

Mapeamento dos riscos de queimadas e incêndios no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba - MG (Brasil)

Mapping the risks of burning and fires in the Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba - MG (Brazil)

Bruna Aparecida Silva Dias, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, brunadiasgeo@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9344-1328>

Jussara dos Santos Rosendo, Instituto de Ciências Humanas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, jussara.rosendo@ufu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-0817-6604>

Jorge Luís Silva Brito, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, jbrito@ufu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-9884-3289>

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 abordado na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo geral propor um mapeamento para os riscos de queimadas e incêndios no período de 2017 a 2021, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba no estado de 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 resultados apontam que, no período da seca, o risco passou de 7,8% (2018) para 30,7% (2021) da área classificada no risco muito alto. Constata-se que essas áreas foram em baixas altitudes, próximo às rodovias, com baixa declividade, e cujo uso da terra foi identificado como pastagens. Portanto, acredita-se que todas as variáveis físicas e antrópicas tiveram significativa importância para expressar esse alto percentual. Quanto ao período chuvoso, as classes de risco médio e alto, se mantiveram quase na mesma proporção, variando de um ano para o outro, entretanto, o percentual não ultrapassou a casa dos 50% em ambas as classes.

Palavras-chave: Incêndios; Queimadas; Processo Hierárquico Analítico; Geotecnologias.

Abstract: From 2002 to 2016, approximately 423 million hectares of the Earth's surface burned annually. However, four factors 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 the Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba region, in the state of Minas Gerais. Therefore, this research had the general objective of proposing a mapping for the risks of fires and fires in the period from 2017 to 2021, in the mesoregion of Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba in the state of Minas Gerais, based on the multi-criteria spatial analysis model, aiming to contribute to a better knowledge of occurrences, as well as improving risk management, through the identification of these areas. The results indicate that, during the drought period, the risk increased from 7.8% (2018) to 30.7% (2021) of the area classified as very high risk. It appears that these areas were at low altitudes, close to highways, with low slope, and whose land use was identified as pastures. Therefore, it is believed that all physical and anthropogenic variables had significant importance in expressing this high percentage. As for the rainy season, the medium- and high-risk classes remained almost the same proportion, varying from one year to the next. However, the percentage did not exceed 50% in both classes.

Keywords: Wildfires; Burns; Analytic Hierarchy Process; Geotechnologies.

Introdução

Desde 1998, o Brasil monitora os focos de incêndios e queimadas em seu território; porém, o número de ocorrências aumentou 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 & 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, conforme 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).

A maioria dos incêndios e queimadas no Brasil está associada a causas humanas. Grande parte ocorre em áreas privadas, intencionalmente, 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 na maioria 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 CO₂ (90%), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (CH₄, C₂H), óxidos nitrosos e partículas aerossóis. O gás carbônico (CO₂) 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 CO₂) 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 atingido 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, Purcell, Boulter & Moura, 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; Diário de Uberlândia, 2019).

Na Austrália, em 2019, mais de 10 milhões de hectares de terras incendiadas (CSIRO, 2020; SINGH, 2020; Huf & Mclean, 2020); no Brasil, aproximadamente 31,8 milhões hectares (INPE, 2019; MAAP, 2019; Ramírez Gomez, 2019; Lizundia-Loiola, Pettinari & Chuvieco, 2020); na Rússia, quase 10 milhões de hectares (Loupian Burtsev & Bartalev, 2019; 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, Soares e Batista (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 & Fenwick, 2015; 2019). Percebe-se, portanto, que, apesar de o Brasil ter uma 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, Tomida & Meacham, 2016; Holemann, 1994; Vennetier, 2009; Lavabre & Martin, 1997; Kafka, Gauthier & Bergeron, 2001; Prodon, Fons & Peter, 1984), impactos sociais (Paveglio Breenkert-Smith, Hall & Smith, 2014; Rábade & Aragoneses, 2008; Knorr *et al.*, 2014), e impactos econômicos (Campanharo, Lopes, Anderson, Silva & Aragão, 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, consideram-se elementos estáticos na distribuição temporal do fogo, sendo os mais fáceis de prever a influência (Tian, Wu, Li, Wang & Zhang, 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.

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, Ribeiro, Martins e Lima (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, Knapp, Skinner, Miller e Preisler (2017) concluíram que a complexidade topográfica e a temperatura mostraram-se mais fortes à associação com a gravidade do incêndio nas montanhas Klamath, nos EUA.

