otirh. "GIS-Based Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process for Forest Fire Susceptibility Mapping in the Western Region of Syria". *Sustainability*, MDPI, vol. 14(8), pages 1-20, April, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14084668>

AGGARWAL, S. Principles of Remote Sensing. *In: SIVAKUMAR, M. V. K.; et al. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. Dehra Dun, India, World Meteorological Organization, 2004. p. 23-38.*

AHMED, M. R., HASSAN, Quazi K.; ABDOLLAHI, Masoud; GUPTA, Anil. **Introducing a New Remote Sensing-Based Model for Forecasting Forest Fire Danger Conditions at a Four-Day Scale. Remote Sensing**, 11, n. 18: 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11182101>.

AHRENS, M. **Lightning Fires and Lightning Strikes**. National Fire Protection Association, n. June, p. 1–38, 2013.

ALMEIDA, Fernando H. Mendes de. **Ordenações Filipinas: Ordenações e leis do Reino de Portugal Recopiladas por mandato d'el Rei Filipi, o Primeiro**. São Paulo: Saraiva, 1957.

ALVES, B. E. dos S. .; DAMASCENO , M. C. .; FERNANDES FILHO , A. S. .; CARNEIRO, F. da S.; OLIVEIRA , T. B. de .; SANTOS, A. M. A. dos .; AMORIM, M. B. .; PINHEIRO, K. A. O. . Analysis of fire outbreaks through geotechnology in the municipality of Santarém in the state of Pará-Brazil. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 11, p. e419111130062, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30062>. Acesso em: 14 sep. 2023. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.30062>

ARAÚJO, E. F.; CASTRO, C. A. Contextualização Histórica, Sócio Econômica e das Formas de Intervenções Públicas do Vale do Jequitinhonha: Um panorama do início dos anos dois mil. *Revista Vozes dos Vales – UFVJM – MG – Brasil – Nº 19 – Ano X – 05/2021 Reg.: 120.2.095–2011 – UFVJM – QUALIS/CAPEs – LATINDEX – ISSN: 2238-6424 – Disponível em: [www.ufvjm.edu.br/vozes](http://www.ufvjm.edu.br/vozes). Acesso em: 21 set. 2023.*

ARINO, O; *et al.* Methods of Mapping Burned Surfaces in Vegetation Fires. *In: AHERN, F. J.; GOLDAMMER, J. G.; C. O. Justice Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a Coordinated International Effort, 2001. The Hague: SPB, Academic Publishing. p. 227-255.*

ARMENTERAS D.; RODRÍGUEZ, N.; RETANA, J. Landscape Dynamics in Northwestern Amazonia: An Assessment of Pastures, Fire and Illicit Crops as Drivers of Tropical Deforestation. **PLoS ONE** 8(1): e54310, 201. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054310>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13860: Glossário de termos relacionados com segurança contra incêndio**. Rio de Janeiro, 1997.

AYALA, N. F.; FRANK, A. G. Métodos de análise multicritério: uma revisão das forças e fraquezas. 2013. XIII SEPROSUL – **Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana**. Junho de 2013, Gramado – Brasil. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/196504/000903880.pdf?sequence=1>>. Acesso em 18 mai. 2023.

BERCITO, Sonia de Deus Rodrigues. **O Brasil na década de 1940: autoritarismo e democracia**. São Paulo: Ática, 1999.

BISTINAS I., OOM D.; SÁ A. C. L.; HARRISON S. P.; PRENTICE I. C.; PEREIRA J. M. C. Relationships between Human Population Density and Burned Area at Continental and Global Scales. **PLoS ONE**, 8(12): e81188, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081188>.

BORGES, B. **Custos globais do desmatamento da Amazônia**. 2022. Disponível em: <https://blogdoibre.fgv.br/posts/custos-globais-do-desmatamento-da-amazonia>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BOUCHER, T; GOGUS, O.; WICKS, E. A Comparison Between Two Multiattribute Decision Methodologies Used in Capital Investment Decision Analysis. **The Engineering Economist**, v.42, n.3, p. 179, 1997. <https://doi.org/10.1080/00137919708903178>

BOUNTZOUKLIS, C., FOX, D. M., AND DI BERNARDINO, E: Environmental Factors Affecting Wildfire Burned Area In South-Eastern France, 1970-2019, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* [preprint], 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-174>.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei n.º 4.771 de 15 de setembro de 1965. Código Florestal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 16 de set. Seção 1. p. 9529-9531.

BRASIL. **Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 1981.

BRASIL. **Lei n.º 601, de 18 de setembro de 1850**. Dispõe sobre as terras devolutas do Império. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L0601-1850.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L0601-1850.htm). Acesso em: 10 fev. 2022.

BRASIL. Lei n.º 7.735, de 22 de fevereiro de 1989. Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 fev. 1989. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/17735.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17735.htm). Acesso em: 6 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Coordenação-Geral do Clima. 5. ed. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. 71 p., 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro\\_digital\\_5ed\\_estimativas\\_anuais.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro_digital_5ed_estimativas_anuais.pdf). Acesso em: 18 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Secretaria de Políticas para a Formação e Ações Estratégicas. Coordenação-Geral do Clima. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5. ed. Brasília, 2019.

BRUNDTLAND, G. H.; *et al.* **Our common future**; by world commission on environment and development. 1987, Oxford: Oxford University Press.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise de eventos pontuais. *In*: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

CAMPANHARO, W.; LOPES, A.; ANDERSON, L.; SILVA, T.; ARAGÃO, L. Translating Fire Impacts in Southwestern Amazonia into Economic Costs. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 764, 29 mar. 2019. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs11070764>.

CARDILLE, J. A; VENTURA, S. J.; TURNER, M. Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, United States. **Ecol. Appl.**, 2001, 11, p. 111-127. <https://doi.org/10.2307/3061060>

CATRY, Filipe X.; DAMASCENO, Pedro; SILVA, Joaquim S.; GALANTE, Miguel; MOREIRA, Francisco. Spatial Distribution Patterns of Wildfire Ignitions in Portugal. (2007). *In*: **Proceedings of the fourth International wildland fire conference**, 13-17, Ministerio de Medio Ambiente, Serrville, Spain, mai. 2007.

