

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG

Instituto de Ciências da Natureza

Curso de Geografia – Bacharelado

PEDRO FREITAS RAMOS GRANDE

**CONDIÇÕES DA VEGETAÇÃO PRÉ-FOGO NO PARQUE
ESTADUAL DA SERRA DO PAPAGAIO (MG) POR MEIO
DE ÍNDICES ESPECTRAIS**

Unifal
Universidade Federal de Alfenas

Alfenas - MG

2024

PEDRO FREITAS RAMOS GRANDE

**CONDIÇÕES DA VEGETAÇÃO PRÉ-FOGO NO PARQUE
ESTADUAL DA SERRA DO PAPAGAIO (MG) POR MEIO DE
ÍNDICES ESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de **Bacharel** em
Geografia pelo Instituto de Ciências da
Natureza da Universidade Federal de
Alfenas-MG, sob orientação do(a) Prof. Dr.
Felipe Gomes Rubira.

Alfenas – MG
2024

Banca Examinadora

Titulação, nome completo e instituição do Orientador

Titulação, nome completo e instituição do Avaliador 01

Titulação, nome completo e instituição do Avaliador 02

Alfenas (MG), __/__/____

Resultado

Epígrafe

Pergunto-me: como é possível ver a injustiça, a miséria e a dor sem sentir a obrigação moral de mudar o que se vê?

José Saramago, 2004

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus avós, Aginaldo, Eunice, Joaquim, Juçara e Teresa por me ensinarem o que realmente importa.

Agradecimentos

Agradeço, antes de tudo, aos meus pais, Aguinaldo e Andréia, por serem fonte de inspiração e pelo cuidado e zelo que sempre tiveram em minha formação enquanto pessoa.

À minha família, em especial ao meu irmão, Guilherme, meu primeiro e mais velho amigo, e à minha irmã, Alice, por sempre me resgatar as proezas de ser jovem.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira, pela atenção, disposição e, claro, pela amizade que transcende todos os incontáveis ensinamentos por ele disseminados.

À Raiane, quem eu sigo como exemplo de coragem e resiliência, pelo capricho de ser quem é.

Ao professor e amigo Prof. Dr. Everton Rodrigues da Silva, Tom, por todas as oportunidades e pela reciprocidade em tudo que fizemos até aqui.

Aos companheiros do Núcleo de Estudo em Trabalho, Agroecologia e Soberania Alimentar (NETASA), por agregarem em minha formação política e humana e pelas portas que me abriram durante a graduação.

Aos professores que pude trabalhar junto em diferentes momentos da graduação, Prof. Dr. Estevan Leopoldo de Freitas Coca, Prof. Dr. Adriano Pereira Santos e Prof. Dr. José Roberto Porto de Andrade Junior, pelo valioso conhecimento transmitido por eles e pela amizade cultivada.

Aos amigos da ONG Rizomar, em especial Jérôme, Débora e Victor, pelos bons momentos e aprendizados vividos em Baependi - MG.

Aos amigos que fiz durante a graduação, Juan, Victor, Isabella, Rhian, Lícia, Ariele, Ana, Gabriel e todos aqueles que de alguma forma compartilharam bons momentos comigo.

À todos aqueles que, por acaso, eu acabei me esquecendo.

Resumo

O Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP), localizado no Sul do Estado de Minas Gerais, integra um importante corredor ecológico da Serra da Mantiqueira, na medida em que é limítrofe ao Parque Nacional de Itatiaia. Com altitudes que ultrapassam os 2.300 metros, o PESP abriga vegetações típicas de Cerrado e Mata Atlântica frequentemente impactadas por incêndios florestais, em sua maioria criminosos. Sob esse contexto, esta pesquisa objetivou avaliar, por meio de índices espectrais, as condições das diferentes fitofisionomias do parque antes de serem perturbadas pelo fogo. Para isso, foram calculados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII) e o Índice de Refletância de Senescência da Planta (PSRI) na plataforma *Google Earth Engine* a partir de imagens orbitais capturadas antes da ocorrência de incêndios florestais. Avaliou-se, em cada uma das cinco fitofisionomias, o comportamento dos três índices em áreas posteriormente queimadas, áreas não queimadas, e na média histórica. Os resultados apontam que o NDII apresentou maior sensibilidade para diferenciar as áreas atingidas pelo fogo daquelas não afetadas. O PSRI, embora menos eficiente na discriminação pontual das condições da vegetação, capturou sinais de estresse geral nas fitofisionomias em relação à média histórica. Por sua vez, o NDVI demonstrou limitações para análises pontuais, não sendo eficaz na identificação isolada de diferenças entre as condições pré-fogo e a média histórica. A semelhança entre as condições avaliadas das fitofisionomias queimadas e não queimadas sugere que fatores antrópicos são condicionantes mais relevantes para a ocorrência de fogo. Portanto, propõe-se estudos que incluam o diálogo com brigadistas, ONGs e demais agentes locais, ampliando a compreensão dos fatores que influenciam os incêndios.

Palavra-chave: Sensoriamento Remoto; *Google Earth Engine*; Manejo Integrado do Fogo; Incêndios Florestais; Serra da Mantiqueira.

Resumen

El Parque Estatal Serra do Papagaio (PESP), ubicado en el sur del Estado de Minas Gerais, forma parte de un importante corredor ecológico de la Serra da Mantiqueira, ya que limita con el Parque Nacional Itatiaia. Con altitudes superiores a los 2.300 metros, el PESP alberga una vegetación típica del Cerrado y de la Mata Atlántica, frecuentemente afectada por incendios forestales, la mayoría de ellos criminales. En este contexto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar, mediante índices espectrales, las condiciones de las diferentes fitofisionomías del parque antes de ser perturbadas por el fuego. Para ello, se calcularon en la plataforma *Google Earth Engine* el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI), el Índice de Diferencia Normalizada de Infrarrojos (NDII) y el Índice de Reflectancia de Senescencia de Plantas (PSRI) a partir de imágenes orbitales capturadas antes de la ocurrencia de los incendios forestales. En cada una de las cinco fitofisionomías se evaluó el comportamiento de los tres índices en áreas quemadas posteriormente, áreas no quemadas y en el promedio histórico. Los resultados indican que el NDII mostró mayor sensibilidad para diferenciar áreas afectadas por el fuego de aquellas no afectadas. El PSRI, aunque menos eficiente en la discriminación precisa de las condiciones de la vegetación, capturó signos de estrés general en las fitofisionomías en relación con el promedio histórico. A su vez, el NDVI demostró limitaciones para análisis específicos, al no ser efectivo para identificar diferencias entre las condiciones previas al incendio y el promedio histórico. La similitud entre las condiciones evaluadas de las fitofisionomías quemadas y no quemadas sugiere que los factores antropogénicos son condiciones más relevantes para la ocurrencia de un incendio. Por ello, se proponen estudios que incluyan el diálogo con bomberos, ONG y otros agentes locales, ampliando el conocimiento de los factores que influyen en los incendios.

Palabra-clave: Teledetección; *Google Earth Engine*; Manejo Integrado del Fuego; Incendios Forestales; Serra da Mantiqueira.

Lista de ilustrações

Figura 1 - Representação do espectro eletromagnético e suas principais regiões.....	23
Figura 2 - Assinatura espectral da vegetação.....	25
Figura 3 - Mapa de localização do Parque Estadual da Serra do Papagaio.....	28
Figura 4 - Unidades geológicas do Parque Estadual da Serra do Papagaio.....	29
Figura 5 - Mapa hipsométrico do Parque Estadual da Serra do Papagaio.....	31
Figura 6 - Declividade do Parque Estadual da Serra do Papagaio.....	32
Figura 7 - Pedologia do Parque Estadual da Serra do Papagaio.....	33
Figura 8 - Mapa de distribuição das fitofisionomias do PESP.....	34
Figura 9 - Fluxograma metodológico.....	37
Figura 10 - Representação das áreas queimadas por fitofisionomia.....	40
Figura 11 - Representação visual do redutor de média espacial.....	43
Figura 12 - Representação visual do redutor de média temporal.....	44
Figura 13 - Mapa da área queimada no PESP entre 1985 e 2023.....	47
Figura 14 - Série histórica de área queimada em hectares no PESP por ano.....	48
Figura 15 - Mapa de ocorrência dos incêndios florestais analisados.....	49
Figura 16 - Campo rupestre no Parque Estadual da Serra do Papagaio.....	51
Figura 17 - Índices espectrais do Campo Rupestre.....	52
Figura 18 - Campo no Retiro dos Pedros (PESP).....	53
Figura 19 - Índices espectrais do Campo.....	54
Figura 20 - Índices espectrais da Floresta Estacional Semidecidual Montana.....	55
Figura 21 - Fragmento de Floresta Ombrófila Montana no Parque Estadual da Serra do Papagaio, com destaque para o Pico do Papagaio ao fundo.....	56
Figura 22 - Índices espectrais da Floresta Ombrófila Montana.....	57
Figura 23 - Floresta Ombrófila Alto Montana próxima ao Santuário das Montanhas Sagradas (PESP).....	58
Figura 24 - Índices espectrais da Floresta Ombrófila Alto Montana.....	59

Lista de quadros

Quadro 1 - Definições estabelecidas pela PNMIF (2024).....	20
Quadro 2 - Relação das imagens orbitais selecionadas.....	38

Lista de tabelas

Tabela 1 - Escala de níveis de severidade do fogo.....	36
Tabela 2 - Área das fitofisionomias.....	42