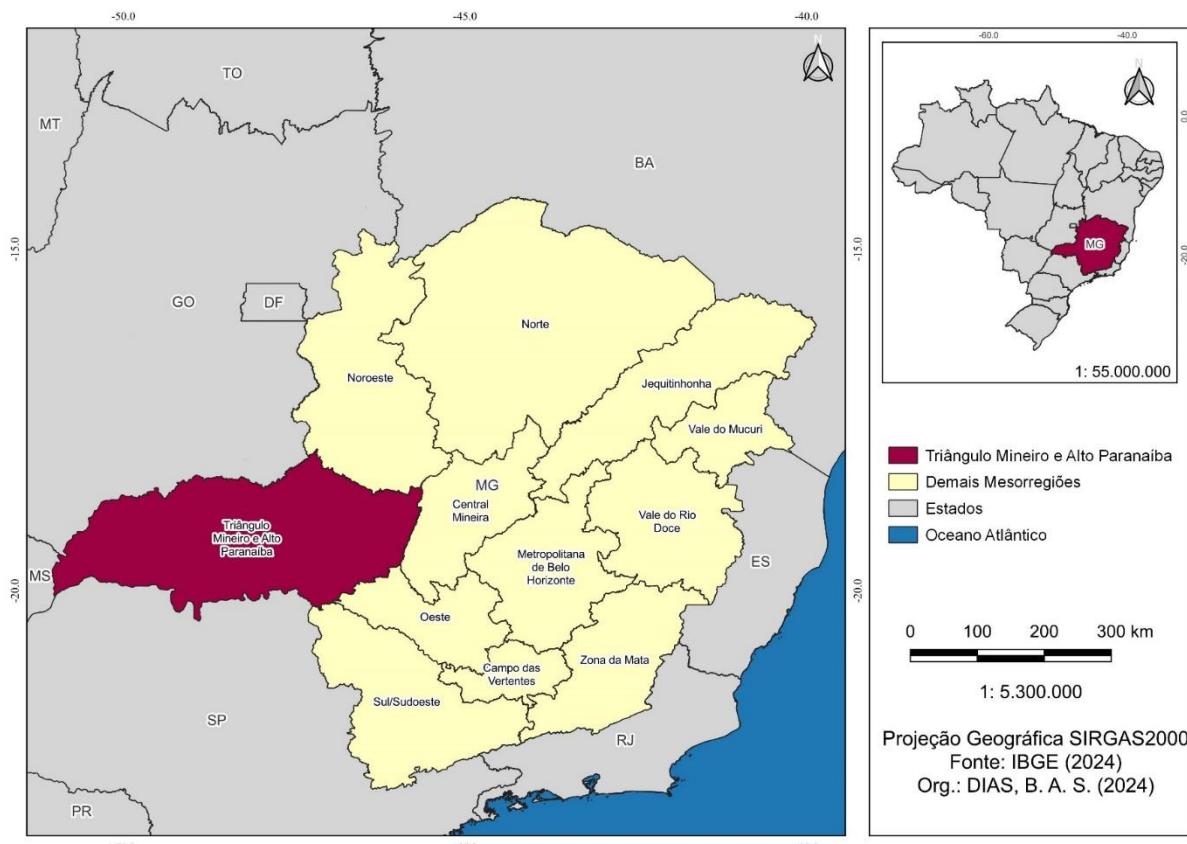
A importância da realização da pesquisa baseia-se no objetivo 15 da ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), o qual é proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação 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.

Esta pesquisa tem como objetivo geral propor um mapeamento para os riscos de queimadas e incêndios no período de 2017 a 2021, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba no estado de 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.

1. Materiais e Métodos

1.1. Área de estudo

A mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (TMAP) localiza-se, no oeste do estado de Minas Gerais, região Sudeste do Brasil (Figura 1), e possui uma área territorial de 9.054.005 ha. O relevo é dividido em 3 superfícies: Superfície Araxá, cuja altitude varia de 850 a 1.000 m, Formção Bauru e Serra Geral e do Grupo Araxá, no qual a altitude varia de 500 a 950 m, e as Superfícies rebaixadas, com altitudes que variam de 300 a 600 m, seu relevo predominantemente é suave a suave ondulado, o que contribuiu significativamente no crescimento da produção agrícola na região. Em relação à temperatura média anual do TMAP, varia entre 20 e 24°C, crescendo de leste para oeste.



1.2. Dados cartográficos

As análises espaciais e a produção cartográfica foram feitas utilizando o Qgis 3.16, considerando as seguintes bases cartográficas e etapas de pré-processamento:

- 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, 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 quilômetro quadrado) por município de Minas Gerais com o ano base de 2022. Essa informação foi atribuída ao mapa de municípios partindo da premissa de que quanto maior a densidade demográfica, maior será o risco de queimadas e incêndios;