CNM (Confederação Nacional de Municípios). **Estudo técnico: os perigos das queimadas e incêndios florestais**. 2021. Disponível em: [https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/namidia/2021\\_namidia\\_INPE\\_Queimadas/20211119\\_CNM-ConfNacMunicipios\\_EstudoTencico.pdf](https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/namidia/2021_namidia_INPE_Queimadas/20211119_CNM-ConfNacMunicipios_EstudoTencico.pdf). Acesso em: 18 abr. 2022.

COCHRANE, M. A; LAURANCE, W. F. Synergisms among fire, land use, and climate change in the Amazon. **Ambio** 37(7-8): 522-527, 2008. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.522>

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS – CNM. **Os perigos das queimadas e incêndios florestais**. 2021. Disponível em: [https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/namidia/2021\\_namidia\\_INPE\\_Queimadas/20211119\\_CNM-ConfNacMunicipios\\_EstudoTencico.pdf](https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/namidia/2021_namidia_INPE_Queimadas/20211119_CNM-ConfNacMunicipios_EstudoTencico.pdf). Acesso em: 6 jul. 2022.

COSTA, Y. T; RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de Cerrado. **Revista Departamento de Geografia**. p.149-165. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/101686>. Acesso em: 09 set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v30i0.101686>

COUTO, Lucas Carrilho do. O atendimento dos municípios da mesorregião oeste de Minas às exigências da Lei de Diretrizes Orçamentárias. 2018. 163 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) - Universidade Federal de Alfenas, Varginha, MG, 2018.

CSIRO. **The 2019-20 bushfires: a CSIRO explainer**. 2020. Disponível em: <https://www.csiro.au/-/media/Environment/BushfireFactsheet060220.pdf>. Acesso em: 16 julho 2020.

CURTY. T. A. **Método de análise hierárquica aplicado ao mapeamento do risco de ocorrência de incêndios florestais no estado do Espírito Santo, Brasil**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Jerônimo Monteiro - ES, 2023. Disponível em: [https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/field/anexo/tcc\\_thuelem\\_azvedo\\_curty.pdf](https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/field/anexo/tcc_thuelem_azvedo_curty.pdf). Acesso em: 09 set. 2023.

DELOITTE ACCESS ECONOMICS. **The economic cost of the social impact of natural disasters**. Australia Business Roundtable for Disaster Resilience & Safer Communities, 2016. Disponível em: <http://australianbusinessroundtable.com.au/assets/documents/Report%20-%20Social%20costs/Report%20-%20The%20economic%20cost%20of%20the%20social%20impact%20of%20natural%20disasters.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020.

DENNIS, R., MEIJAARD, E., APPLGATE, G., NASI, R.; MOORE, P. Impact of human-caused fires on biodiversity and ecosystem functioning, and their causes in tropical, temperate and boreal forest biomes. **Technical Series**, n. 5. 2001. SCDB, 42p. Convention sur la diversité biologique, Montréal, Canada. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-05.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Disponível em: <https://189.9.128.64/mapasmultimodais/shapefiles/shapefiles>. Acesso em: 20 set. 2021.

DIARIO DE UBERLÂNDIA. **Incêndio teria destruído 10% do parque estadual do Pau Furado**. Disponível em: <https://diariodeuberlandia.com.br/noticia/22953/incendio-teria-destruido-10-do-parque-estadual-do-pau-furado>. Acesso em: 10 jul. 2020.

DIAS; *et al.* Monitoramento de focos de calor em Uberlândia-MG (2008-2019). **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2023, p. 221-224.

DIAZ, JOHN M. 2012. **Economic Impacts of Wildfire**. Southern Fire Exchange. Disponível em: [https://fireadaptednetwork.org/wp-content/uploads/2014/03/economic\\_costs\\_of\\_wildfires.pdf](https://fireadaptednetwork.org/wp-content/uploads/2014/03/economic_costs_of_wildfires.pdf). Acesso em: 10 jul. 2020.

DICIONÁRIO DE ECOLOGIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1998. Editado por: ART, H. W. Tradução: Mary Amazonas Leite de Barros.

DOWDY, Andrew; PURCELL, Luke; BOULTER, Sarah; MOURA, Livia Carvalho. **Wildfires under climate change: a burning issue**. 2022. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/wildfires-under-climate-change-burning-issue>. Acesso em: 18 mai. 2023.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA – EPL. Observatório Nacional de Transporte e Logística – ONTL. Boletim de logística: a importância do modo rodoviário para o Brasil. **Boletim de Logística**, s/d. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2022/10/A-Importancia-do-Modo-Rodoviario-para-o-Brasil.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Climate Change Indicators: Wildfires**. 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-wildfires>. Acesso em: 24 abr. 2023.

ESTADO DE MINAS. **Enquanto falta efetivo aos bombeiros, concursados lutam por nomeação**. 2020. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2020/10/12/interna\\_gerais,1193786/falta-efetivo-aos-bombeiros-e-concursados-lutam-por-nomeacao.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2020/10/12/interna_gerais,1193786/falta-efetivo-aos-bombeiros-e-concursados-lutam-por-nomeacao.shtml). Acesso em: 01 set. 2023.



ESTES, B. L.; KNAPP, E. E.; SKINNER, C.N.; MILLER, J. D.; PREISLER, H. K. **Factors influencing fire severity under moderate burning conditions in the Klamath Mountains, northern California.** USA. *Ecosphere*, 8(5), 2017. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1794>

FALCÃO, E. C. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista-PB.** 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2013.