Lista de siglas

COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
dNBR - Diferença do Índice de Queimada por Razão Normalizada
ESA - Agência Espacial Europeia
ETM+ - *Enhanced Thematic Mapper Plus*
GEE - *Google Earth Engine*
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE-SISEMA - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual do Meio Ambiente
IEF - Instituto Estadual de Florestas
MIF - Manejo Integrado do Fogo
MSI - *MultiSpectral Instrument*
NBR - Índice de Queimada por Razão Normalizada
NDII - Índice Infravermelho por Diferença Normalizada
NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NIR - Banda do Infravermelho Próximo
ONG - Organização Não Governamental
PESP - Parque Estadual da Serra do Papagaio
PNMIF - Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo
PSRI - Índice de Reflectância de Senescência da Planta
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SWIR 1 - Banda do Infravermelho de Onda Curta 1
SWIR 2 - Banda do Infravermelho de Onda Curta 2
TM - *Thematic Mapper*
UFLA - Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. PROBLEMA.....	15
3. HIPÓTESE.....	16
4. OBJETIVOS.....	17
4.1 Objetivo Geral:.....	17
4.2 Objetivos Específicos:.....	17
5. JUSTIFICATIVA.....	18
6. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
6.1 Incêndios florestais e o manejo integrado do fogo.....	20
6.2 Sensoriamento Remoto da vegetação.....	23
6.3 Índices espectrais da vegetação.....	25
7. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
8. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
8.1 Base de dados.....	37
8.2 Cálculo da área queimada anual por fitofisionomia.....	39
8.3 Cálculo dos índices espectrais.....	41
8.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	41
8.3.2 Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII).....	41
8.3.3 Índice de Refletância de Senescência da Planta (PSRI).....	41
8.4 Análises estatísticas.....	42
9. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
9.1 Distribuição espaço-temporal dos incêndios florestais no PESP.....	46
9.2 Análise da resposta espectral da vegetação antes dos incêndios.....	50
9.2.1 Campo Rupestre.....	50
9.2.2 Campo.....	52
9.2.3 Floresta Estacional Semidecidual Montana.....	54
9.2.4 Floresta Ombrófila Montana.....	55
9.2.5 Floresta Ombrófila Alto Montana.....	57
9.3 Condições da vegetação pré-fogo por meio de índices espectrais.....	60
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

O Brasil abriga aproximadamente 10% da biodiversidade mundial, totalizando cerca de 2 milhões de espécies (Lewinsohn; Prado, 2005). Uma parcela significativa dessas espécies está concentrada no bioma Mata Atlântica, que atualmente conserva apenas 26% de sua cobertura vegetal original (Projeto MapBiomias, 2024). Apesar de parte dessa vegetação estar protegida por Terras Indígenas e Unidades de Conservação, essas áreas abrangem menos de 15% do bioma (Scarano; Ceotto, 2015). Nesse contexto, a Mata Atlântica é considerada um *hotspot* de biodiversidade, com alta vulnerabilidade às mudanças climáticas (Béllard et al., 2014).

Entre os principais remanescentes de vegetação da Mata Atlântica, destaca-se o Corredor Ecológico da Mantiqueira, composto pelo Parque Nacional do Itatiaia (Brasil, 1937) e pelo Parque Estadual da Serra do Papagaio (Minas Gerais, 1998). Juntas, essas Unidades de Conservação constituem um dos maiores fragmentos de vegetação nativa da Serra da Mantiqueira (IEF, 2009). O PESP, em particular, é um ecótono que abriga fitofisionomias características do Cerrado e da Mata Atlântica (Scolforo; Mello; Silva, 2008).

No entanto, Junqueira (2018) aponta que a criação do parque, baseada em uma lógica naturalista, resultou na expulsão de comunidades tradicionais de seus territórios ancestrais e na criminalização de suas práticas culturais e econômicas. Esse processo gerou uma desconexão entre as populações locais e a natureza, dificultou a implementação de uma gestão sustentável e participativa e intensificou conflitos entre atividades humanas e a conservação ambiental, como os incêndios criminosos recorrentes na área.

O uso do fogo no PESP está amplamente associado a atividades humanas, especialmente em função dos conflitos relacionados às desapropriações realizadas na criação do parque. Junior et al. (2019) destacam que, nos parques estaduais de Minas Gerais, os incêndios criminosos têm como principais causas a agropecuária e a regularização fundiária.

Uma das estratégias utilizadas no manejo integrado do fogo é o monitoramento preventivo de áreas suscetíveis, possibilitando a realização de queimas prescritas para reduzir o excesso de material combustível e prevenir incêndios de alta severidade. A pesquisa científica neste campo de atuação é essencial para identificar as condições da vegetação e priorizar áreas para o manejo preventivo.

Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo compreender as condições espectrais das diferentes fitofisionomias do PESP antes de serem perturbadas pelo fogo. Para alcançar

esse objetivo, foram utilizados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII) e o Índice de Refletância de Senescência da Planta (PSRI), processados com técnicas de computação em nuvem na plataforma *Google Earth Engine*.

2. PROBLEMA

É possível mensurar as condições da vegetação pré-fogo no Parque Estadual da Serra do Papagaio por meio de índices espectrais derivados de dados de Sensoriamento Remoto?

3. HIPÓTESE

As fitofisionomias do Parque Estadual da Serra do Papagaio apresentam variações na resposta espectral antes da perturbação pelo fogo, passíveis de mensuração por meio de índices espectrais.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral:

Compreender as condições espectrais das diferentes fitofisionomias do Parque Estadual da Serra do Papagaio antes da perturbação pelo fogo.

4.2 Objetivos Específicos:

- Analisar a distribuição espaço-temporal dos incêndios florestais no parque;
- Mensurar as condições de umidade, senescência e verdor que favorecem a combustão das fitofisionomias;
- Avaliar os parâmetros da vegetação mais condicionantes para a ocorrência de incêndios florestais;
- Disponibilizar um código em *JavaScript* na plataforma em nuvem *Google Earth Engine*, passível de replicação em outros estudos.

5. JUSTIFICATIVA

A criação do Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP) está associada à necessidade de se proteger uma área historicamente degradada pela presença de gado e pelo uso do fogo no manejo da pastagem (IEF, 2009). Além disso, a caça e o turismo são atividades que contribuem para o desequilíbrio sistêmico do parque.

A relevância ambiental do parque é evidente, uma vez que seus limites estão localizados no Corredor Ecológico da Mantiqueira e na Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira (Brasil, 1985). De acordo com seu decreto de criação, o PESP tem por finalidade proteger a fauna e a flora locais, as nascentes de rios e córregos da região, além de criar condições para o desenvolvimento de pesquisas científicas e para a ampliação do turismo ecológico (IEF, 2009 apud Minas Gerais, 1998).

Conforme o Plano de Manejo (2009), o parque sofre com incêndios florestais recorrentes. Em geral, esses incêndios estão relacionados a causas antrópicas, em decorrência de conflitos históricos relacionados às desapropriações na criação do parque. Assim, estudar os incêndios florestais e as estratégias para mitigar os impactos do fogo nos ecossistemas é de suma importância, devido às diversas implicações ambientais, sociais e econômicas.

A priori, a conservação da biodiversidade é diretamente afetada, uma vez que os incêndios provocam perdas significativas na fauna e flora, comprometendo as complexas interações das cadeias alimentares e a estabilidade dos ecossistemas (Barlow et al., 2016). Adicionalmente, os incêndios florestais contribuem para as mudanças climáticas, liberando grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera (Numata et al., 2010). Esse fenômeno intensifica o efeito estufa, agravando problemas como o aquecimento global e eventos climáticos extremos.

Segundo o Instituto Estadual de Florestas (2009), o Parque Estadual da Serra do Papagaio abriga ecossistemas florestais que prestam uma gama de serviços ecossistêmicos, como regulação do clima, purificação da água, controle de pragas e polinização. Contudo, os incêndios representam uma ameaça a esses serviços, impactando diretamente a qualidade de vida das comunidades que deles dependem. Além disso, os efeitos do fogo descontrolado alteram a estrutura e composição do solo, tornando-o mais suscetível à erosão (Libonati et al., 2021).

Portanto, o estudo do comportamento dos incêndios florestais é essencial para a prevenção de desastres, possibilitando a compreensão dos padrões de propagação do fogo, a

identificação de áreas de risco e o desenvolvimento de medidas de manejo eficazes para reduzir a ocorrência e os efeitos adversos desses eventos. Diversos estudos têm tentado identificar as causas dos incêndios florestais por meio de padrões em comportamentos e condições pré-fogo (Castro et al., 2003; Kazmierczak, 2015; Campanharo et al., 2021).

Embora haja uma sólida literatura sobre as condições que antecedem os incêndios florestais, com foco nas principais causas (Rebelo, 1980; Batista, 2000; Ribeiro, 2004; Aragão et al., 2008; Brando et al., 2016), poucos estudos abordam as condições da vegetação antes dos incêndios por meio de índices espectrais (Milagres, 2019). Diante disso, a busca por novas técnicas e metodologias para entender esses fenômenos desempenha um importante papel na promoção da conservação ambiental e na mitigação dos riscos e danos causados pelo fogo.

6. REFERENCIAL TEÓRICO

6.1 Incêndios florestais e o manejo integrado do fogo

No Brasil, existem diferentes definições para o conceito de incêndio florestal, o que frequentemente gera confusão quanto ao seu uso (Kazmierczak, 2015). A partir da elaboração da Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) em 2012, os incêndios florestais passaram a ser considerados desastres naturais climatológicos, caracterizados pela propagação descontrolada do fogo em áreas vegetadas (Brasil, 2012). Com a sanção da Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024, que institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, o incêndio florestal foi definido como “qualquer fogo não controlado e não planejado que incida sobre florestas e demais formas de vegetação, nativa ou plantada, em áreas rurais e que, independentemente da fonte de ignição, exija resposta” (Brasil, 2024).

A Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF) estabelece definições para queimadas controladas e prescritas, que se diferenciam dos incêndios florestais por serem planejadas, monitoradas e controladas (Quadro 1).

Quadro 1 - Definições estabelecidas pela PNMIF (2024).

Conceito	Definição
Incêndio florestal	Qualquer fogo não controlado e não planejado que incida sobre a vegetação, nativa ou plantada, em áreas rurais e que, independentemente da fonte de ignição, exija resposta.
Queima controlada	Uso planejado, monitorado e controlado do fogo, realizado para fins agrossilvipastoris em áreas determinadas e sob condições específicas.
Queima prescrita	Uso planejado, monitorado e controlado do fogo, realizado para fins de conservação, de pesquisa ou de manejo em áreas determinadas e sob condições específicas, com objetivos pré-definidos em plano de manejo integrado do fogo.
Regime do fogo	Frequência, época, tamanho da área queimada, intensidade, severidade e tipo de queima em determinada área ou ecossistema.
Manejo integrado do fogo	Modelo de planejamento e gestão que associa aspectos ecológicos, culturais, socioeconômicos e técnicos na execução, na integração, no monitoramento, na avaliação e na adaptação

	de ações relacionadas com o uso de queimas prescritas e controladas e a prevenção e o combate aos incêndios florestais, com vistas à redução de emissões de material particulado e gases de efeito estufa, à conservação da biodiversidade e à redução da severidade dos incêndios florestais, respeitado o uso tradicional e adaptativo do fogo.
--	---

Fonte: adaptado de Brasil (2024).

O uso do fogo de maneira controlada para manejo de culturas agrícolas é documentado desde, pelo menos, 7 mil anos (Piperno; Pearsall, 1998). Porém, na atualidade, áreas de matas nativas e Unidades de Conservação sofrem perdas consideráveis provocadas pelo fogo anualmente (Projeto MapBiomass, 2024).

Diversos estudos tentam explicar as causas dos incêndios florestais. Segundo Castro et al. (2003), para que o fogo se inicie, é necessário a presença de três elementos: calor, combustível e comburente. No contexto de incêndios florestais, o calor pode ser oriundo de raios solares concentrados em fragmentos de quartzo ou cacos de vidro. O combustível, geralmente, é constituído por vegetação rasteira, como gramíneas, arbustos ressequidos e folhas mortas, que podem atingir estratos mais complexos à medida que o fogo consome mais material. O comburente, por sua vez, é o oxigênio presente no ar, impulsionado por correntes de vento, que auxilia na oxidação da matéria a ser queimada.

Porém, Aragão et al. (2008) evidenciam que as principais fontes de ignição dos incêndios florestais em regiões tropicais são de origem antrópica. Estudos também apontam que a baixa umidade do ar e da biomassa possuem forte correlação com a ocorrência de incêndios (Brando et al., 2016). Dessa forma, entende-se que as causas dos incêndios florestais envolvem fatores antrópicos e naturais.

No PESP, os incêndios florestais estão associados a causas antrópicas, devido ao histórico de conflitos originados pelas desapropriações durante a criação do parque. Segundo Junior et al. (2019), as principais causas dos incêndios florestais criminosos nos parques estaduais de Minas Gerais estão relacionadas à agropecuária e à regularização fundiária, enquanto a precipitação pluviométrica se mostra como o principal fator climático determinante para estes eventos (Campanharo et al., 2021).

Além de compreender as causas dos incêndios florestais, é necessário analisar os processos que ocorrem após a queima da biomassa. A resposta da vegetação ao fogo depende de diversos fatores, como a severidade do incêndio, a extensão atingida e a frequência dos

eventos (Chazdon, 2003). Para Silva et al. (2016), estes eventos alteram negativamente o sistema climático, os ecossistemas e o ciclo do carbono.

Neste contexto, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) surge como uma estratégia eficaz. O MIF é uma abordagem que alia conhecimento técnico, científico e tradicional para o uso controlado e sustentável do fogo (Brasil, 2024). Seu objetivo é reduzir os impactos negativos dos incêndios florestais e das queimadas descontroladas, ao mesmo tempo que aproveita os benefícios do fogo nos processos ecológicos e na agricultura sustentável. Nesse sentido, a queima prescrita, quando bem executada, é uma ferramenta de prevenção contra incêndios. Estudos mostram que essa prática pode reduzir o acúmulo de biomassa inflamável, diminuindo o risco de incêndios descontrolados (Valor et al., 2015). Gomes et al. (2020) indicam que as queimas prescritas realizadas no início da estação seca emitem consideravelmente menos gases de efeito estufa do que os incêndios que ocorrem ao final da estação seca.

Contudo, o sucesso do MIF depende de uma comunicação eficiente, investimentos em prevenção e formação de equipes capacitadas para responder a incêndios, além de debates locais para adaptação às realidades específicas de cada região. Com base na percepção do fogo como um agente ecológico e cultural, o MIF adota um planejamento adaptativo, levando em consideração as características ambientais, socioeconômicas e culturais de cada território. Essa abordagem tem sido aplicada em Unidades de Conservação e comunidades tradicionais no Brasil, promovendo o uso sustentável do fogo como ferramenta de manejo e conservação (Brasil, 2024). Exemplo disso é o Plano de Manejo do Parque Nacional Grande Sertão Veredas (IBAMA, 2003), no Cerrado, que utiliza o fogo controlado para promover a regeneração de espécies vegetais dependentes do fogo, ao mesmo tempo que minimiza os riscos de incêndios descontrolados.

O Guia Prático para Elaboração de Planos de Manejo Integrado do Fogo (Moura et al., 2023), desenvolvido pelo IBAMA e parceiros, orienta as comunidades a realizar diagnósticos locais e estabelecer estratégias que equilibrem atividades antrópicas e preservação ambiental.

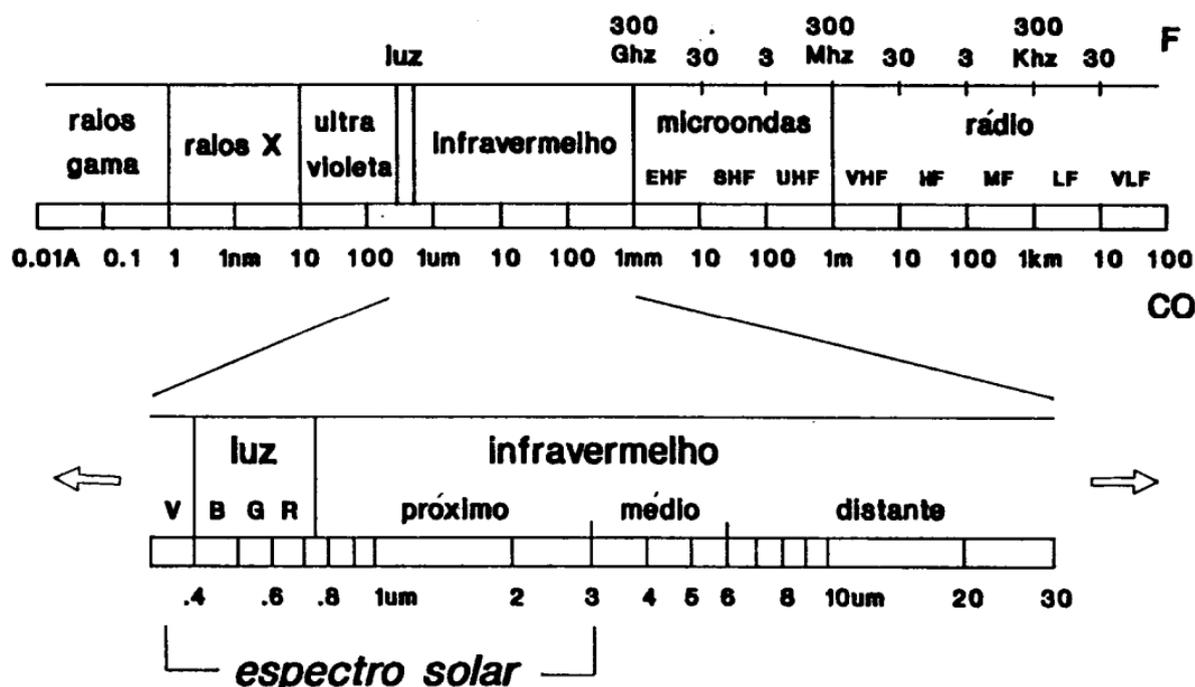
No Pantanal, a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (Brasil, 2024) apoia programas como o Projeto Estratégias de Conservação, Restauração e Manejo para a Biodiversidade da Caatinga, Pampa e Pantanal (GEF Terrestre) (Serviço Público Federal, 2023), que visa incorporar informações sobre o uso tradicional do fogo, as necessidades econômicas das comunidades e os impactos ecológicos nos planos de manejo, por meio do levantamento de dados socioambientais. Essas iniciativas ilustram como o MIF promove,

além da gestão ambiental, a inclusão social e o fortalecimento cultural das comunidades envolvidas.