- 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, entregue na escala de 1:100.000. Os dados da plataforma identificam 30 classes de uso e cobertura da terra, estas, agrupadas em cinco classes principais: 1) Floresta, 2) Formação Natural não Florestal, 3) Agropécuária, 4) Área não Vegetada e 5) Corpo d'água. Para o mapeamento do risco, as 30 classes identificadas foram reagrupadas em 8 novas classes: 1) Área não Vegetada, 2) Agricultura, 3) Corpo d'água, 4) Floresta, 5) Formação Natural não Florestal, 6) Mosaicos de Usos, 7) Pastagem e 8) Silvicultura. 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 (Ferraz & Vettorazzi, 2008; Oliveira *et al.*, 2020; Ross, 1994; Massa & Ross, 2012);
- 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. Este dado foi submetido a diversas operações para extrair informações de altitude (seguindo a lógica da literatura, ou seja, quanto maior a altitude, menor a probabilidade de ocorrência), 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 10 km e disponibilizado operacionalmente pelo CPTEC/INPE utilizando a técnica MERGE, que consiste na estimativa de precipitação por satélite com observações de superfície. Com esse dado obteve-se a média mensal para cada ano analisado e realizou-se a separação em dois períodos: seca e chuvoso, ou seja, de maio a setembro corresponde ao período de seca, meses com baixa precipitação, e dos meses de outubro a abril, definidos como o período chuvoso;
- 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 5 km. Esses dados, seguiram a mesma lógica de períodos aplicados nos dados de precipitação, ou seja, foram divididos em período chuvoso e de seca.

1.3. Procedimentos Metodológicos

Para espacializar o risco de incêndios e queimadas por meio do *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 precisa-se normalmente de uma análise multicritério baseado em algumas premissas, como: obter respostas às perguntas enfrentadas por um decisor em um processo de decisão; tornar transparente toda a 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 de 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 imprecisos, 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, Kumar, Kundu e Lal (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.

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 se precisa 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.

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 que os pesos obtidos da comparação podem não refletir as reais preferências das pessoas (Linkov & Steevens, 2008; Boucher, Gogus & Wicks, 1997; Vilas, 2008; Ayala & 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 1) é atribuído ao relacionamento entre eles, conforme uma escala pré-definida (Falcão, 2013).

Grau de importância	Definição	Descrição
1	Importância igual	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância Moderada	A experiência e o julgamento favorecem moderadamente uma atividade em relação à outra.
5	Importância Forte	A experiência e o julgamento favorecem 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.

Quadro 1: Escala Fundamental de Saaty

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 2). Os elementos subordinados são dispostos na mesma ordem, formando as linhas e as colunas da matriz (Ribeiro & 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 I.

C₁	a₁	a₂	...	a_n
a₁	1	X ₁₂	...	X _{1n}
a₂	1/ X ₁₂	1	...	X _{2n}
...
a_n	1/ X _{n1}	1/ X _{n2}	...	1

Quadro 2: Estrutura de uma matriz quadrada (n x n) de critérios
Org.: DIAS, B. A. S. (2023).

Tabela I: 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 I).

O Índice de Consistência (IC) é definido pela equação 1:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Resultando em $IC = 0,099$.

O autovalor (λ_{\max}) 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 λ_{\max} for de n, melhor será o resultado. Para encontrar o valor de λ_{\max} é utilizada a seguinte equação (Equação 2):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \frac{Awi}{w_i} \quad (2)$$

Onde: w_i corresponde aos pesos calculados e Awi 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 I), o resultado do autovalor pode ser expresso como $\lambda_{\max} = 8,6933$. 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 3 representa o cálculo da RC:

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (3)$$

Tabela II: 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 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 gerados 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 4:

$$\text{Risco} = (P * 0,239) + (UT * 0,235) + (A * 0,184) + (T * 0,170) + (D * 0,087) (OE * 0,035) + (R * 0,028) + (DD * 0,022) \quad (4)$$

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

Após todas as variáveis serem convertidas do formato vetorial para o formato raster e seguindo essas etapas, aplicou-se o modelo AHP, que foi espacializado por meio de operações de álgebra de mapas no QGis para obter o mapa de risco de queimadas e incêndios para o TMAP.

Para confecção do mapa de risco considerou-se cinco classes, representando as possíveis áreas de ignição de uma queimada ou incêndio: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

2. Resultados e Discussão

2.1. 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 km²), 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 de soja, milho e cana-de-açúcar, além da criação do rebanho bovino de alto valor comercial e indústria de fertilizantes.

Analisando o Gráfico 1 e a Figura 2, 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 às rodovias, com baixa declividade, e cujo uso da terra foi identificado como pastagens. Acredita-se que todas as variáveis físicas e antrópicas tiveram significativa importância para expressar esse alto percentual.

Para as áreas de alto risco identificadas próximo as rodovias, pode-se adotar a instalação de barreiras corta-fogo ao longo das rodovias para evitar a propagação do fogo nessas áreas, e conscientizar motoristas por meio de campanhas específicas sobre os riscos de incêndios causados por bitucas de cigarro e demais negligências. Enquanto que, nas áreas de baixa declividade e pastagens, estratégias como implementação de manejo controlado do fogo como técnica preventiva e estabelecimento de sistemas de alerta para detecção rápida podem ajudar a minimizar e prevenir queimadas e incêndios nessas áreas.

Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba



Gráfico 1: 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)

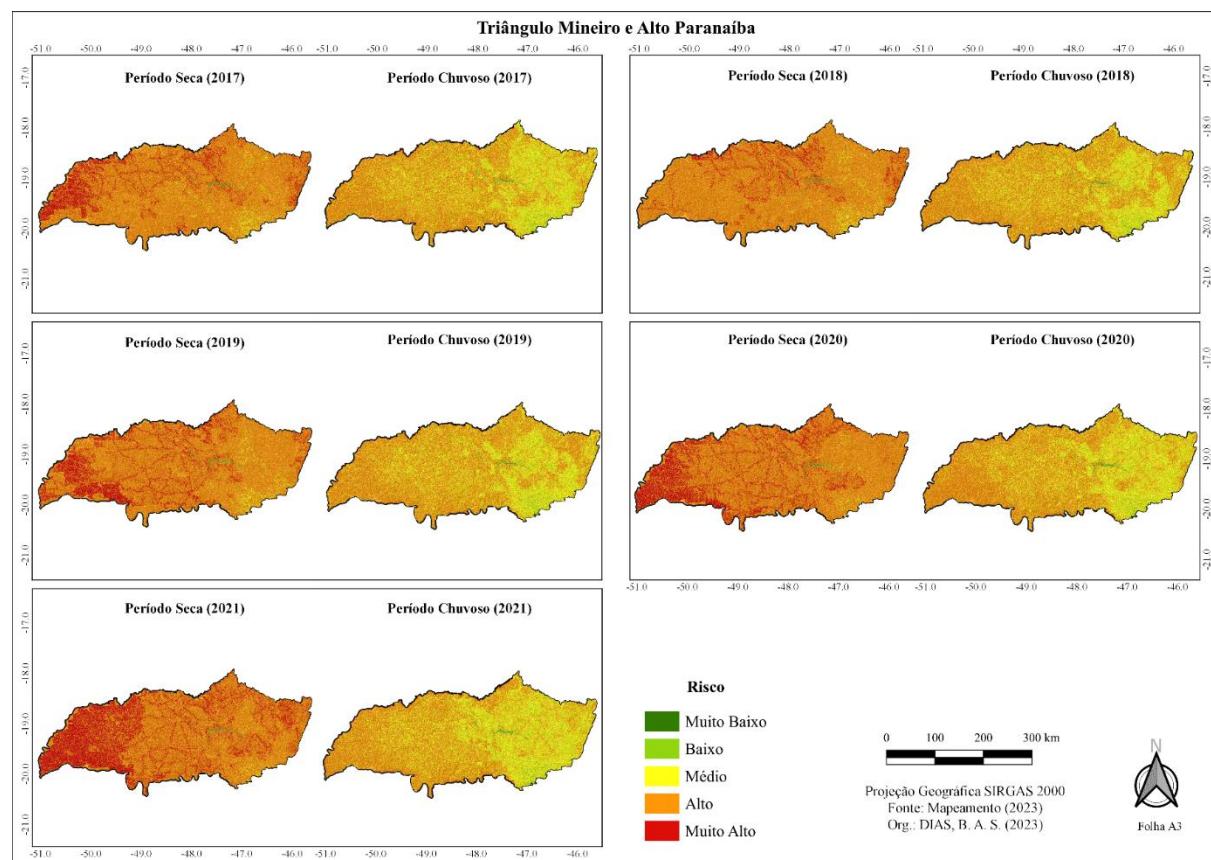


Figura 2: Mapa de risco a incêndios e queimadas para a mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

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%).

No período chuvoso, as classes de risco médio e alto, se mantiveram quase 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 2).

Gráfico 2: Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

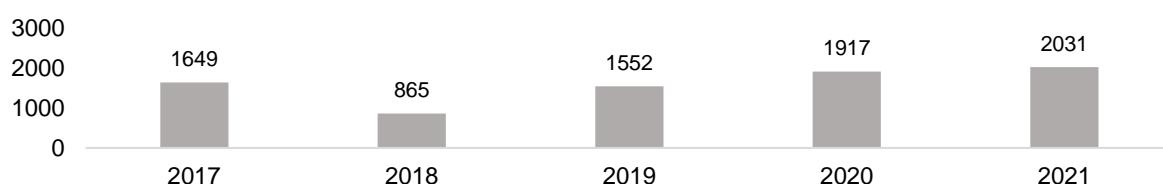


Gráfico 2: Número de focos de queimadas e incêndios na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (2017 a 2021)
Org.: DIAS, B. A. S. (2023)

Com base na análise dos dados apresentados na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, diversas políticas públicas e estratégias de mitigação podem ser formuladas para enfrentar o aumento dos riscos de queimadas e incêndios, especialmente durante o período da seca:

