



INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES NA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA SERRA DO PAPAGAIO - MG

Pedro Freitas Ramos Grande ¹
Caio Tavoraro Melo ²
Everton Rodrigues Da Silva ³
Felipe Gomes Rubira ⁴

RESUMO

A ocorrência de incêndios florestais em Unidades de Conservação no Brasil está majoritariamente associada a fatores antrópicos. No Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP), Sul de Minas Gerais, o uso do fogo relaciona-se historicamente a conflitos fundiários decorrentes de processos de desapropriação durante a criação da unidade. Além disso, a baixa umidade relativa do ar, combinada a altas temperaturas, são condicionantes naturais que favorecem a propagação do fogo. No entanto, embora fatores antrópicos e climáticos sejam amplamente considerados na ocorrência e distribuição dos incêndios florestais, a influência do relevo, especialmente da orientação das vertentes, ainda é pouco explorada. Diante dessa lacuna, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da orientação das vertentes na distribuição dos incêndios florestais no PESP. O aspecto do relevo foi gerado com o MDE Copernicus GLO-30 e as áreas queimadas entre 1985 e 2023 foram extraídas do MapBiomas Fogo. A recorrência do fogo foi quantificada com base nas orientações das vertentes. No total, 6.143 ha foram afetados por incêndios ao menos uma vez, cerca de um quarto da área total do PESP (25.872,7 ha). Aproximadamente 44,6% das áreas queimadas ocorreram em vertentes voltadas para o norte e noroeste, enquanto as menores incidências foram registradas nas vertentes sul (7,55%) e sudeste (6,88%). Essa assimetria pode estar relacionada à maior exposição solar nas vertentes norte, que resulta em menores níveis de umidade no solo e temperaturas mais elevadas. Os dados também indicam que falhas de empurrão condicionaram a formação de escarpas ao sul/sudeste das linhas de falha, originando vertentes orientadas para o norte/noroeste. A erosão fluvial remontante recuou essas escarpas, desenvolvendo encostas suavizadas nos setores rebaixados. Esses setores, juntamente com blocos cavalgados adjacentes, foram historicamente ocupados por apresentarem maior acessibilidade, o que favoreceu a substituição da vegetação nativa por formações secundárias mais suscetíveis à propagação do fogo.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o conceito de incêndio florestal varia entre instituições, o que gera inconsistências terminológicas (Kazmierczak, 2015). A Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024,

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, pedro.freitas@sou.unifal-mg.edu.br;

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, caio.melo@sou.unifal-mg.edu.br;

³ Doutor, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, everton.silva@unifal-mg.edu.br;

⁴ Professor orientador: Doutor, Instituto de Ciências da Natureza - Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, felipe.rubira@unifal-mg.edu.br;

Agradecemos o suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por meio da chamada 016/2024 que visa fornecer apoio à participação coletiva em eventos de natureza técnico-científica.



que institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF), define incêndio florestal como todo fogo não planejado e fora de controle que atinge formações vegetais naturais ou cultivadas em zonas rurais, exigindo ações de resposta, independentemente da origem da ignição (Brasil, 2024).

A PNMIF também distingue incêndio florestal de práticas como queima prescrita e queimada controlada, caracterizadas por serem planejadas, monitoradas e tecnicamente executadas. Incêndios florestais, por sua vez, ocorrem de forma não intencional, geralmente sem controle, e com alto potencial destrutivo (Brasil, 2024).

Esses eventos contribuem para o agravamento das mudanças climáticas ao intensificarem o efeito estufa por meio da emissão de gases como o dióxido de carbono, com reflexos no aquecimento global e na frequência de eventos extremos (Numata et al., 2010). Também provocam alterações físicas e químicas nos solos, diminuem a estabilidade superficial e ampliam a suscetibilidade à erosão (Libonati et al., 2021; Rios et al., 2024).