6.2 Sensoriamento Remoto da vegetação

O Sensoriamento Remoto permite medir as propriedades de objetos na superfície terrestre sem contato direto com eles (Lorenzetti, 2015). Para Jensen (2009), essa ciência se difere da cartografia e do geoprocessamento, pois enquanto estas dependem de dados preexistentes, o Sensoriamento Remoto gera novas informações a partir da interação dos objetos com a radiação eletromagnética emitida pelo Sol. Em termos gerais, consiste em medir a quantidade de radiação refletida pelos objetos terrestres. Como cada objeto alvo possui diferentes comportamentos perante os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético (Figura 1), o que caracteriza sua assinatura espectral, torna-se necessário compreender as principais características do objeto alvo.

Figura 1 - Representação do espectro eletromagnético e suas principais regiões.



Fonte: Novo e Ponzoni (2001).

Pimenta (2019) destaca que a maior parte dos cloroplastos de uma planta está localizada nas folhas, razão pela qual a fotossíntese ocorre predominantemente nesta região. Portanto, é importante entender alguns aspectos da morfologia foliar. Ponzoni et al. (2015)

explicam que as folhas possuem uma face ventral voltada para cima, que recebe diretamente a radiação eletromagnética. Esta face é revestida por uma cutícula protetora que reveste a epiderme superior onde se localizam os estômatos.

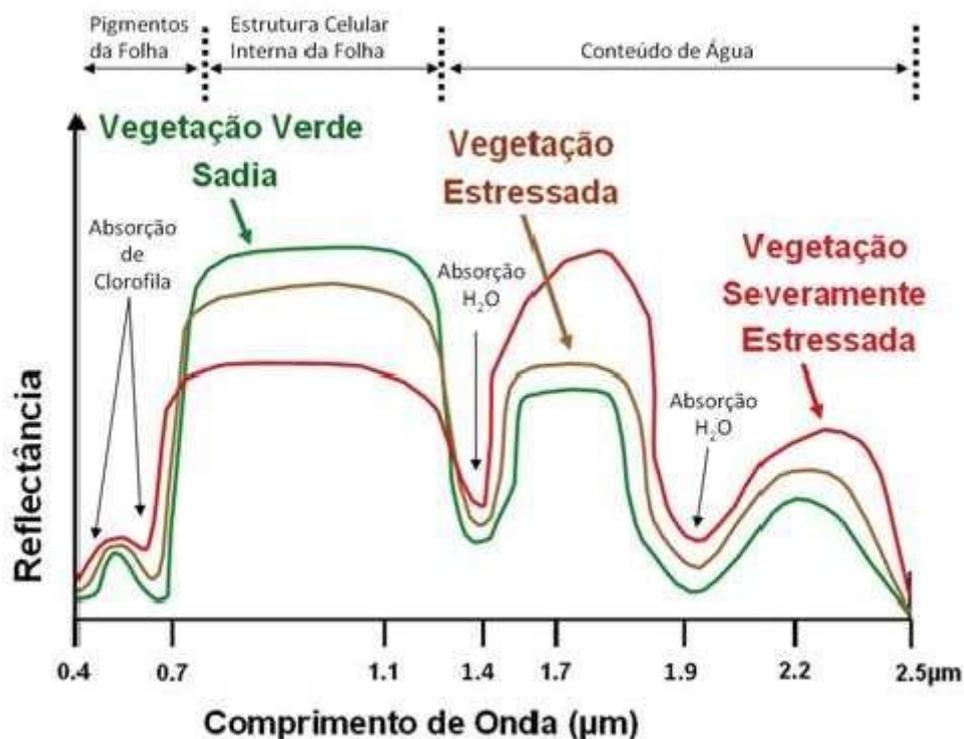
Internamente à folha, encontra-se o mesófilo paliçádico, composto por células ricas em cloroplastos, onde se situam os pigmentos fotossintetizantes, como a clorofila. Abaixo dessa camada, está o mesófilo esponjoso, cuja organização celular é menos densa, o que permite a circulação de gases provenientes da respiração e transpiração da planta, preenchendo as lacunas entre as estruturas celulares. Na face dorsal da folha, encontra-se a epiderme, com uma maior quantidade de estômatos em comparação à face ventral.

Nesta perspectiva, o Sensoriamento Remoto da vegetação está intimamente relacionado ao processo de fotossíntese (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2015), que consiste na produção de biomassa a partir da absorção da luz nos comprimentos de onda do azul e do vermelho (Majerowicz, 2019). Nobel (1991) aponta que a vegetação praticamente não absorve luz verde, refletindo-a quase que integralmente.

Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2015) explicam que a interação da radiação eletromagnética com a vegetação ocorre de diferentes maneiras, podendo ser refletidas, transmitidas ou absorvidas, a depender das características físico-químicas das folhas. Um feixe de radiação solar incidente pode ser refletido ao encontrar a cutícula e a epiderme, ou penetrar essas camadas até atingir o mesófilo paliçádico. Parte da radiação visível é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes para a fotossíntese (Majerowicz, 2019), enquanto outra parte pode atravessar a folha, contribuindo para a percepção de brilho devido à sua semitransparência (Clements, 1904 apud Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2015).

Ao considerar diferentes feixes de radiação, como o infravermelho próximo, Ponzoni et al. (2015) afirmam que esses não são absorvidos pelos pigmentos fotossintetizantes, mas percorrem trajetórias errantes dentro da folha devido às mudanças nos índices de refração, colisões e estrutura dos tecidos. Estruturas mais lacunosas tendem a alterar essa trajetória. A espessura da folha e a densidade de organelas, como os cloroplastos, que possuem cerca de 5 µm de diâmetro e contêm grana e clorofila, influenciam essas interações (Clements, 1904 apud Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2015). A água presente nas células absorve grande parte do infravermelho médio, assim como os pigmentos fotossintetizantes fazem para a região do visível (Figura 2).

Figura 2 - Assinatura espectral da vegetação.



Fonte: Filho et al. (2008).

Essa compreensão levou ao desenvolvimento de vários índices espectrais (Rouse et al., 1973) que demonstram que a interação entre a radiação e as folhas depende de fatores químicos, como a presença de água e pigmentos fotossintetizantes, e estruturais, como a organização tecidual. Esses fenômenos — absorção, transmissão e reflexão — são fundamentais no estudo do comportamento espectral da vegetação.

6.3 Índices espectrais da vegetação

Os índices espectrais de vegetação utilizados no Sensoriamento Remoto foram desenvolvidos para monitorar e quantificar as condições e a distribuição espacial da vegetação por meio de dados digitais de reflectâncias espectrais da radiação eletromagnética (Liu, 2015). Esses índices são calculados a partir de combinações matemáticas de reflectâncias em diferentes faixas espectrais, com o objetivo de condensar informações espectrais, discriminar vegetação de não vegetação e avaliar fatores como crescimento das culturas, presença de doenças, pragas, secas, geadas e eventos meteorológicos catastróficos (Liu, 2015).

As aplicações dos índices espectrais apresentam vantagens, como a correção parcial de efeitos de variações atmosféricas, ângulos de visada dos sensores e ângulos solares, desde que tais efeitos tenham magnitudes similares nas bandas consideradas (Liu, 2015).

Bannari, Morin e Bonn (1995 apud Liu, 2015) realizaram uma revisão sobre índices de vegetação baseados em dados de satélite, identificando mais de 40 índices desenvolvidos para explorar a resposta espectral da vegetação no monitoramento remoto. Os autores ressaltam que a resposta espectral da vegetação é influenciada por uma complexa interação de fatores, como composição da vegetação, condições ambientais, brilho, cor, umidade do solo e variações espaciais e temporais das condições atmosféricas.

Nesse sentido, Baptista, Bento-Gonçalves e Vieira (2018) obtiveram bons resultados ao avaliar as condições de verdor, umidade e senescência da vegetação antes e após um incêndio florestal por meio dos índices NDVI, NDII e PSRI.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto inicialmente por Rouse et al. (1973) para examinar a viabilidade de usar dados do satélite ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) para monitorar as condições da vegetação nos pastos das Grandes Planícies, nos EUA. Os autores utilizaram dados espectrais para medir a biomassa verde a partir das bandas do infravermelho próximo (700-1.300nm) e do vermelho (600-700nm).

Para elaboração do Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII), Hardisky, Klemas e Smart (1983) utilizaram um radiômetro configurado com bandas do sensor *Thematic Mapper* (TM) do Landsat para coletar dados espectrais em áreas salobras de pântano antes da colheita, analisando a umidade das plantas. Os autores avaliaram as bandas do vermelho (sensível à clorofila), infravermelho próximo (estruturas celulares) e infravermelho médio (conteúdo de água). Os dados foram normalizados em um índice de infravermelho que mostrou maior eficácia para detectar umidade, especialmente em amostras de vegetação baixa, visto que sua precisão diminuiu em vegetação densa devido à limitação na penetração da luz (Hardisky; Klemas; Smart, 1983).