FERNÁNDEZ, C.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J. M.; VEGA, J. A.; *et al.* Exploring the use of spectral indices to assess alterations in soil properties in pine stands affected by crown fire in Spain. *Fire ecol*, 17, 2 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1186/s42408-020-00089-7>.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de Risco de Incêndio por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), SP – Brasil. *Scientia Florestalis*, 53: 39 – 43, 1998.

FILIPPONI F. Exploitation of Sentinel-2 Time Series to Map Burned Areas at the National Level: A Case Study on the 2017 Italy Wildfires. *Remote Sensing*, 2019; 11(6):622. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11060622>.

GOEPEL, K. D. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, Vol. 10, Issue 3, 2018, p. 469-487. DOI: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>.

GONÇALVES, R. W., PINHEIRO, P. R., SOUSA, M. A. Métodos multicritério como auxílio à tomada de decisão na Bacia Hidrográfica do Rio Curu–Estado do Ceará. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, Curitiba, Brasil, 2003.

GONZALEZ, J. R.; PALAHI, M.; TRASOBARES, A.; *et al.* Erratum to: A fire probability model for forest stands in Catalonia (north east Spain). *Ann. For. Sci.* **64**, N1, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007047>.

GURSKI, B.; *et al.* **Conferência de Estocolmo: um marco na questão ambiental.** p. 69. Disponível em: <http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/admrevista/article/view/466/356>. Acesso em: 1º abr. 2021.

HALOFSKY, J. E.; PETERSON, D. L.; HARVEY, B. J. Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire ecol*, 16, 4 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0062-8>.

HENRY, M. C.; MAINGI, J. K.; MCCARTY, J. Fire on the Water Towers: Mapping Burn Scars on Mount Kenya Using Satellite Data to Reconstruct Recent Fire History. *Remote Sensing*, 2019; 11(2):104. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11020104>.

HESS, K. A.; CULLEN, C.; COBIAN-IÑIGUEZ, J.; RAMTHUN, J. S.; LENSKE, V.; MAGNESS, D. R.; BOLTEN, J. D.; FOSTER, A. C. Spruce J. Satellite-Based Assessment of Grassland Conversion and Related Fire Disturbance in the Kenai Peninsula, Alaska. *Remote Sensing*. 2019; 11(3):283. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11030283>.

HOJE EM DIA. **Parque da Serra do Cipó é reaberto nesta 2ª após ter 15% da área devastada por incêndio.** Disponível em: <https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/parque->

da-serra-do-cip%C3%B3-%C3%A9-reaberto-nesta-2%C2%AA-ap%C3%B3s-ter-15-da-%C3%A1rea-devastada-por-inc%C3%AAndio-1.749382. Acesso em: 10 jul. 2020.

HOLEMANN H., **Environmental Problems Caused by Fire and Fire-Fighting Agents**. Fire Safety Science - Fourth International Symposium, Proceedings, 1994, p61-p77. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.4-61>

HUF, B.; MCLEAN, H. 2019–20 Bushfires - Quick Guide. **Research Note**, n. 1, p. 20, 2020.

HUGHES, L; FENWICH, J. **The Burning Issue: Climate Change and the Australian Bushfire Threat** Sydney: Climate Council of Australia. 2015, 40 p. Disponível em: <https://www.climatecouncil.org.au/uploads/df9df4b05bc1673ace5142c3445149a4.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2020.

**IBAMA**. 2018. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/cif/186-acesso-a-informacao/institucional/1306-sobreoibama>. Acesso em: 28 ago. 2022.

**IBAMA. Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios florestais (Prevfogo)**. 2009. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>. Acesso em: 28 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2020. **População de Minas Gerais**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 14 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2022**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 ago. 2023.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios florestais**. Brasília: ICMBio, 2010.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. **Incêndios florestais**. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/unidades-de-conservacao/incendios-florestais>. Acesso em: 22 mai. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Nova rede de dados revela aumento da média anual de raios no Brasil e densidades de descargas com maior precisão para estados e municípios**. 2017 Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=72>. Acesso em: 22 mai. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. 2020. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 14 jun. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. 2023. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 14 jun. 2023.

KAFKA, Victor; GAUTHIER, Sylvie; BERGERON, Yves. "Fire Impacts and Crowning in the Boreal Forest: Study of a Large Wildfire in Western Quebec. **Aspen Bibliography**. **Paper**, 599,

2001. Disponível em: [https://digitalcommons.usu.edu/aspen\\_bib/599](https://digitalcommons.usu.edu/aspen_bib/599). Acesso em: 22 mai. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF01012>.

KÄSSMAYER, K.; FRAXE NETO, H. J. **A Entrada em Vigor do Acordo de Paris: o que muda para o Brasil?** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, nov. 2016. (Texto para Discussão n.º 215). Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em: 4 nov. 2019.

KNORR, W.; *et al.* Impact of human population density on fire frequency at the global scale. **Biogeosciences**, v. 11, n. 4, p. 1085-1102, 26 fev. 2014. Copernicus GmbH. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/bg-11-1085-2014>.

KOUTSIAS, N.; PLENIU, M. Comparing the spectral signal of burned surfaces between Landsat 7 ETM+ AND Landsat 8 OLI sensors. **International Journal of Remote Sensing**, 36, 3714-3732, 2015. DOI: [10.1080/01431161.2015.1070322](https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1070322).

KOVALSYKI; *et al.*, Inflamabilidade de espécies arbóreas para uso em cortinas de segurança na prevenção de incêndios florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155653/1/Inflamabilidade-de-especies-arboreas.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2022.

LAMAT, R.; KUMAR, M.; KUNDU, A.; *et al.* Forest fire risk mapping using analytical hierarchy process (AHP) and earth observation datasets: a case study in the mountainous terrain of Northeast India. **SN Appl. Sci.**, 3, 425, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0>.

LAVABRE, J; MARTIN, C. Impact d'un incendie de forêt sur l'hydrologie et l'érosion hydrique d'un petit bassin versant méditerranéen. In Walling, D. E; J. L. Probst (eds), Proceedings of Rabat Symposium S6, 1997. **Human Impact on Erosion and Sedimentation**, vol 245. IAHS Press, Wallingford, p. 39-47.