- a) Melhoria da infraestrutura de prevenção e combate a incêndios: por meio da implementação de brigadas comunitárias em áreas rurais e próximas às rodovias; investimento em equipamentos modernos de combate a incêndios para os bombeiros e brigadas locais;
- b) Educação e conscientização: promover campanhas educativas nas escolas e comunidades rurais e como prevenir as queimadas e incêndios florestais; capacitar agricultores e pecuaristas sobre as técnicas de manejo sustentável da terra que minimizam o risco de incêndios;
- c) Fiscalização ativa: visando garantir o cumprimento das leis ambientais vigentes, se possível, com a utilização do monitoramento por satélites, com a detecção dos focos em tempo real para aplicar sanções rápidas para práticas ilegais;
- d) Gestão sustentável da terra: incentivar práticas agrícolas como a rotação de culturas e manejo adequado de pastagens visando reduzir a inflamabilidade da vegetação, bem como, promover o uso de técnicas agroecológicas que aumentem a resiliência do solo e da vegetação às condições de seca;
- e) Planejamento urbano e rural integrado: por meio da criação de zonas de amortecimento em redor das áreas consideradas de alto risco de queimadas e incêndios; e, integrar a gestão de risco de queimadas nos planos diretores municipais e regionais;

f) Subsídios e incentivos econômicos: oferecer subsídios e incentivos fiscais para agricultores e pecuaristas que adotarem as práticas sustentáveis de manejo e gestão do uso da terra; desenvolver programas de seguros agrícolas que cubram os danos e perdas provocadas por incêndios, incentivando a adoção de medidas preventivas.

2.2. Validação

Para verificar a assertividade do método AHP obtido para análise de risco a queimadas e incêndios no TMAP 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 3 e Gráfico 4.

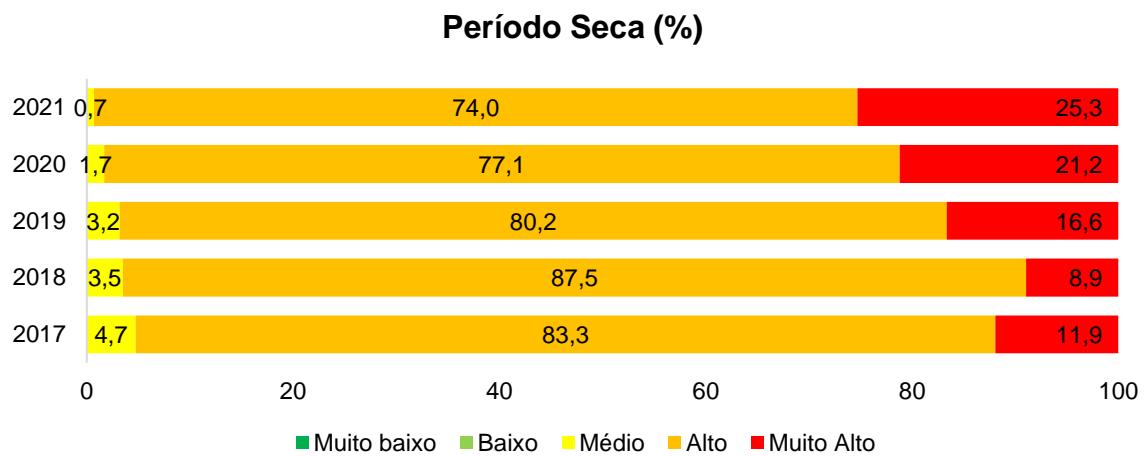


Gráfico 3: Percentual de área de risco a incêndios e queimadas no TMAP no período de seca (2017 a 2021)

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

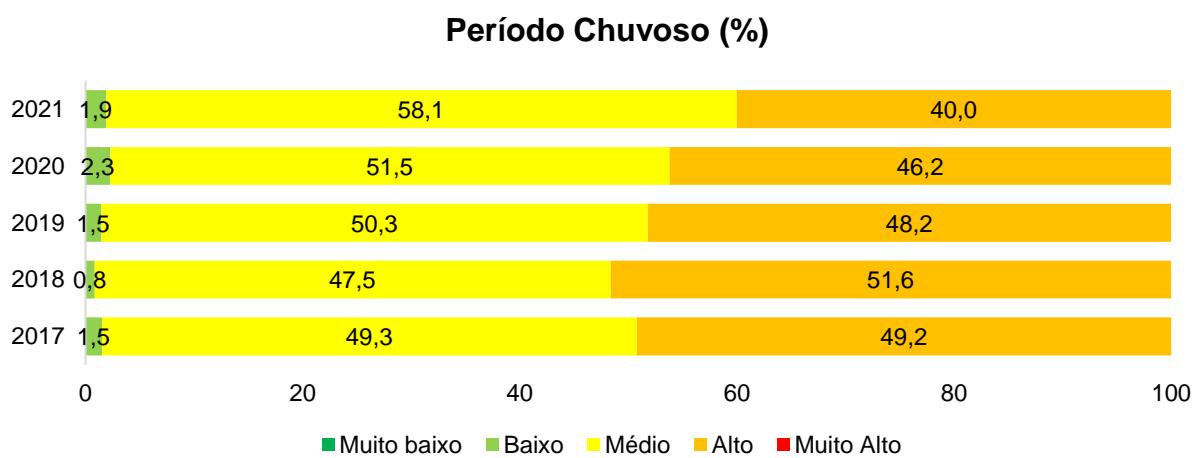


Gráfico 4: Percentual de área de risco a incêndios e queimadas no TMAP no período chuvoso (2017 a 2021)