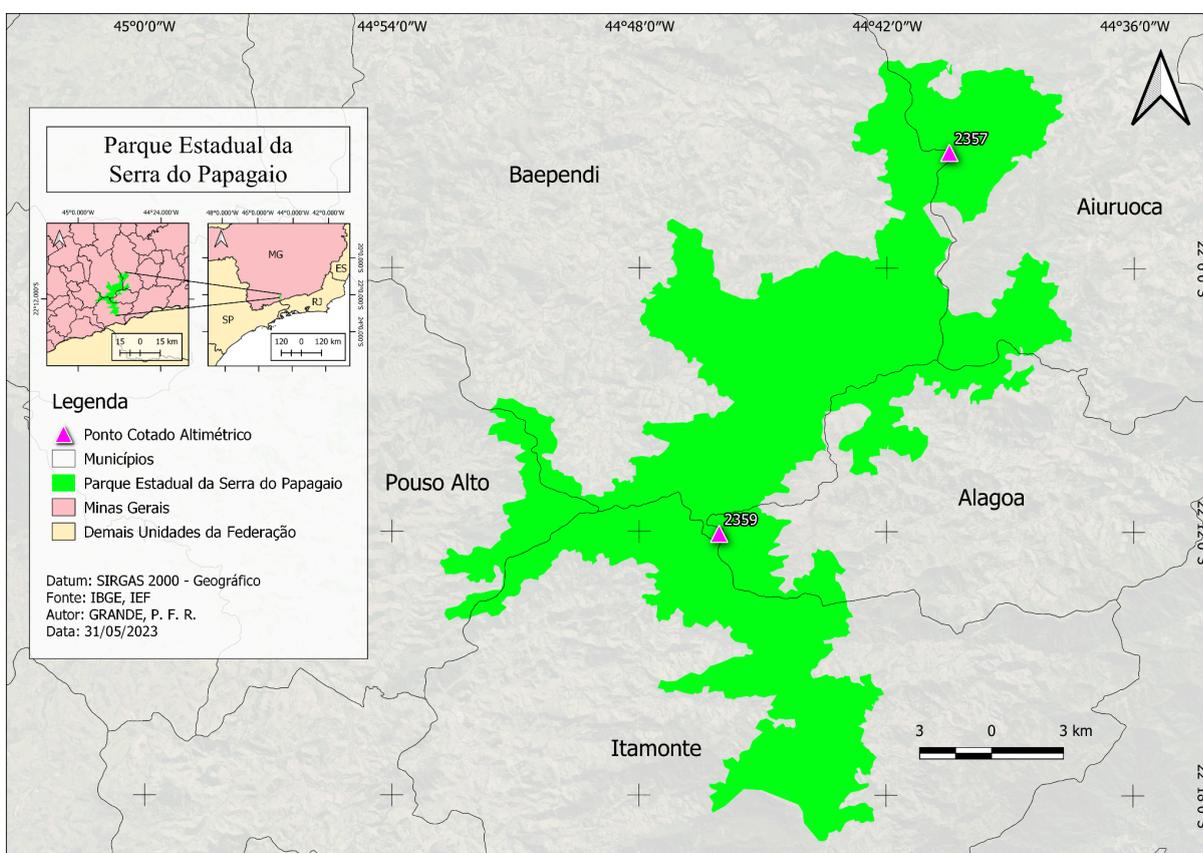
Merzlyak et al. (1999) analisaram em condições controladas folhas e frutos em diferentes estágios de senescência e maturação para avaliar mudanças na reflectância espectral, relacionadas à degradação de clorofila. Folhas senescentes exibiram aumento na reflectância em comprimentos de onda menores que 500 nm devido à redução da clorofila, enquanto as bandas específicas de carotenóides tornaram-se evidentes. Então, os autores avaliaram as amostras testando índices espectrais com diferentes comprimentos de onda. Os

resultados revelaram que, em folhas com altos níveis de clorofila ($>100 \text{ mg/m}^2$), o índice permaneceu estável; em folhas com baixa clorofila, o índice aumentou rapidamente, indicando sensibilidade à senescência. Assim, o Índice de Refletância de Senescência da Planta (PSRI) foi proposto a partir da resposta espectral nos comprimentos de onda de 678, 500 e 750 nanômetros.

7. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O PESP está situado na Região Geográfica Intermediária de Pouso Alegre, no estado de Minas Gerais (IBGE, 2017), abrangendo os municípios de Baependi, Aiuruoca, Alagoa, Pouso Alto e Itamonte (Figura 3). Com uma área de 25.872 hectares (Minas Gerais, 2021), o parque está situado a 415 km de Belo Horizonte, 275 km do Rio de Janeiro e 317 km de São Paulo, considerando as distâncias por rodovia.

Figura 3 - Mapa de localização do Parque Estadual da Serra do Papagaio.



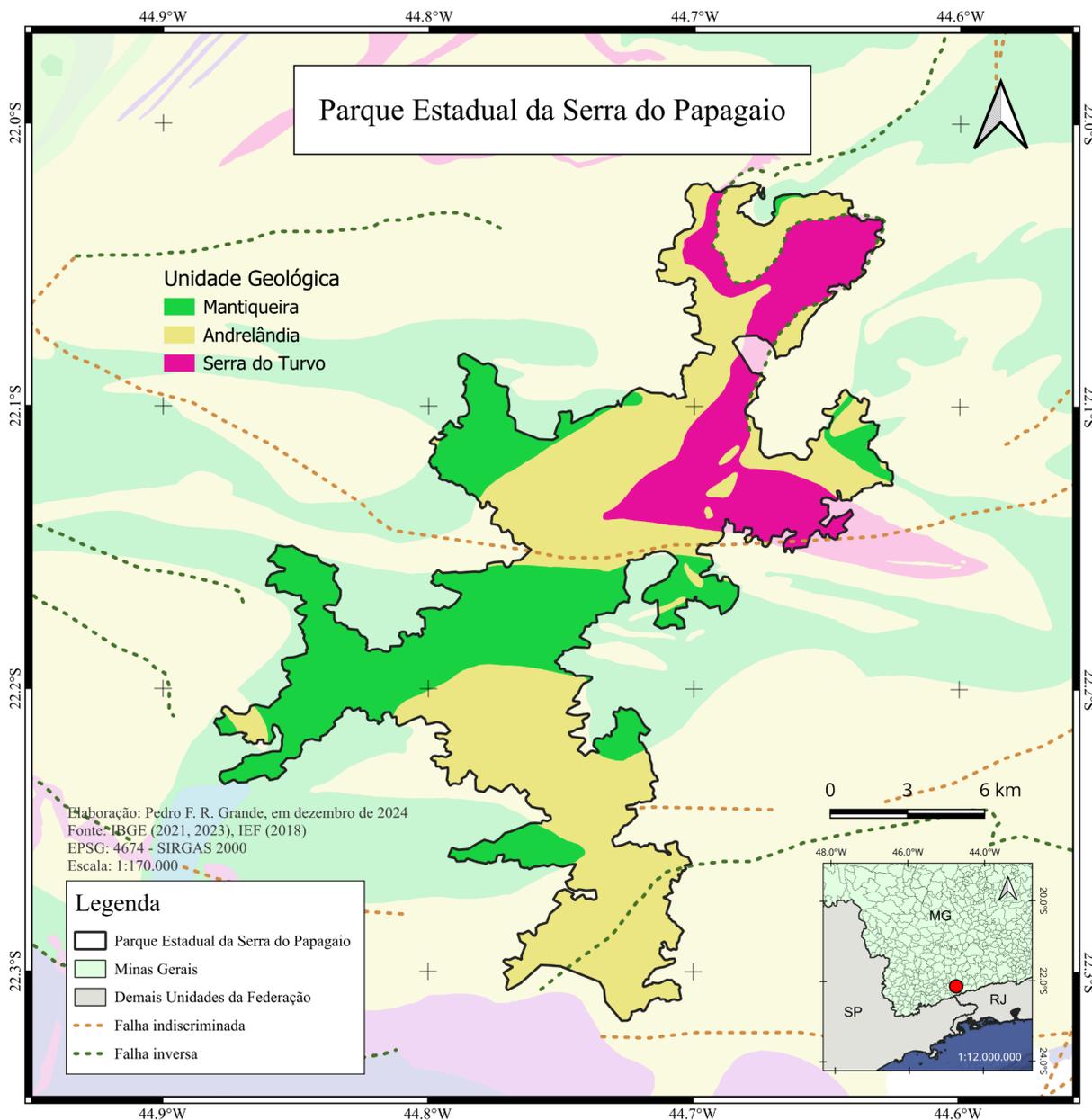
Fonte: autor (2024).

Criado em 5 de agosto de 1998 (Minas Gerais, 1998), o PESP teve sua origem a partir da revogação do Decreto nº 31.368 (Minas Gerais, 1990), que instituiu a Estação Ecológica do Papagaio. Segundo seu Decreto de Criação (1998), o parque tem por finalidade “proteger a fauna e a flora locais, as nascentes de rios e córregos da região, bem como criar condições para o desenvolvimento de pesquisas científicas e para a ampliação do turismo ecológico”.

A geologia vincula-se à Província Tocantins, Sub-Província Socorro-Guaxupé, entre as faixas móveis neoproterozóicas Brasília e Ribeira da Serra da Mantiqueira Meridional (Figura

4). Seu relevo apresenta formas dissecadas, com topos convexos e aguçados (IBGE, 2021), composto por rochas metamórficas dobradas e falhadas, além de maciços plutônicos (COMIG, 2002).

Figura 4 - Unidades geológicas do Parque Estadual da Serra do Papagaio.



Fonte: autor (2024).