Diversos estudos já identificaram múltiplos fatores relacionados à ignição e propagação do fogo, como uso e ocupação da terra, a cobertura vegetal e as condições climáticas (Rebelo, 1980; Batista, 2000; Ribeiro, 2004; Aragão et al., 2008). Brando et al. (2016) demonstraram, em ambiente de transição entre Amazônia e Cerrado, que a baixa umidade da biomassa está fortemente correlacionada à ocorrência de incêndios. Essa umidade é controlada por variáveis como a incidência solar que, por sua vez, é modulada por características geomorfológicas, especialmente a orientação e a inclinação das vertentes (Sirtoli et al., 2008). Em regiões de relevo montanhoso, a orientação das vertentes influencia diretamente a quantidade de radiação solar recebida. No hemisfério sul, encostas voltadas para o norte tendem a receber maior insolação anual, podendo apresentar condições mais secas (Pezzopane et al., 2000).

Considerando essas influências, as Unidades de Conservação (UCs) se destacam como áreas prioritárias para a gestão do fogo no Brasil. A ocorrência de incêndios florestais em UCs brasileiras está majoritariamente associada a fatores antrópicos. No Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP), Sul de Minas Gerais, a disseminação do fogo se relaciona a tensões fundiárias históricas, sobretudo decorrentes de processos de desapropriação durante a implementação da UC (IEF, 2009). Além disso, a baixa umidade relativa do ar, combinada a elevadas temperaturas, também constitui um importante condicionante natural (Rebelo, 1980).

No entanto, apesar da ampla atenção dada aos fatores climáticos e antrópicos, a influência do relevo, especialmente da orientação das vertentes, ainda permanece pouco explorada, constituindo uma lacuna científica relevante sobre os condicionantes naturais do fogo. Esta lacuna motivou a presente investigação, centrada na relação entre geomorfologia

estrutural e padrões espaciais de incêndios florestais, considerando as especificidades tectônicas da Serra da Mantiqueira Meridional.

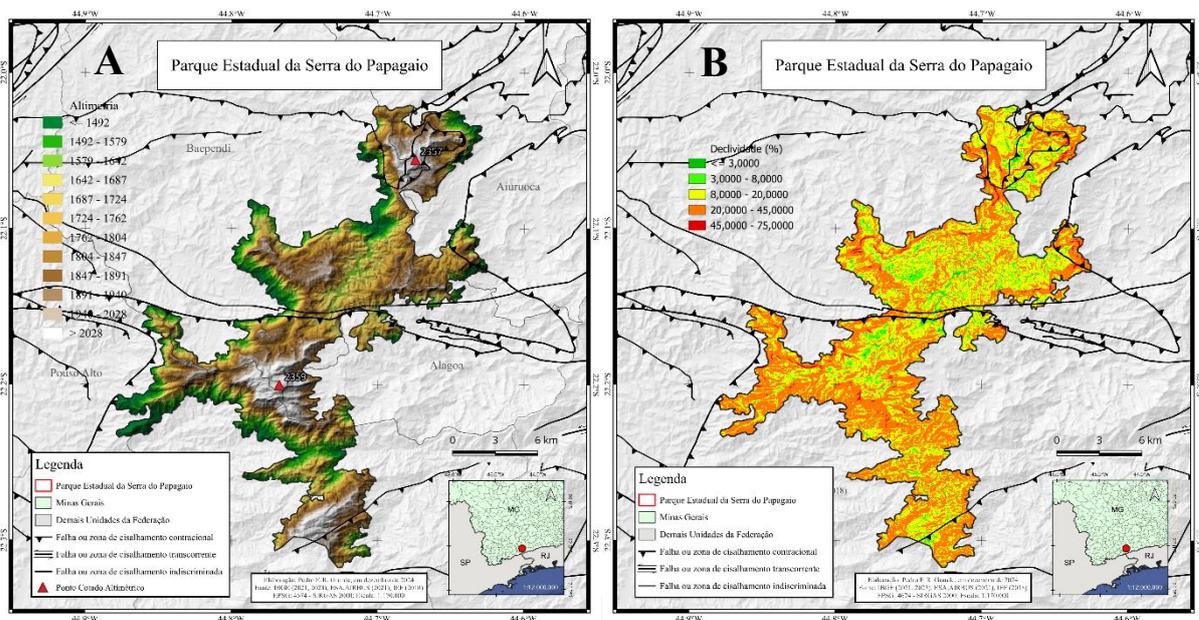
Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da orientação das vertentes sobre a distribuição dos incêndios florestais no PESP, integrando técnicas de sensoriamento remoto e modelagem digital do terreno. Parte-se da hipótese de que a configuração estrutural da região, marcada por falhas de empurrão com escarpas voltadas ao sul/sudeste, condiciona a formação de vertentes orientadas para o norte/noroeste, mais expostas à radiação solar direta e, portanto, mais suscetíveis à propagação do fogo.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP) está localizado na Região Geográfica Intermediária de Pouso Alegre, sul de Minas Gerais (IBGE, 2017) e abrange os municípios de Baependi, Aiuruoca, Alagoa, Pouso Alto e Itamonte (Figura 1). Possui extensão territorial de 25.872 hectares (Minas Gerais, 2021) e está situado a aproximadamente 415 km de Belo Horizonte, 275 km do Rio de Janeiro e 317 km de São Paulo, considerando os trajetos rodoviários.