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 se caracteriza como o de maiores incidências, constatando, portanto, que o perfil de risco se compatibilizou com as ocorrências. Além disso, no período de seca a maioria dos focos foram identificados nas classes de alto (média de 80,4%), destaque para 2017 e 2018, com 83,3% e 87,5%. Para o risco muito alto, em todos os anos analisados, teve média de 16,8%, sendo que os anos de 2020 e 2021, registraram os maiores percentuais com 21,2% e 25,3%, respectivamente. Para esse período, não houve ocorrências nas classes de risco muito baixo e baixo.

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%), nesse período não houve registros para as classes de risco muito baixo e muito alto.

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 aumentase 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 tendem 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 no TMAP.

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, 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. Porém, a utilização desse método envolve várias etapas e fatores que podem introduzir incertezas durante o processo, sendo as principais: a) subjetividade na escolha dos critérios, variando de acordo com os pesquisadores envolvidos, levando a diferentes resultados; b) atribuição dos pesos de cada critério, pois são determinados com base em julgamentos subjetivos de cada pesquisador, resultando em mudanças significativas nos resultados finais; c) qualidade e precisão dos dados, dados desatualizados, incompletos ou imprecisos podem comprometer a validade do mapa; d) mudanças ambientais e climáticas, um mapa de risco hoje pode não refletir corretamente o risco em alguns meses ou anos; e) interpretação dos dados, diferentes pessoas podem interpretar os mesmos dados de formas diferentes, influenciando ações e decisões; f) resolução espacial dos dados,

a baixa resolução pode não representar adequadamente as variabilidades locais, enquanto dados de alta resolução podem ser caros e de difícil obtenção.

Para aprimorar os resultados dessa pesquisa, podem ser consideradas outras variáveis que influenciam a ocorrência e a propagação de incêndios florestais e queimadas, como: a) índices de seca, como Índice de Precipitação Padronizada (SPI) ou o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), podem indicar áreas com maior risco de incêndios devido à falta de umidade; b) rede de distribuição elétrica: linhas de transmissão de energia elétrica podem ser fontes de ignição de incêndios, especialmente em áreas rurais e florestais; c) fatores socioeconômicos: aspectos como o nível de educação, renda e acesso à informação da população podem influenciar a ocorrência e o manejo de incêndios; d) distância de corpos hídricos: a proximidade a rios, lagos e outras fontes de água pode influenciar a umidade do ambiente e a disponibilidade de água para combate a incêndios; e) índice de vegetação por satélite (NDVI, EVI): Índices de vegetação obtidos por satélite podem fornecer informações sobre a densidade e saúde da cobertura vegetal, influenciando o risco de incêndios.

Conclusões

Os mapas de risco de queimadas e incêndios espacializaram 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 contribuímos para melhorar a capacidade de prever o risco de ignição dos incêndios e das queimadas, bem como fornecer informações para 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 como os citados acima 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.

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 propaguem rapidamente. Nos últimos anos, as geotecnologias têm utilizado os métodos de tomada de decisão multicritério atribuindo pesos às camadas temáticas.

Essas técnicas contribuem efetivamente na estrutura, adequação e precisão na tomada de decisão.

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 às 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 às 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 à ocorrência, e consequentemente, o acesso a essas áreas pode influenciar a ignição e propagação do fogo.

Agradecimentos

Ao Projeto CAPES-PRINT 8881.1311521/2018-01: Construção de cidades saudáveis: saúde, população e dinâmica social. E à FAPEMIG, pelo financiamento do projeto de pesquisa registrado sob número APQ-01102-22.

Conflito de Interesses

Os autores declaram que não têm qualquer conflito de interesse relativo a este artigo.

Bibliografia

- Abdo, H. G., Almohamad, H., Al-Dughairi, H. A., Al-Mutiry, O. (2022). GIS-Based Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process for Forest Fire Susceptibility Mapping in the Western Region of Syria. *Sustainability*, MDPI, 14(8), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su14084668>
- Ahrens, M. (2013). *Lightning Fires and Lightning Strikes*. National Fire Protection Association, 1–38.