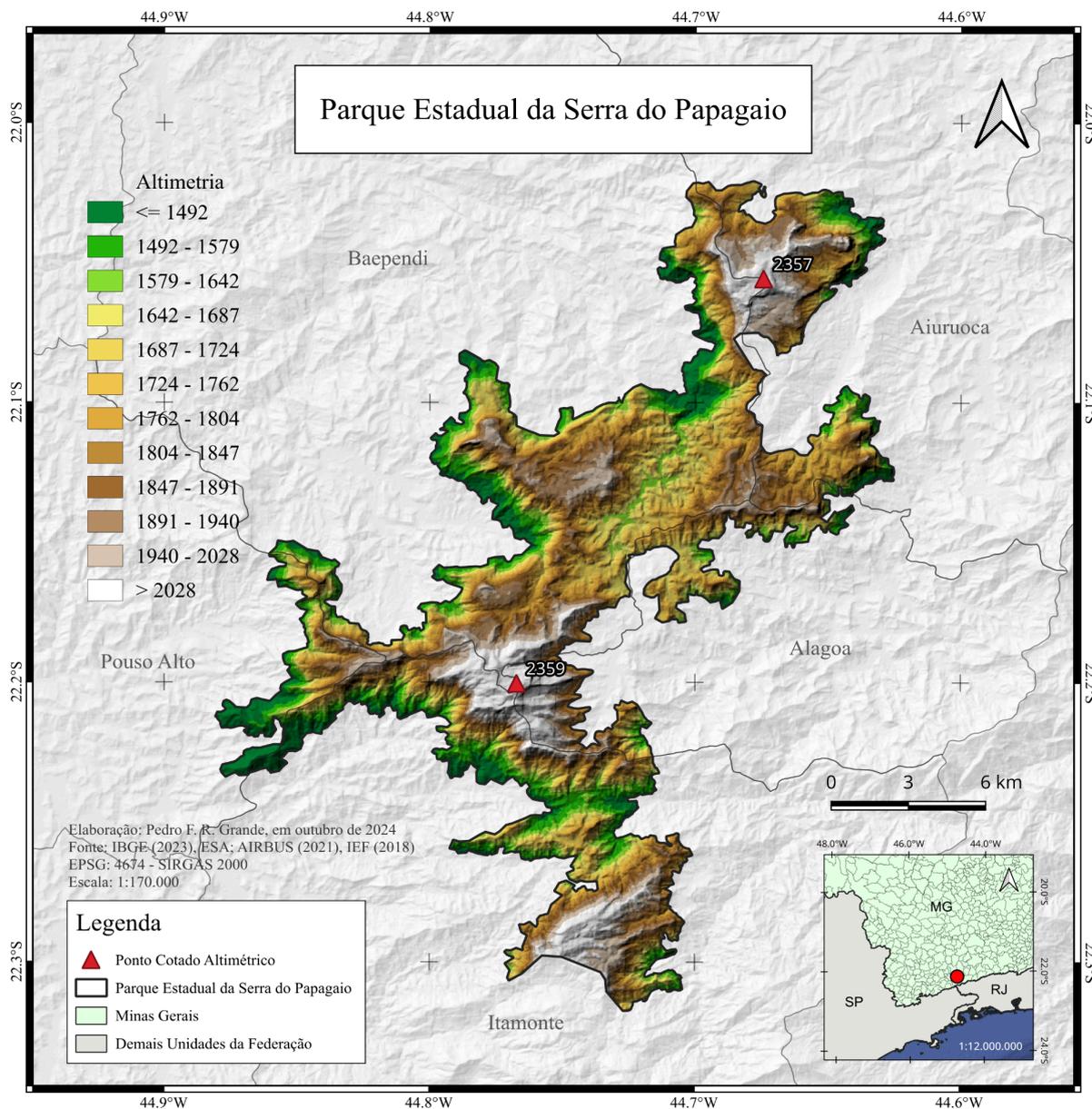
O Complexo Mantiqueira tem sua formação no Paleoproterozóico Riáciano e apresenta metamorfismo regional de grau médio, composto por anfibolitos, granitos, granulitos, ortognaisses e xistos (IBGE, 2021). Já o grupo Andrelândia, datado do

Neoproterozóico, apresenta rochas metamórficas de alto grau, como quartzitos, gnaisses, mármore e anfibólitos (IBGE, 2021). O subgrupo Serra do Turvo está inserido no grupo Andrelândia, porém, com menor grau de metamorfismo de rochas como o filito.

A Serra do Papagaio apresenta clima subtropical de altitude (Cwb) da classificação de Köppen (1936), com inverno seco e verão ameno. Estas características propiciam a formação das fitofisionomias de altitude existentes no PESP. Além disso, o parque é um tríplice divisor de importantes sub-bacias contribuintes da bacia hidrográfica do rio Grande: Aiuruoca, Baependi e Verde (IEF, 2009).

São poucos os estudos geomorfológicos acerca da Unidade de Conservação (IEF, 2009). No entanto, estudos abrangentes sobre a gênese do relevo da Serra da Mantiqueira indicam que as formas atuais resultam de reativações de falhas desenvolvidas durante o soerguimento imposto pela orogenia Brasiliano-Pan-Africana (Simas et al., 2005). A reativação dessas falhas está associada à separação dos continentes no Cretáceo, processo que resultou na configuração atual do relevo, caracterizado por um sistema de cristas paralelas, intercaladas por vales com drenagem encaixada, alinhada às escarpas íngremes e blocos soerguidos. O parque possui uma amplitude altimétrica superior a 1.000 metros, com seu ponto culminante, o Pico Santo Agostinho, a 2.359 metros acima do nível do mar (Figura 5).

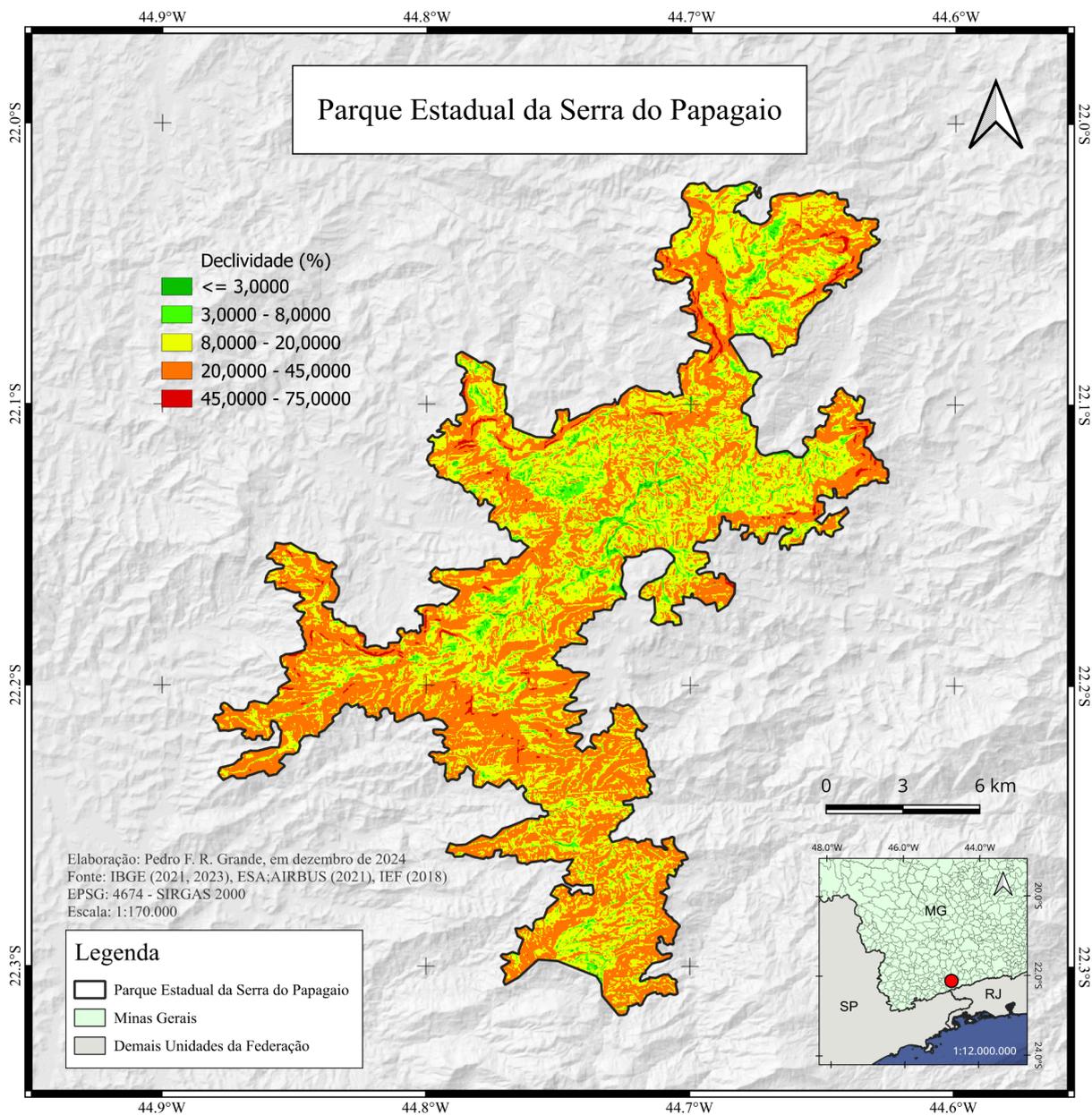
Figura 5 - Mapa hipsométrico do Parque Estadual da Serra do Papagaio.



Fonte: autor (2024).

O parque possui declividade média de 40%, o que o caracteriza como uma região de relevo fortemente ondulado (Figura 6). Há áreas no perímetro do parque onde ocorrem declividades superiores a 75%, alcançando até 100%. Esses setores formam escarpas que se originaram de falhas geológicas localizadas nas bordas dos seus principais maciços soerguidos (IEF, 2009).