LI X, ZHANG H, YANG G, DING Y, ZHAO J. Post-Fire Vegetation Succession and Surface Energy Fluxes Derived from Remote Sensing. **Remote Sensing**. 2018; 10(7):1000. <https://doi.org/10.3390/rs10071000>

LINKOV, I; STEEVENS, J. **Appendix A: Multi-Criteria Decision Analysis**. Advances in experimental medicine and biology, v. 619, p. 815-829, 2008.

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, p. 151, 2020. MDPI AG. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12010151>.

LOMBARDI, R. J. R. **Estimativa de áreas queimadas com produtos MODIS como subsídios à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e cerrado brasileiros**. 2009, 187 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto de Pesquisa Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2009.

LOMBARDI, R. J. R. **Estudo da recorrência de queimadas e permanências de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do Cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat**. Dissertação (Mestrado), São José dos Campos, 2005.

LOUPIAN, E. A.; *et al.* Forest fires in Russia: specifics of the 2019 fire season. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli Iz Kosmosa*, v. 16, n. 5, p. 356-363. **Space Research Institute RAS**, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-356-363>.

LUCAS; *et al.*, Inflamabilidade de espécies arbóreas para utilização em cortinas de segurança na interface urbano-rural. **Biodiversidade**, v. 20, n.2, 2021, p. 32. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/12597>. Acesso em: 22 mai. 2022.

MA, C.; PU, R.; DOWNS, J.; JIN, H. Characterizing Spatial Patterns of Amazon Rainforest Wildfires and Driving Factors by Using Remote Sensing and GIS Geospatial Technologies. **Geosciences**, 12, 237, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences12060237>.

MAAP. **MAAP #110: Major Finding - Many Brazilian Amazon Fires follow 2019 Deforestation.** 2019.

MACIEL, J. F. R.; AGUIAR, R. **História do direito.** 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Desmatamento 2022** - São Paulo, Brasil - MapBiomass, 2023 - 125p. Disponível em: [://storage.googleapis.com/alerta-public/dashboard/rad/2022/RAD\\_2022.pdf](https://storage.googleapis.com/alerta-public/dashboard/rad/2022/RAD_2022.pdf). Acesso em: 02 set. 2023.

MARTIN R. E; SAPSIS D. B. Fires as agents of biodiversity: pyrodiversity promotes biodiversity. 1992. *In*: KERNER, H. M. (Ed). **Proceedings of the Conference on Biodiversity of Northwest California**, 1991. Berkeley, CA: University of California. p. 150-157. Disponível em: <https://www.sierraforestlegacy.org/Resources/Conservation/FireForestEcology/FireScienceResearch/FireEcology/FireEcology-Martin91.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2020.

MARTIN, D; TOMIDA, M.; MEACHAM, B. Environmental impact of fire. *Environmental impact of fire. Fire Science Reviews*, v. 5, n. 1, p. 1-21, 8 set. 2016. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s40038-016-0014-1>.

MASSA, Eric Macedo; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 24, p. 57-79, ago. 2012. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/52754/56609>. Acesso em: 22 mai. 2022. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0024.0004>

MEADOWS, DONNELA H.; *et al.* **The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind.** New York: Universe Books, 1972, 205 p. DOI: <https://doi.org/10.1177/0002764272015006>.

MENDONÇA M. J. C.; DIAZ, M. D. C. V.; NEPSTAD, D.; MOTTA, R. S. DA.; ALENCAR, A., GOMES, J.C.; ORTIZ, R.A. The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecol. Econ.**, 49 (1), 2004, p. 89-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.11.011>.

MINAS GERAIS. Centro Integrado de Defesa Social (CINDS). Anuário Estatístico do CINDS/CBMMG, 2020. **Estatísticas de Incêndio Florestal do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.** Belo Horizonte: CBMMG, 2021.

MINAS GERAIS. **Constituição (1989)**. Constituição do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 1997.

MINAS GERAIS. **Decreto n.º 18.466, de 29 de abril de 1977**. Institui a Comissão de Política Ambiental - COPAM - e dá outras providências. Diário do Executivo de Minas Gerais, 30 abr. 1977. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1041>. Acesso em: 20 abr. 2015.

MINAS GERAIS. **Decreto n.º 21.228, de 10 de março de 1981**. Regulamenta a Lei n.º 7.772, de 08 de setembro de 1980, que dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1098>. Acesso em: 06 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto n.º 39.792, de 5 de agosto de 1998**. Regulamenta a Lei de n.º 10.312, de 12 de novembro de 1990, que dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=687>. Acesso em: 18 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto n.º 45.960, de 02 de maio de 2012**. Dispõe sobre a Força Tarefa Previncêndio – FTP – instituída no âmbito do Programa de Prevenção e Combate a Incêndios – Previncêndio. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/45960/2012/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto n.º 46.953, de 23 de fevereiro de 2016**. Dispõe sobre a organização do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, de que trata a Lei n.º 21.972, de 21 de janeiro de 2016. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=40255>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MINAS GERAIS. Decreto n.º 47.383, de 02 de março de 2018. **Estabelece normas para licenciamento ambiental, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/47383/2018/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto n.º 47.919, de 17 de abril de 2020**. Regulamenta o uso de fogo para fins de prevenção e de combate a incêndios no interior e no entorno de Unidades de Conservação instituídas pelo Poder Público estadual. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/47919/2020/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto n.º 48.028, de 28 de agosto de 2020**. Altera o Decreto n.º 47.998, de 1º de julho de 2020, que regulamenta a Lei n.º 14.130, de 19 de dezembro de 2001, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico no Estado e dá outras providências. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/48028/2020/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual n.º 21.972, de 21 de janeiro de 2016**. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA – e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br>. Acesso em: 16 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual n.º 7.772, de 8 de setembro de 1980**. Dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente. Belo Horizonte, 1980. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br>. Acesso em: 06 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei n.º 10.312, de 12 de novembro de 1990**. Dispõe sobre a prevenção e o combate a incêndio florestal e dá outras providências. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/10312/1990/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei n.º 14.130, de 19 de dezembro de 2001 (Lei 14130/01)**. Belo Horizonte, MG: Assembleia Legislativa de Minas Gerais, 2001. Disponível em: <http://www.bombeiros.mg.gov.br/component/content/article/489leis.html>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei n.º 2.606, de 05 de janeiro de 1962**. Governo de Minas Gerais. 8 de fevereiro de 1962. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-2606-1962-minas-gerais-fica-criado-o-instituto-estadual-de-florestas>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei n.º 20.922, de 16 de outubro de 2013**. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/20922/2013/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei n.º 24.086, de 04 de maio de 2022**. Altera a Lei n.º 20.922, de 16 de outubro de 2013, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/24086/2022/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