Figura 1: Localização do PESP. (A) Hipsometria; (B) declividade.



Fonte: Autores (2025).



O parque está inserido na Província Tocantins, Subprovíncia Socorro-Guaxupé, entre as faixas móveis neoproterozoicas Brasília e Ribeira, na porção meridional da Serra da Mantiqueira. O relevo, fortemente dissecado, apresenta topos convexos e cristas agudas (IBGE, 2021), desenvolvendo-se sobre rochas metamórficas intensamente dobradas e falhadas, além de corpos plutônicos intrusivos (COMIG, 2002). Segundo a classificação de Köppen (1936), o clima da região é subtropical de altitude (Cwb), com invernos secos e verões amenos.

A morfogênese da Serra da Mantiqueira relaciona-se à orogenia Brasileira-Pan-Africana (Simas et al., 2005). No Cretáceo Superior, durante o processo de rifteamento que culminou na abertura do oceano Atlântico, diversas falhas foram reativadas, promovendo a compartimentação do relevo em blocos soerguidos e deprimidos. Essa dinâmica originou um sistema de cristas paralelas e vales encaixados, frequentemente vinculados a escarpas abruptas controladas por lineamentos estruturais (Simas et al., 2005).

O PESP apresenta amplitude altimétrica superior a 1.000 metros, com destaque para o Pico Santo Agostinho, que atinge 2.359 metros de altitude. A declividade média é da ordem de 40% (relevo fortemente ondulado), com setores que ultrapassam 75%, sobretudo nas bordas de maciços soerguidos, delimitados por falhas geológicas (IEF, 2009).

MATERIAIS

Os materiais empregados neste estudo consistem em dados vetoriais e matriciais. Entre os dados vetoriais, incluem-se: (i) o polígono da área do Parque Estadual da Serra do Papagaio, extraído do shapefile das Unidades de Conservação de Minas Gerais (IEF, 2018); (ii) os limites municipais de Minas Gerais e (iii) os limites das Unidades da Federação, ambos fornecidos pelo IBGE (2022).

Entre os dados matriciais, foram utilizados os produtos da Coleção 3 do MapBiomas Fogo, referentes à área queimada anual e à frequência de incêndios, bem como o MDE GLO-30, disponibilizado pela Copernicus (Airbus, 2022). Todo o processamento foi realizado por meio do *software* QGIS versão 3.34.2 - Prizren e da plataforma de processamento em nuvem Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017).

MÉTODOS

A partir do MDE GLO-30, foi gerado o mapa de aspecto do relevo no QGIS utilizando a ferramenta “*Aspect*” do pacote GDAL. Os valores de orientação resultantes foram reclassificados em oito classes: Norte (337,5°–22,5°), Nordeste (22,5°–67,5°), Leste (67,5°–

112,5°), Sudeste (112,5°–157,5°), Sul (157,5°–202,5°), Sudoeste (202,5°–247,5°), Oeste (247,5°–292,5°) e Noroeste (292,5°–337,5°).