- Ayala, N. F.; Frank, A. G. (2013). 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>
- Boucher, T; Gogus, O.; Wicks, E. (1997). A Comparison Between Two Multiattribute Decision Methodologies Used in Capital Investment Decision Analysis. *The Engineering Economist*, 42(3), 179. <https://doi.org/10.1080/00137919708903178>
- Bountzouklis, C., Fox, D. M., Di Bernardino, E. (2021). Environmental Factors Affecting Wildfire Burned Area In South-Eastern France, 1970-2019, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-174>
- Campanharo, W.; Lopes, A.; Anderson, L.; Silva, T.; Aragão, L. (2019). Translating Fire Impacts in Southwestern Amazonia into Economic Costs. *Remote Sensing*, 11(7), 764. <https://doi.org/10.3390/rs11070764>
- CSIRO (2020). *The 2019-20 bushfires: a CSIRO explainer*. Disponível em 16/07/2020 em: <https://www.csiro.au/-/media/Environment/BushfireFactsheet060220.pdf>
- Curty, T. A. (2023). *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. Disponível em: https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/field/anexo/tcc_thuem_azevedo.curty.pdf
- Deloitte Access Economics (2016). *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>
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. *Mapas Multimodais*. Disponível em: <https://189.9.128.64/mapasmultimodais/shapefiles/shapefiles>
- Diário 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>
- Diaz, J. M. (2012). *Economic Impacts of Wildfire*. Southern Fire Exchange. Disponível em: <https://fireadaptednetwork.org/wp-content/uploads/2014/03/economic%20costs%20of%20wildfires.pdf>
- Dowdy, Andrew; Purcell, Luke; Boulter, Sarah; Moura, Livia Carvalho. (2022). *Wildfires under climate change: a burning issue*. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/wildfires-under-climate-change-burning-issue>
- Estes, B. L.; Knapp, E. E.; Skinner, C.N.; Miller, J. D.; Preisler, H. K. (2017). Factors influencing fire severity under moderate burning conditions in the Klamath Mountains, northern California. USA. *Ecosphere*, 8(5). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1794>
- Falcão, E. C. (2013). *Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista-PB*. Tese Doutorado em Engenharia

Agrícola – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

- Ferraz, S. F. B.; Vettorazzi, C. A. (1998). Mapeamento de Risco de Incêndio por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), SP – Brasil. *Scentia Florestallis*, 53, 39-43.
- Goepel, K. D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), 469-487. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Gonçalves, R. W., Pinheiro, P. R., Sousa, M. A. (2003). 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.
- Halofsky, J. E., Peterson, D. L., Harvey, B. J. (2020). Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire ecol*, 16, 4. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0062-8>
- 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%A3o-%C3%B3-%C3%A9-reaberto-nesta-2%C2%AA-ap%C3%A3s-15-da-%C3%A1rea-devastada-por-inc%C3%A3o-1.749382>
- Holemann, H. (1994). Environmental Problems Caused by Fire and Fire-Fighting Agents. *Fire Safety Science - Fourth International Symposium, Proceedings*, 61-77. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.4-61>
- Huf, B., Mclean, H. (2019). Bushfires - Quick Guide. *Research Note*, 1, 20.
- Hughes, L., Fenwick, J. (2015). *The Burning Issue: Climate Change and the Australian Bushfire Threat*. Sydney: Climate Council of Australia. 40. Disponível em: <https://www.climatecouncil.org.au/uploads/df9df4b05bc1673ace5142c3445149a4.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022). *Censo Demográfico 2022*. Disponível em 29/08/2023 em: <https://cidades.ibge.gov.br/>
- Instituto Estadual de Florestas – IEF. *Incêndios florestais*. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/unidades-de-conservacao/incendios-florestais>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2017). *Nova rede de dados revela aumento da média anual de raios no Brasil e densidades de descargas com maior precisão para estados e municípios*. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=72>
- Kafka, Victor, Gauthier, Sylvie, Bergeron, Yves. (2001). Fire Impacts and Crowning in the Boreal Forest: Study of a Large Wildfire in Western Quebec. *Aspen Bibliography. Paper*, 599. <https://doi.org/10.1071/WF01012>
- Knorr, W., Kaminski, T., Arneth, A., Weber, U. (2014). Impact of human population density on fire frequency at the global scale. *Biogeosciences*, 11(4), 1085-1102. <https://doi.org/10.5194/bg-11-1085-2014>
- Lamat, R., Kumar, M., Kundu, A., Lal, Deepak. (2021). 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. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0>