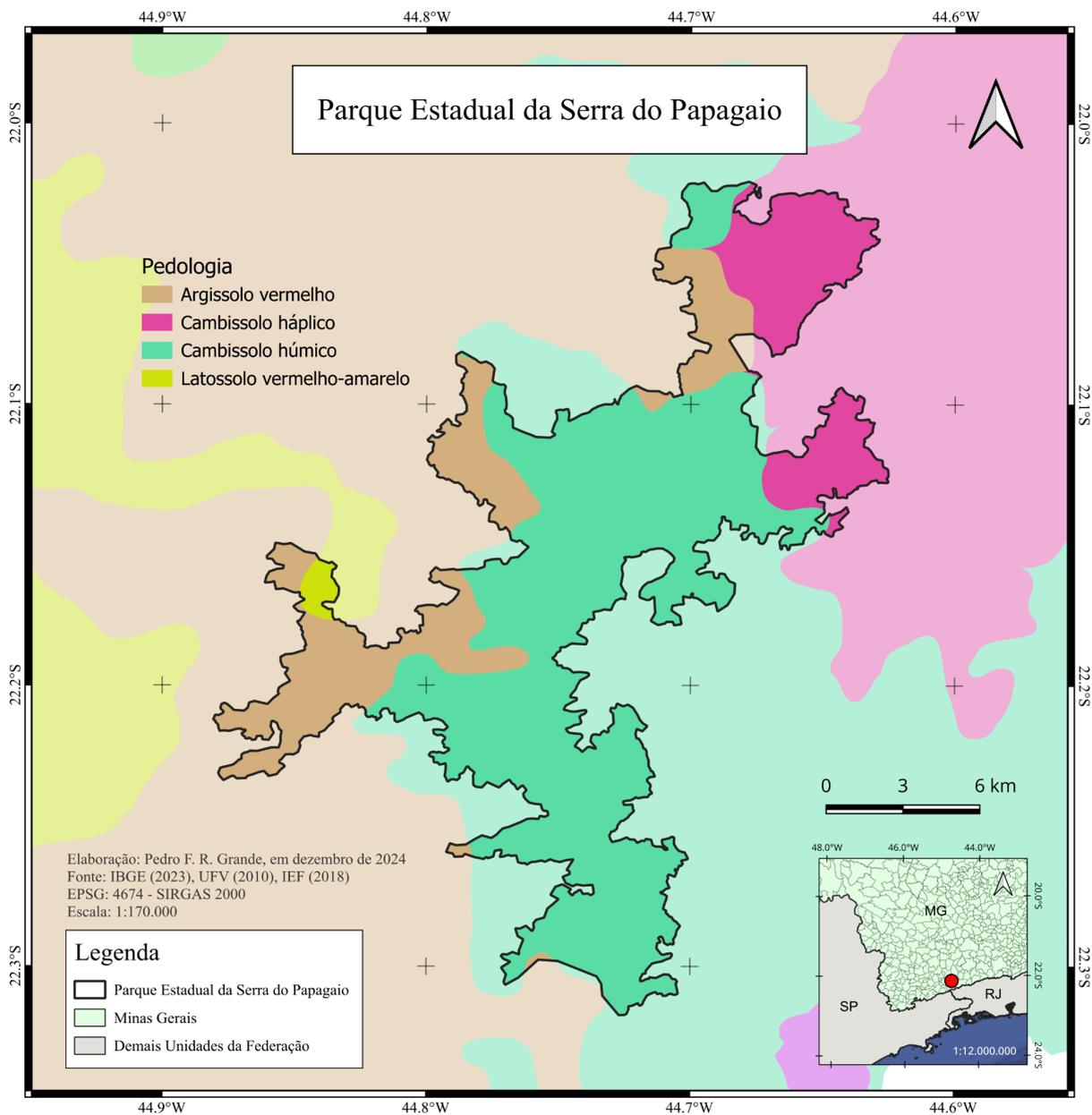
Figura 6 - Declividade do Parque Estadual da Serra do Papagaio.



Fonte: autor (2024).

As principais classes pedológicas do PESP são os Cambissolos húmicos e háplicos, marcados pela presença de fragmentos da rocha de origem dado o seu perfil pouco desenvolvido. Argissolos vermelhos e Latossolos vermelho-amarelo também são encontrados no parque (Figura 7) (UFV, 2010).

Figura 7 - Pedologia do Parque Estadual da Serra do Papagaio.

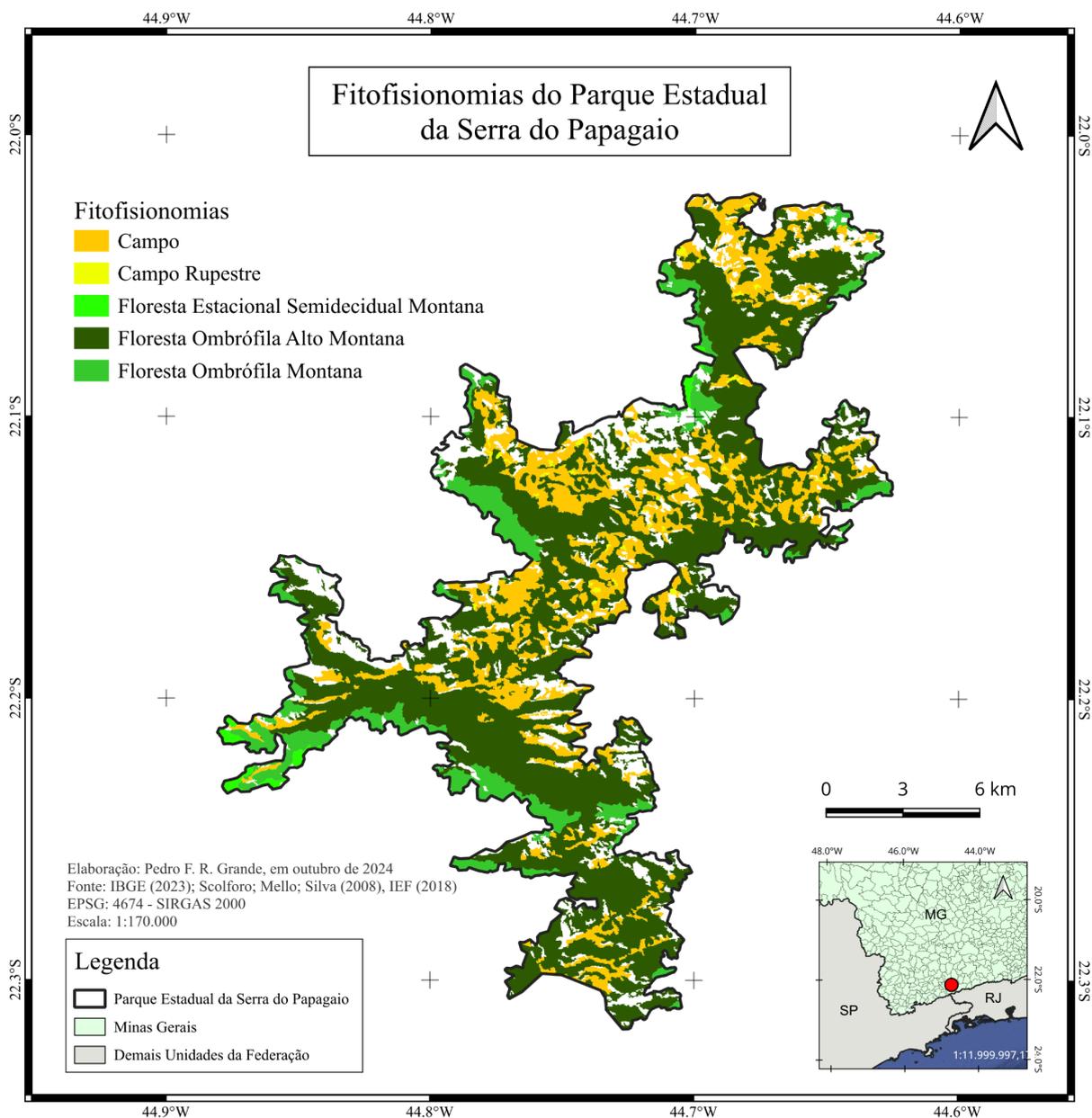


Fonte: autor (2024).

Ribeiro e Walter (1998) afirmam que é difícil a tarefa de estabelecer padrões para a nomenclatura dos tipos fitofisionômicos, pois diferentes autores adotam diferentes critérios e escalas. Nesse sentido, há documentos que afirmam que as vegetações predominantes do parque são as florestas nebulares e os campos de altitude, com ocorrência de florestas ombrófilas com enclaves de matas de araucárias, sendo o PESP a única Unidade de Conservação de Minas Gerais que protege essa tipologia vegetal (IEF, 2009).

De acordo com o Inventário Florestal de Minas Gerais (2008), o PESP abriga as fitofisionomias Campo, Campo Rupestre, Floresta Estacional Semidecidual Montana, Floresta Ombrófila Montana e Floresta Ombrófila Alto Montana (Figura 8).

Figura 8 - Mapa de distribuição das fitofisionomias do Parque Estadual da Serra do Papagaio.



Fonte: autor (2024).

O Campo Rupestre é uma formação vegetal herbáceo-arbustiva, com presença ocasional de arboretas de até 2 metros de altura. Essa vegetação ocorre em áreas de afloramentos rochosos situadas acima de 900 metros de altitude, onde predominam condições extremas, como ventos constantes, dias quentes e noites frias (Ribeiro; Walter, 1998). Seu

substrato é composto por solos ácidos, rasos e pobres em nutrientes, frequentemente encontrados em fendas de rochas ou como depósitos de areia em regiões de relevo adequado. Na Chapada Diamantina, por exemplo, esses solos derivam da decomposição de quartzitos, arenitos e itacolomitos (Harley, 1995).