MOLA, J. M.; N. M. WILLIAMS. Fire-induced change in floral abundance, density, and phenology benefits bumble bee foragers. **Ecosphere** 9(1), 2018. DOI:10.1002/ecs2.2056.

MORELLO, T. F.; *et al.* Fires in Brazilian Amazon: why does policy have a limited impact? **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 19-38, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0232r1v2042017>.

MORRISON, P. H. **Roads and wildfires**. Washington: Pacific Biodiversity Institute, Winthrop, 40p, 2007.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; *et al.* Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. **Global Change Biol**, 14: 2262-2275, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01652.x.

NAÇÕES UNIDAS. **ODS: Objetivos**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods15/>. Acesso em: 29 mai. 2020.

NASA. 2019. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2019/huge-wildfires-in-russias-siberian-province-continue/>. Acesso em: 13 nov. 2021.

NASCIMENTO, I. V. Cerrado: o fogo como agente ecológico. **Territorium**. v. 8; 2001. Disponível em: [https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T08\\_artg/T08\\_artg03.pdf](https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T08_artg/T08_artg03.pdf). Acesso em: 09 set. 2023. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_8\\_3](https://doi.org/10.14195/1647-7723_8_3)

NATIONAL WILDFIRE COORDINATING GROUP. NWCG fireline handbook appendix B. National Wildfire Coordinating Group PMS 410-2. (Boise, ID, USA), 2006. Available at. Disponível em: [https://www.nwcg.gov/sites/default/files/hist\\_pms310-1-2006.pdf](https://www.nwcg.gov/sites/default/files/hist_pms310-1-2006.pdf). Acesso em: 21 mai. 2021.

NHONGO, E. J. S.; FONTANA, D. C.; GUASSELLI, L. A. Padrões espaciais mensais de focos de calor a partir de estimativa de densidade de Kernel, na reserva do Niassa – Moçambique. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2011, p. 171-174.

NIELSEN-PINCUS, Max; EVERS, Cody; MOSELEY, Cassandra; HUBER-STEARN, Heidi; BIXLER, R. Patrick. Local Capacity to Engage in Federal Wildfire Suppression Efforts: An Explanation of Variability in Local Capture of Suppression Contracts. **Forest science**, 64(5): 480-490, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.08.010>.

NIETO, H; *et al.* Lightning-caused fires in Central Spain: development of a probability model of occurrence for two Spanish regions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 162/163, p. 35-43, 2012. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.04.002](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.04.002).

NOVO, Benigno Núñez. **A história do direito colonial brasileiro**. 2019. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/76523/a-historia-do-direito-colonial-brasileiro>. Acesso em: 20 jul. 2022.

NYAMADZAWO, G.; GWENZI, W.; KANDA.; KUNDHLANDE, A. Understanding the causes, socio-economic and environmental impacts, and management of veld fires in tropical Zimbabwe. **Fire Sci Rev**, 2 (2), 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-2>.

OCB - Organização das Cooperativas Brasileiras. Revisão do Código Florestal: o desafio de preservar e produzir. Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo (Sescoop), Setor de Autarquias Sul (SAUS) – [www.brasilcooperativo.coop.br](http://www.brasilcooperativo.coop.br), Quadra 4 – Bloco I – Brasília-DF. 20p. 2011. Disponível em: <http://www.luizprado.com.br/wpcontent/images/OCB-C%C3%B3digo-Florestal.pdf>. Acesso em 30 go. 2023.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. **Climate Change and Land**. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. 2019. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM\\_Approved\\_Microsite\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf). Acesso em: 15 jun. 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, jul. 2009. Oxford University Press (OUP). DOI: [http://dx.doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10](https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10).

PAVEGLIO T. B.; *et al.* Understanding social impact from wildfires: advancing means for assessment. **International Journal Of Wildland Fire**, v. 24, n. 2, p. 212-224, 2015. CSIRO Publishing. DOI: [http://dx.doi.org/10.1071/wf14091](https://doi.org/10.1071/wf14091).

PENHA, T. V. **Detecção de áreas queimadas na Amazônia utilizando imagens de média resolução espacial, técnicas de GEOBIA e mineração de dados**. 2018. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

PEREIRA, Anete Marília Pereira. Múltiplos Olhares sobre a Região Norte de Minas. Revista Cerrados v.4 – n.1 – 2006. Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES.

PERIS-LLOPIS, M.; GONZALEZ-OLABARRIA, J. R.; MOLA-YUDEGO, B. Size dependency of variables influencing fire occurrence in Mediterranean forests of Eastern Spain. **Eur. J. For. Res.**, 2020, 139, 525–537. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01265-9>.

PIMENTEL, P. de C. G. Breve estudo sobre a ocorrência de Buriti e de suas variantes como designativos toponomásticos na mesorregião Central Mineira. **Revista GTLex**, Uberlândia, v. 6, n. 1, p. 118–128, 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/GTLex/article/view/57523>. Acesso em: 21 set. 2023. <https://doi.org/10.14393/Lex11-v6n1a2020-7>

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. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>

PONISIO, L. C; *et al.* Pyrodiversity begets plant–pollinator community diversity. **Global Change Biology**, v. 22, n. 5, p. 1794-1808, 29 fev. 2016. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13236>.