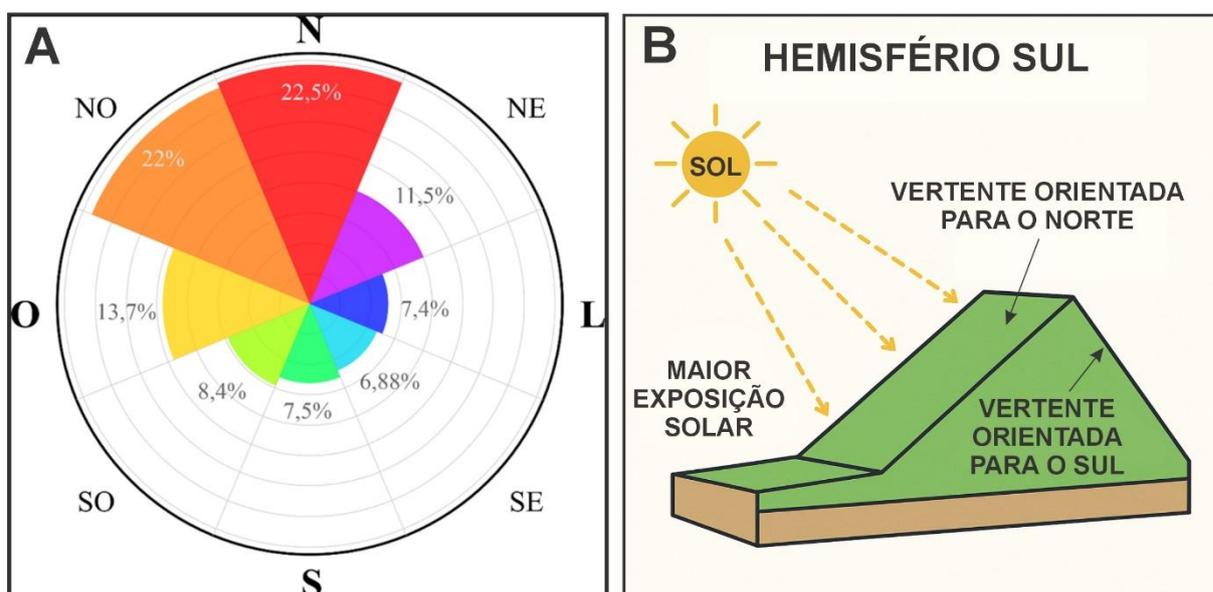
No Google Earth Engine, calculou-se a área queimada anual no interior dos limites do parque entre 1985 e 2023, bem como a frequência de recorrência do fogo ao longo do mesmo período, com base nos dados do MapBiomas. Para quantificar a área queimada segundo a orientação das vertentes, os dados anuais foram somados e posteriormente seccionados conforme as classes de orientação derivadas do modelo de aspecto.

Os dados resultantes foram exportados para planilhas eletrônicas, onde foram organizados e analisados por meio da elaboração de gráficos, tabelas e diagramas. Por fim, os mapas temáticos foram produzidos no ambiente do “Gerenciador de Layouts” do QGIS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre 1985 e 2023, aproximadamente um quarto da área total do PESP foi afetado por queimadas ao menos uma vez, totalizando 6.143 hectares dos 25.872 hectares do parque. A média anual de área queimada nesse período foi de 186,25 hectares. Observa-se que 44,6% das ocorrências de incêndios florestais concentraram-se em vertentes orientadas para norte e noroeste (Figura 2A). Em contraste, as vertentes voltadas para sul e sudeste apresentaram as menores proporções de área queimada, com 7,55% e 6,88%, respectivamente.

Figura 2: (A) Diagrama de rosetas das áreas queimadas entre 1985 e 2023, por orientação da vertente; (B) Esquema ilustrativo da incidência solar no hemisfério sul, destacando a maior exposição das vertentes orientadas para o norte