- Lavabre, J., Martin, C. (1997). 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. Human Impact on Erosion and Sedimentation*, 245. IAHS Press, Wallingford, 39-47.
- Linkov, I., Steevens, J. (2008). Appendix A: Multi-Criteria Decision Analysis. *Advances in experimental medicine and biology*, 619, 815-829.
- Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M. L., Chuvieco, E. (2020). Temporal Anomalies in Burned Area Trends: Satellite Estimations of the Amazonian 2019 Fire Crisis. *Remote Sensing*, 12(1), 151. <https://doi.org/10.3390/rs12010151>
- Lombardi, R. J. R.(2009). *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*.
- Loupian, E. A., Burtsev, M., Bartalev, S. A. (2019). Forest fires in Russia: specifics of the 2019 fire season. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli Iz Kosmosa*, 16(5), 356-363. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-356-363>
- MAAP (2019). MAAP #110: Major Finding - Many Brazilian Amazon Fires follow 2019 Deforestation.
- Massa, E. M., Ross, J. L. S. (2012). Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevoso na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, 24, 57-79. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0024.0004>
- Martin, D., Tomida, M., Meacham, B. (2016). Environmental impact of fire. Environmental impact of fire. *Fire Science Reviews*, 5(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s40038-016-0014-1>
- Minas Gerais (2020). *Anuário Estatístico do CINDS/CBMMG*. Estatísticas de Incêndio Florestal do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Centro Integrado de Defesa Social (CINDS).
- NASA. 2019. Retirado de: <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2019/huge-wildfires-in-russias-siberian-province-continue/>
- Oliveira-Júnior, P. E. T., Silva Junior, C. A., Baio F. H. R., Gava, R., Capristo-Silva, G. F., Gois, G., Correia Filho, W. L. F., Lima, M., Freitas, W. K., Santos, P. J., Costa, M. S. (2020). Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 282-283, 1 - 13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107861>
- Paveglio T. B., H. Brenkert-Smith., Hall, T., Smith, A. M. S. (2015). Understanding social impact from wildfires: advancing means for assessment. *International Journal of Wildland Fire*, 24(2), 212-224. <https://doi.org/10.1071/wf14091>
- Peris-Llopis, M., Gonzalez-Olabarria, J. R., Mola-Yudego, B. (2020). Size dependency of variables influencing fire occurrence in Mediterranean forests of Eastern Spain. *Eur. J. For. Res.*, 139, 525–537. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01265-9>
- Pivello, V. R., et al. (2021). Understanding Brazil's catastrophic fires: causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in ecology and conservation*, 19(3), 233-255. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>

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>

Prodon, R., Fons, R., Peter, A. M. (1984). 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*, 39, 129-158. <https://doi.org/10.3406/revec.1984.5098>

Projeto Mapbiomas. (2019). *Relatório Anual do Desmatamento no Brasil*. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/relatarios/MBI-relatorio-desmatamento-2019-FINAL5.pdf>

Rábade, J. M., Aragoneses, C. (2008). *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, 720.

Ramírez Gomez, E. (2019). *Amazon wildfire crisis Need for an international response*. European Parliamentary Research Service, 1-12.

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

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

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

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

Santos, J. F., Soares, R. V., Batista, A. C. (2006). Perfil dos incêndios no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. *Floresta*, 36(1), 93-100. <https://doi.org/10.5380/rf.v36i1.5510>

Silva, R. W., et al. (2019). Mapa de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/sedecarquivos/Mapa-de-susceptibilidade--ocorncia-de-focos-de-calor-no-Estado-do-Rio-deJaneiro.pdf>

Silva, R. M. (2020). *Incêndio Florestal no CBMMG: análise da demanda operacional na região do Segundo Comando Operacional de Bombeiros 2020*. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Gestão, Proteção e Defesa Civil - Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, Belo Horizonte. Disponível em 24/08/2021 em: http://monografias.fjp.mg.gov.br/bitstream/123456789/2766/1/CEGEDEC20%20-%20TCC%20Roneci%20Marcos%20Silva_PDF.pdf

Singh, A. (2020). *Case Study on 2019 Australian Bushfire*.

Sivrikaya, Fatih, KÜÇÜK, Ömer. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>

Tian, Y., Wu, Z., Li, M., Wang, B., Zhang, X. (2022). Forest Fire Spread Monitoring and Vegetation Dynamics Detection Based on Multi-Source Remote Sensing Images. *Remote Sens.*, 14, 4431. <https://doi.org/10.3390/rs14184431>

Torres F. T. P., Ribeiro G. A., Martins S. V., Lima, G. S. (2011). Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. *Revista Árvore*, 35(1), 143-150. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000100017>

Vaisala (2019). *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>

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

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

Vilas, C. (2008). *Análise da Aplicação de Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) na Gestão de Recursos Hídricos*. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/simpósio/go/Analise%20da%20Aplicacao%20de%20Metodos%20Multicriterios%20de%20Apoio%20a%20Decisao%20na%20Gestao%20de%20Recursos%20Hidricos.pdf>

Visconti, G. R., Santos, M. C. (2014). *Região Sudeste: recuperando para desenvolver*. 2014. Disponível em: https://web.bnDES.gov.br/bib/ispui/bitstream/1408/13074/3/Regi%C3%A3o%20Sudeste%20-%20recuperando%20para%20desenvolver_7_P_BD.pdf

Ye, Tao., Wang, Y., Guo, Z., Li, Y. (2017). Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in East China (2017). *PloS one*, 12(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172110>

Artigo recebido em / Received on: 25/04/2024

Artigo aceite para publicação em / Accepted for publication on: 12/07/2024

Página intencionalmente deixada em branco