PORDATA. **Estatísticas sobre Portugal e Europa**. Superfície ardida. 2020. Disponível em: <http://www.pordata.pt>. Acesso em: 20 jul. 2022.

**PORTAL DA TRANSPARÊNCIA**. 2020. Disponível em: <https://portaldatransparencia.gov.br/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Rev. Estudos Avançados**, 31, (89), 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v31n89/0103-4014-ea-31-89-0271.pdf>. Acesso: 06 ago. 2022. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>

PREFEITURA DE GOVERNADOR VALADARES. **SCO: incêndio que atingiu Pico da Ibituruna é combatido**. Disponível em: <https://www.valadares.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/sco-incendio-que-atingiu-pico-da-ibituruna-e-combatido/86904>. Acesso em: 24 jun. 2020.

PRESTEMON J. P.; HAWBAKER, T. J.; BOWDEN, M.; CARPENTER, J.; BROOKS, M. T.; ABT, K. L; SUTPHEN, R.; SCRANTON, S. **Wildfire ignitions**: a review of the science and recommendations for science and recommendations for empirical modeling. USDA Forest Service, Southern Research Station, General Technical Report SRS-GTR-171. Asheville, NC, USA, 2013. <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-171>

PRODON, R.; FONS, R.; PETER, A. M. L'impact du feu sur la végétation, les oiseaux et les micro-mammifères dans diverses formations méditerranéennes des Pyrénées orientales: premiers résultats. **Rev Ecol Terre Vie**, v.39, p. 129-158, 1984. <https://doi.org/10.3406/revec.1984.5098>

PROJETO MAP BIOMAS. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/produtos>. Acesso em: 15 nov. 2022.



PROJETO MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/relatorios/MBI-relatorio-desmatamento-2019-FINAL5.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2020.

RÁBADE, J. M.; ARAGONESES, C. Social impact of large-scale forest fires. *In: Proceedings of the Second International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: A Global View*. General Technical report PSW-GTR-208, Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 2008. 720 p.

RAJÃO, R; et al. **Uma Breve História da Legislação Florestal Brasileira: contém a Lei nº 12.651, de 2012, com comentários críticos acerca da aplicação de seus artigos**. 2021. Disponível em: [https://observatorioflorestal.org.br/wp-content/uploads/2021/05/LIVRO\\_LEGISLACAO\\_FLORESTAL.pdf](https://observatorioflorestal.org.br/wp-content/uploads/2021/05/LIVRO_LEGISLACAO_FLORESTAL.pdf). Acesso em: 02 set. 2023.

RAMÍREZ GOMEZ, E. Amazon wildfire crisis Need for an international response. **European Parliamentary Research Service**, nov. 2019. p. 1-12.

RAWLS, John. **Uma Teoria da Justiça**. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

Revista Proteção. **Diagnóstico dos Bombeiros**. 2016. Disponível em: [https://www.protecao.com.br/upload/emergencia\\_materiaarquivo/66.pdf](https://www.protecao.com.br/upload/emergencia_materiaarquivo/66.pdf). Acesso em: 01 set. 2023.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. DE. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**, 16(44), 125-148, 2002. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9852>. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000100008>.

RIBEIRO, M. C DE C. R.; ALVES, A. da S. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, 11(3), 270–281, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n3.988>.

RIBEIRO, W. C. **A ordem ambiental internacional**. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2001.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU, Ed. 7, 2009, 260 p. <https://doi.org/10.14393/EDUFU-978-85-7078-219-9>

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, (6): 63 - 74. 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

ROZANTE, José Roberto; GUTIERREZ, Enver Ramirez; FERNANDES, Alex de Almeida; VILA, Daniel A. Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations, **International Journal of Remote Sensing**, 41:19, 7585-7604, 2020. DOI: 10.1080/01431161.2020.1763504.

ROZANTE, José Roberto; RAMIREZ, Enver; FERNANDES, Alex de Almeida. A newly developed South American Mapping of Temperature with estimated lapse rate corrections. **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 4, p. 2135-2152, 2022. <https://doi.org/10.1002/joc.7356>

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in a hierarchich structure. **Journal of Mathematical Psychology**,15, p. 234-281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, 1991.

SANO, E. E.; *et al.* Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818-828, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.108.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 93-100, 24 ago. 2006. Universidade Federal do Paraná. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v36i1.5510>.

SANTOS, S. A.; *et al.* **Guia para uso do fogo no manejo de pastagem em nível de fazenda no Pantanal**. 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220168/1/DOC-168-Guia-fogo-manejo-pastagem-2020.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

SANTOS, S. M. B. dos; *et al.* Análise do grau de severidade em área queimada no Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia: estudo comparativo em dados dos sensores MUX-IRS/CBERS-4 e OLILANDSAT-8. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, 18, 2017, p. 4351-4358.

SCHNEIDER, R. G.; BREEDLOVE, D. **Fire Management Study Unit**. 38p. Disponível em: [https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/fsm9\\_028958.pdf](https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fsm9_028958.pdf). Acesso em: 22 ago. 2021.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations**. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 360. U.S. Department of Agriculture (USDA) Forest Service, Washington, 1970.

SCHUMACHER, M. V.; DICK, G. **Incêndios florestais**. 3. Ed. Santa Maria – UFSM, CCR, Departamento de Ciências florestais, 2018. 153 p.

SENA, L. M. M. **Conheça e Conserve a Caatinga - O Bioma Caatinga**. 2011. Disponível em: <http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/2sem2015/novembro/Nov.15.33.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR. **Fogo: prevenção e controle no meio rural**. Brasília: Senar, 2018. 88p.