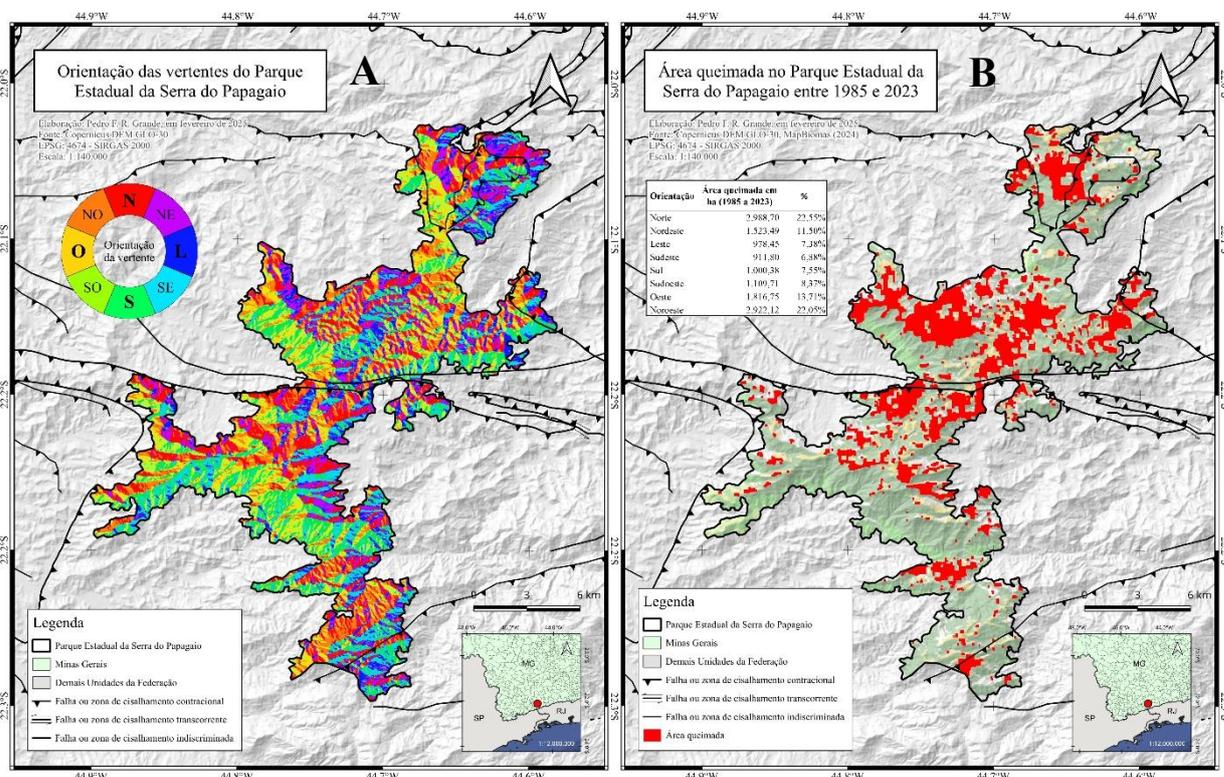


Fonte: Autores (2025).

A maior incidência de queimadas em vertentes voltadas ao norte e noroeste corrobora a hipótese de que essas faces, por receberem maior radiação solar, apresentam menores níveis de umidade no solo e temperaturas médias mais elevadas, fatores que favorecem a propagação do fogo (Figura 2B). Esse padrão é coerente com os resultados de Sirtoli et al. (2008), que analisaram a bacia do rio Canguiri (PR) e demonstraram que vertentes orientadas para o norte e oeste recebem maior insolação do que aquelas voltadas para o sul, resultando em maior ressecamento da vegetação e aumento da inflamabilidade.

Adicionalmente, fatores estruturais associados à compartimentação tectônica da região desempenham papel relevante na configuração espacial observada. Falhas de empurrão com direção SW–NE (COMIG, 2002), que interceptam a área, condicionaram a formação de escarpas voltadas para o sul/sudeste, originando vertentes orientadas para o norte/noroeste (Figura 3A). O recuo erosivo remontante dessas escarpas resultou no desenvolvimento de encostas suavizadas nos setores rebaixados (Figura 1B). Esses setores, juntamente com blocos cavalgados adjacentes, apresentam maior acessibilidade e foram historicamente ocupadas, favorecendo a substituição da vegetação nativa por formações secundárias mais inflamáveis e suscetíveis à propagação do fogo (Figura 3B).

Figura 3: (A) Orientação das vertentes; (B) área queimada total do PESP entre 1985 e 2023.

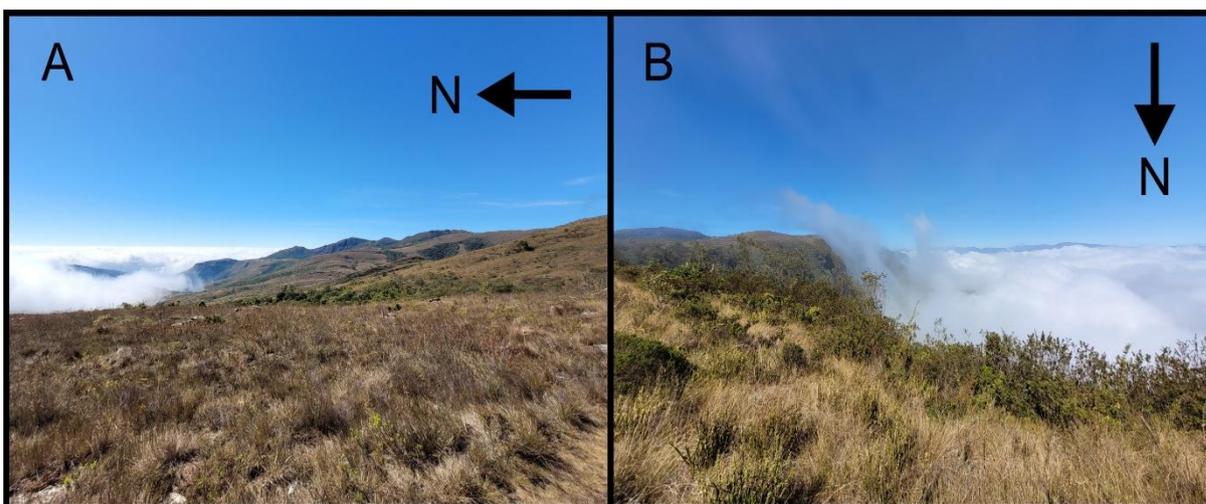


Fonte: Autores (2025).

A ocupação histórica da região, conforme documentado por Ribeiro (2005), foi marcada pela atividade pecuária leiteira extensiva e pela exploração madeireira. Ambas contribuíram para a supressão da vegetação original. O Plano de Manejo do PESP (IEF, 2009) aponta a pecuária tradicional, com baixa tecnificação e uso recorrente do fogo como instrumento de manejo, como o principal vetor de degradação ambiental na unidade de conservação. Como consequência desse histórico de uso, observou-se a substituição progressiva de florestas ombrófilas por formações campestres e florestas secundárias. A dominância atual dessas formações reflete a intensa exploração madeireira e carvoeira ocorrida entre as décadas de 1940 e 1975 (IEF, 2009).

Conforme dados do Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo, Mello e Silva, 2008), corroborados por observações de campo, as formações campestres de altitude distribuem-se majoritariamente nas vertentes voltadas ao norte, onde atuaram processos de recuo erosivo associados às falhas estruturais. Em contrapartida, as vertentes voltadas ao sul preservam remanescentes de Floresta Ombrófila (Figura 4), possivelmente em função de sua menor acessibilidade histórica.

Figura 4: Distribuição da vegetação em função da orientação das vertentes e da compartimentação estrutural. (A) Escarpa recuada da falha de empurrão orientado ao Norte com a presença de campos de altitude e vegetação secundária; (B) Face exposta ao Sul com a presença de matas nebulares.



Fonte: Autores (2025).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a orientação das vertentes exerce influência sobre a distribuição espacial dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Papagaio. A maior incidência de queimadas nas encostas setentrionais está associada à maior exposição à radiação solar, o que reduz a umidade do solo e eleva a temperatura superficial, aumentando a inflamabilidade da vegetação. Esse padrão de insolação diferenciada, típico de regiões montanhosas no hemisfério sul, atua como condicionante geomorfológico relevante para a propagação do fogo.

Adicionalmente, os dados indicam que a compartimentação tectônica da Serra da Mantiqueira Meridional, marcada por falhas de empurrão com direções SW–NE, condicionou a formação de escarpas voltadas para sul/sudeste e, conseqüentemente, a gênese de vertentes voltadas para norte/noroeste. O recuo erosivo dessas escarpas resultou em encostas suavizadas, historicamente ocupadas devido à sua maior acessibilidade, o que favoreceu a substituição da vegetação nativa por formações secundárias mais suscetíveis ao fogo.