SETZER, A. W.; FERREIRA, N. J.; MORELLI, F. O programa queimadas do INPE. *In: SETZER, A. W.; FERREIRA, N. J. (Orgs.). Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital*. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. p. 19-48.

SILVA, R. W.; *et al.*; (2019) Mapa de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no Estado do Rio de Janeiro. Disponível: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/sedecarquivos/Mapa-de-susceptibilidade--ocorrncia-de-focos-de-calor-no-Estado-do-Rio-de-Janeiro.pdf>. Acesso em: mai. de 2023.

SILVA, R. M. **Incêndio Florestal no CBMMG: análise da demanda operacional na região do Segundo Comando Operacional de Bombeiros 2020**, 136 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão, Proteção e Defesa Civil) - Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: [http://monografias.fjp.mg.gov.br/bitstream/123456789/2766/1/CEGEDEC20%20-%20TCC%20Roneci%20Marcos%20Silva\\_PDFa.pdf](http://monografias.fjp.mg.gov.br/bitstream/123456789/2766/1/CEGEDEC20%20-%20TCC%20Roneci%20Marcos%20Silva_PDFa.pdf). Acesso em: 24 ago. 2021.

SIMÕES; *et al.* Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/download/41493/27319>. Acesso em: 16 jul. 2020.

SINGH, A. **Case Study on 2019 Australian Bushfire**. April, 2020.

SISEMA. 2011. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/iH0\\_SFkQwQUyvMe4tLRZ2qAr0i7fKKtC.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/iH0_SFkQwQUyvMe4tLRZ2qAr0i7fKKtC.pdf). Acesso em: 16 jul. 2020.

SIVRIKAYA, Fatih; KÜÇÜK, Ömer. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, Vol. 68, 2022, 101537. ISSN 1574-9541. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954121003289>. Acesso em: 15 mai. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>

SOARES, V. R. **Análise do novo Código Florestal Brasileiro e sua implicação na conservação de solo e água**. TCC (Graduação em Geografia). Ituiutaba, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32287/4/An%C3%A1liseNovoC%C3%B3digo.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

SOUTO, C. A.; FREITAS, A. C. V.; MARTINS, G. Influência das Condições Meteorológicas Atuais e Futuras na Ocorrência de Queimadas e Incêndios florestais no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 5, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2755-2770>

SOUZA, M. A. **Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas**. 2015. [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18997/1/2015\\_MichelAquinodeSouza.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18997/1/2015_MichelAquinodeSouza.pdf).

SUN, H.; RONG, Z. G.; LIU, C.; LIU, J.J.; ZHANG, Y.; ZHANG, P.; WANG, X. L.; GAO, W. Spectral Characteristics of Infrared Radiation from Forest Fires. *In: Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability*, 3rd Edition; Gao, W., Ustin, S.L., Eds.; Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers: Washington, DC, USA, 2006; p. 1-9. DOI:10.1117/12.679775.

TAMININI, C. R. **Análise crítica do Código Florestal Brasileiro**. TCC (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos e Planejamento Ambiental). Ourinhos-SP, 2012. Disponível em: [http://vampira.ourinhos.unesp.br/bou/tcc/P%C3%B3s\\_gradua%C3%A7%C3%A3o\\_1%C2%AA\\_edi%C3%A7%C3%A3o/Cristina%20Rincon%20Tamanini/monografia%20final.pdf](http://vampira.ourinhos.unesp.br/bou/tcc/P%C3%B3s_gradua%C3%A7%C3%A3o_1%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o/Cristina%20Rincon%20Tamanini/monografia%20final.pdf). Acesso em: 02 set. 2023.

TEDIM F., BARROS I., CAMPOS P.; CARVALHO S. A Relevância das Variáveis Demográficas na Explicação dos Incêndios florestais, p. A Dimensão Social dos Incêndios florestais. **Para uma Gestão Integrada e Sustentável**, 2012, p. 135-171. Edition: PortoChapter. Estratégias Criativas Editors: Fantina Tedim, Douglas Paton. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/263697980\\_A\\_Relevancia\\_das\\_Variaveis\\_Demograficas\\_na\\_Explicacao\\_dos\\_Incendios\\_florestais](https://www.researchgate.net/publication/263697980_A_Relevancia_das_Variaveis_Demograficas_na_Explicacao_dos_Incendios_florestais). Acesso em: 15 jul. 2020.

TIAN, Y; WU, Z.; LI, M.; WANG, B.; ZHANG, X. Forest Fire Spread Monitoring and Vegetation Dynamics Detection Based on Multi-Source Remote Sensing Images. **Remote Sens.**, 2022, 14, 4431. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14184431>.

TORRES F. T. P.; RIBEIRO G. A.; MARTINS S. V, LIMA G. S. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, 2011; 35(1): 143-150. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000100017>.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. **Influência do Relevo nos Incêndios em Vegetação em Juiz de Fora (MG)**. Universidade Federal de Viçosa, 2016. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2016.v18i36.a13748>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global**. 2015. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 30 abr. 2020.

VAISALA. **Lightning Strikes Decrease to 17 Million in the U.S. in 2018, an 11 Percent Drop From 10-Year Average**. 2019. Disponível em: <https://www.vaisala.com/en/press-releases/2019-01/lightning-strikes-decrease-17-million-us-2018-11-percent-drop-10-year-average>. Acesso em: 10 jun. 2020.

VENNETIER, M. Les impacts du feu sur les écosystèmes: impacts sur l'environnement. **Forêt Entreprise**, n. 185, p. 30-31.

VIEGAS, D. X. (2004) Cercados pelo fogo. Coimbra: Editorial Minerva.

VIEIRA, G. H. **Análise e comparação dos métodos de decisão multicritério AHP Clássico e Multiplicativo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.

VILAS, C. **Análise da Aplicação de Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) na Gestão de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/Analise%20da%20Aplicacao%20de%20Metodos%20Multicriterios%20de%20Apoio%20a%20Decisao%20na%20Gestao%20de%20Recursos%20Hidricos.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2023.