Esses resultados confirmam a hipótese de que fatores estruturais e geomorfológicos, especialmente a orientação das vertentes condicionada pela compartimentação tectônica, exercem controle direto sobre os padrões espaciais dos incêndios florestais. A integração entre sensoriamento remoto, modelagem digital do terreno e análise estrutural mostrou-se eficaz para investigar as interações entre relevo e processos antrópico-naturais no contexto de áreas protegidas.

Recomenda-se que o planejamento e o manejo do fogo em unidades de conservação considerem não apenas os aspectos climáticos e socioeconômicos, mas também os condicionantes geomorfológicos e estruturais da paisagem. Estudos futuros podem aprofundar a análise em escalas maiores, incorporando variáveis como a rugosidade do terreno, a densidade de drenagem e a evolução da cobertura vegetal ao longo do tempo.

Palavras-chave: Manejo Integrado do Fogo, Incidência solar, MapBiomas, Google Earth Engine, Serra da Mantiqueira.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por meio da chamada 016/2024 que visa fornecer apoio à participação coletiva em eventos de natureza técnico-científica.



REFERÊNCIAS

- AIRBUS. **Copernicus Digital Elevation Model – Product Handbook**. Airbus Defence and Space. 2022.
- ARAGÃO, L. E. et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Phil. Trans. R. Soc.** v. 363, p. 1779–85, 2008.
- BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 30, p. 45-54, 2000.
- BRANDO, P. M. et al. Effects of Experimental Fuel Additions on Fire Intensity and Severity: Unexpected Carbon Resilience of a Neotropical Forest. **Global Change Biology**, v. 22, n. 7, p. 2516-2525, 2016.
- BRASIL, Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei dos Crimes Ambientais). Diário Oficial da União, n. 147, seção 1, p. 1, 01 ago. 2024
- COMIG. **Folha Pouso Alto**. Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais, vol. I, 2002.
- GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.
- IBGE. **Base Contínua de Geomorfologia do Brasil**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
- IBGE. **Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE. 2022.
- IEF. **Plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Papagaio**. Belo Horizonte: IEF, 118p, 2009.
- IEF. **Unidades de Conservação Estaduais**. Belo Horizonte: IDE-SISEMA. 2018.
- KAZMIERCZAK, M. L. Sensoriamento Remoto para incêndios florestais. In: Sausen, T. M.; Lacruz, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para desastres**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, p. 1-44, 1936.



- LIBONATI, R. et al. Sensoriamento Remoto de áreas queimadas no Brasil: progressos, incertezas, desafios e perspectivas futuras. In: Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. (Orgs.). **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 53-80, 2021.
- MINAS GERAIS, Lei nº 23.774, de 6 de janeiro de 2021, dispõe sobre a alteração dos limites da área do Parque Estadual da Serra do Papagaio, localizado nos municípios de Aiuruoca, Alagoa, Baependi, Itamonte e Pouso Alto. Minas Gerais, Belo Horizonte, 7 jan. 2021.
- NUMATA, I. et al. Biomass Collapse and Carbon Emission from Forest Fragmentation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical research: Biogeosciences**, v. 115, n. 3, 2010.
- PEZZOPANE, J. E. M. et al. Balanço de radiação em uma floresta em função da declividade e orientação das encostas. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000. **Anais**. Rio de Janeiro, SBMET, 2000. p. 207-213.
- REBELO, F. Condições de tempo favoráveis à ocorrência de incêndios florestais. **Biblos Coimbra**, v. 16, 21p, 1980.
- RIBEIRO, C. O. Ação Coletiva, Conselho Consultivo e Gestão: um Estudo na Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira. Dissertação de Mestrado em Administração – Gestão Social, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, 2005.
- RIBEIRO, G. A.; Estratégias de prevenção contra incêndios florestais. **Floresta**, v. 34, p. 243-247, 2004.
- RIOS, G. S. et al. Serra da Canastra National Park: Influence of forest fires on the RUSLE C factor and its impact on water erosion. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 52, n. 1, p. 13577, 2024. DOI: 10.15835/nbha52113577.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. C. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal**. Lavras: UFLA, 1029p, 2008.
- SIMAS, F. N. B. et al. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, v.125, p.187-201, 2005.
- SIRTOLI, A. E. et al. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 3, p. 317-329, 2008.