VISCONTI, G. R.; SANTOS, M. C. **Região Sudeste: recuperando para desenvolver**. 2014. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13074/3/Regi%C3%A3o%20Sudeste%20-%20recuperando%20para%20desenvolver\\_7\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13074/3/Regi%C3%A3o%20Sudeste%20-%20recuperando%20para%20desenvolver_7_P_BD.pdf). Acesso em: 30 jul. 2022.

WEGLARCZYK, Stanislaw. "Kernel density estimation and its application". **ITM Web of Conferences**, Vol. 23. EDP Sciences, 2018. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20182300037>

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. de S. Análise da precipitação e sua influência na ocorrência de incêndios no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 6, n. 1, 2011. Disponível em: [https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/528/1/AnaliseIncendios .pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/528/1/AnaliseIncendios.pdf). Acesso em: 30 jul. 2022. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.180>

YE, Tao; *et al.* Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in East China. **PloS one**, vol. 12,2 e0172110. 16, feb. 2017, DOI: 10.1371/journal.pone.0172110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172110>

ZHOU, ZHIWEI, LIN LIU, LIMING JIANG, WANPENG FENG, AND SERGEY V. SAMSONOV. 2019. Using Long-Term SAR Backscatter Data to Monitor Post-Fire Vegetation Recovery in Tundra Environment. *Remote Sensing* 11, no. 19: 2230. <https://doi.org/10.3390/rs11192230>.

## ANEXO I

Quadro 6 - Classes de uso e cobertura da terra Mapbiomas - Coleção 7

COLEÇÃO 7 - CLASSES		ID	Color number	
<b>1. Floresta</b>		1	#129912	
1.1 Formação Florestal				
Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo - Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual.			
Cerrado	Tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) (Ribeiro & Walter, 2008), além de florestas estacionais semidecíduais.	3	#006400	
Mata Atlântica	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea.			
1.2. Formação Savânica				
Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo -Savana-Estépica Arborizada, Savana Arborizada.			
Cerrado	Formações savânicas com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre).	4	#00ff00	
Mata Atlântica	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas.			
<b>2. Formação Natural não Florestal</b>		10	#bbfcac	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa				
Cerrado	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo sujeita ao alagamento sazonal (ex. Campo Úmido) ou sobre influência fluvial/lacustre (ex. Brejo). Em algumas regiões a matriz herbácea ocorre associada às espécies arbóreas de formação savânica (ex. Parque de Cerrado) ou de palmeiras (Vereda, Palmeiral).	11	#45c2a5	
Mata Atlântica	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre.			
2.2. Formação Campestre				
Caatinga	Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas (Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa) + (Áreas inundáveis com uma rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo dos cursos de água e em áreas de depressões que acumulam água, vegetação predominantemente herbácea a arbustiva).	12	#b8af4f	
Cerrado	Formações campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) e algumas áreas de formações savânicas como o Cerrado rupestre.			
Mata Atlântica	Savanas e Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas.			
2.3. Apicum		32	#968c46	
2.4. Afloramento Rochoso				
Caatinga	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade.	29	#ff8C00	
Cerrado	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupestre e alta declividade.			
Mata Atlântica	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade.			
2.5 Restinga Herbácea		50	#66ffcc	
2.6. Outras Formações não		13	#bdb76b	
<b>3. Agropecuária</b>		14	#ffffb2	
3.1. Pastagem	Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas.	15	#ffd966	
3.2. Agricultura		18	#e974ed	

3.2.1. Lavoura Temporária		19	#d5a6bd	
3.2.1.1. Soja	Áreas cultivadas com a cultura da soja.	39	#c59ff4	
3.2.1.2. Cana	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar	20	#c27ba0	
3.2.1.3. Arroz (beta)	Áreas cultivadas com cultura de arroz, exclusivamente sob sistema de irrigação, nos estados do Rio Grande do Sul, Tocantins, Santa Catarina e Litoral do Paraná. Este mapa é o mesmo apresentado no módulo irrigação na classe "Arroz Irrigado".	40	#982c9e	
3.2.1.4. Algodão (beta)	Áreas cultivadas com a cultura do algodão.	62	#660066	
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.	41	#e787f8	
3.2.2. Lavoura Perene		36	#f3b4f1	
3.2.2.1. Café	Áreas cultivadas com a cultura do café.	46	#cca0d4	
3.2.2.2. Citrus	Áreas cultivadas com a cultura do citrus.	47	#d082de	
3.2.1.3. Outras Lavouras Perenes	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio. Nessa versão, o mapa abrange majoritariamente áreas de caju, no litoral do nordeste e dendê na região nordeste do Pará, porém sem distinção entre eles.	48	#cd49e4	
3.3. Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).	9	#935132	
3.4. Mosaico de Usos				
Caatinga	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.	21	#fff3bf	
Cerrado	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.			
Mata Atlântica	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.			
<b>4. Área não Vegetada</b>		22	#ea9999	
4.2. Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.	24	#af2a2a	
4.3. Mineração	Áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação por ação antrópica. Somente são consideradas áreas próximas a referências espaciais de recursos mineiros do CPRM (GeoSGB), da AhkBrasilien (AHK), do projeto DETER (INPE), do Instituto Socioambiental (ISA) e de FL Lobo <i>et al.</i> , 2018.	30	#8a2be2	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas				
Caatinga	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.	25	#ff99ff	
Cerrado	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entresafra.			
Mata Atlântica	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.			
<b>5. Corpo D'água</b>		26	#0000ff	
5.1. Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.	33	#0000ff	
5.2. Aquicultura	Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura.	31	#29eee4	
6. Não observado	s bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico, ou com ausência de observação.	27	#D5D5E5	

Referências: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual técnico de uso da terra, IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 1999, 58p.; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira, 2nd ed., IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 2012, p. 157-160; Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. Manual for integrated field data collection. FAO: Rome, Italy, 2012, 175p.; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, Brasília, 2020, 620 p.