A disponibilidade de água nesses ambientes é limitada, pois as chuvas escoam rapidamente devido à baixa profundidade do solo e sua reduzida capacidade de retenção. Isso acentua o desafio de desenvolvimento vegetal nessas áreas. A composição florística do Campo Rupestre apresenta grande variabilidade em pequenas distâncias, sendo influenciada por fatores como a profundidade do solo, a disponibilidade de água e a fertilidade (Sendulski; Burman, 1978).

Indivíduos lenhosos tendem a concentrar-se nas fissuras das rochas, onde a densidade pode variar muito. Além disso, são comuns agrupamentos de plantas de uma única espécie, influenciados por condições locais, como a umidade disponível. Espécies específicas, como algumas orquídeas, conseguem crescer diretamente sobre as rochas, mesmo sem a presença de solo, demonstrando a alta especialização da vegetação adaptada a essas condições (Ribeiro; Walter, 1998).

Os Campos, divididos em Campo Limpo e Campo Sujo, são uma fitofisionomia exclusivamente herbácea-arbustiva, caracterizada pela ausência de árvores bem desenvolvidas. É encontrado em diferentes condições topográficas, com variações de umidade, profundidade e fertilidade do solo. Eles ocorrem principalmente em solos Litólicos, Cambissolos e Plintossolos Pétricos. Quando aparecem em áreas planas e inundáveis próximas a rios, podem receber o nome de Campo de Várzea ou Brejo, sendo os solos tipicamente Hidromórficos, Aluviais ou Orgânicos (Ribeiro; Walter, 1998).

A variabilidade dessa fitofisionomia é fortemente influenciada por fatores ambientais como umidade do solo e características topográficas, o que contribui para a diversidade de espécies e formas de vegetação associadas a essa fitofisionomia. Essas características tornam o Campo um componente importante em ecossistemas específicos, como as áreas de transição entre florestas e formações abertas (Ribeiro; Walter, 1998).

As Florestas Estacionais Semidecíduais Montanas são influenciadas por uma dupla estacionalidade climática. Na região tropical, caracterizam-se por dois períodos pluviométricos distintos: um chuvoso e outro seco, com temperaturas médias anuais em torno de 21°C. Já na região subtropical, ocorre um curto período de seca acompanhado por uma significativa queda na temperatura, com médias mensais inferiores a 15°C. Essa variação

estacional afeta os elementos arbóreos dominantes, induzindo-os ao repouso fisiológico e resultando em uma porcentagem de árvores caducifólias que varia entre 20% e 50% do conjunto florestal (IBGE, 2012)

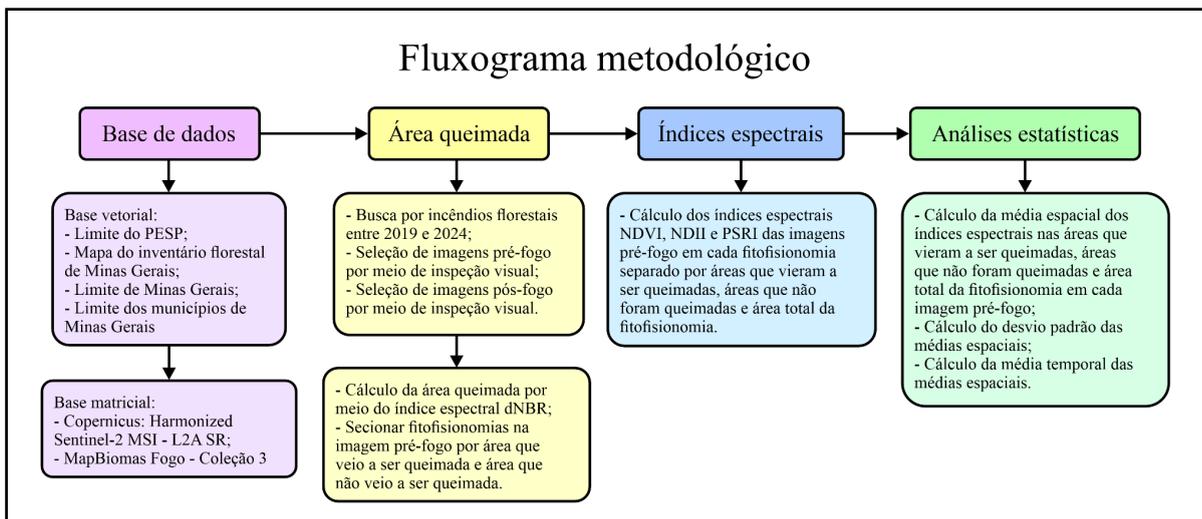
As florestas ombrófilas são divididas no Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira adotado pelo IBGE (Veloso et al., 1991) com base na sua distribuição topográfica. Em geral, as florestas ombrófilas montanas e altomontanas são características do Planalto Meridional Brasileiro, com ocorrências isoladas em áreas elevadas das serras do Mar e da Mantiqueira. As florestas montanas abrangem o intervalo altimétrico de 500 a 1200 metros acima do nível do mar e as florestas altomontanas estão acima desta altitude (Sanquetta, 2008).

As florestas ombrófilas apresentam um clima de altitude com temperatura média anual de 18°C, embora alguns meses sejam bem frios, variando entre 3 e 6 meses com médias abaixo de 15°C. As formações arbóreas do Planalto Meridional evidenciam a interação de duas floras distintas: a Tropical Afro-Brasileira e a Temperada Austro-Brasileira, tendo a *Araucaria angustifolia* como espécie predominante. Sua composição é diversificada, incluindo áreas densas dominadas por espécies dos gêneros *Ocotea* e *Nectandra*, além de formações menos compactas onde se destacam *Podocarpus lambertii* (pinheirinho) e *Drimys brasiliensis* (casca-d'anta) (IBGE, 2012).

8. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas (Figura 9).

Figura 9 - Fluxograma metodológico



Fonte: autor (2024)

8.1 Base de dados

Inicialmente, foram coletados os dados vetoriais das Unidades de Conservação estaduais de Minas Gerais (IEF, 2018), para definir os limites da área de estudo. Também foram obtidos os limites do Estado de Minas Gerais e a sua malha municipal (IBGE, 2023). O mapa das fitofisionomias do PESP foi adquirido do Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo; Mello; Silva, 2008), produzido pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) em convênio com o Instituto Estadual de Florestas (IEF) e disponibilizado pelo IDE-SISEMA.

A base de dados matriciais foi composta por imagens da constelação *Sentinel-2 level 2A*, disponibilizadas pela Agência Espacial Europeia (ESA) na plataforma *Google Earth Engine*. Essas imagens já passaram por correções atmosféricas para a reflectância da superfície. Foram selecionadas 12 imagens da órbita T23KNR, sendo seis antes e seis após um evento de fogo (Quadro 2). A Coleção 3 do MapBiomias Fogo foi utilizada para identificar eventos de fogo na área de estudo (Projeto MapBiomias, 2024).

Quadro 2 - Relação das imagens orbitais selecionadas.

Imagem pré-fogo	Data da imagem pré-fogo	Imagem pós-fogo	Data da imagem pós-fogo	Diferença temporal
COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20190825T131249_20190825T131247_T23KNR	25/08/2019	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20190830T131241_20190830T131243_T23KNR	30/08/2019	5 dias
COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20200824T131251_20200824T131404_T23KNR	24/08/2020	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20200908T131249_20200908T131245_T23KNR	08/09/2020	15 dias
COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210918T131041_20210918T131417_T23KNR	18/09/2021	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210923T131039_20210923T131636_T23KNR	23/09/2021	5 dias
COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20220903T131301_20220903T131255_T23KNR	03/09/2022	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20220918T131249_20220918T131541_T23KNR	18/09/2022	15 dias
COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20230918T131241_20230918T131436_T23KNR	18/09/2023	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20230923T131249_20230923T131636_T23KNR	23/09/2023	5 dias
COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20240818T131249_20240818T131243_T23KNR	18/08/2024	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20240823T131241_20240823T131319_T23KNR	23/09/2024	5 dias

Fonte: autor (2024).

Todo o processo metodológico foi executado na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), que permite o processamento de grandes volumes de dados via programação em linguagem *Javascript* no *Code Editor* (Gorelick et al., 2017). O código desenvolvido pode ser consultado em: <https://code.earthengine.google.com/03319deddd235ed7b4e6344a69273de5>.

Além disso, entendemos que a compreensão da dinâmica do fenômeno é essencial para qualquer estudo fundamentado. Sendo assim, foi desenvolvido um código em JavaScript que calcula a área anual queimada e área queimada total no PESP entre 1985 e 2023, utilizando os dados da Coleção 3 do MapBiomas Fogo (2024). O código, executável na

plataforma em nuvem *Google Earth Engine*, pode ser acessado em: <https://code.earthengine.google.com/32242b0af87155f2836cf108b56feb01>.

8.2 Cálculo da área queimada anual por fitofisionomia

Na etapa seguinte, foi calculado o índice de queimada por razão normalizada (NBR), proposto por Key e Benson (2006), para as 12 imagens. Como o NBR foi desenvolvido para os sensores *Thematic Mapper (TM)* e *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* do Landsat 4, 5 e 7, foi necessária uma adaptação para as bandas do sensor *MultiSpectral Instrument (MSI)* do Sentinel-2 (Equação 1).

$$NBR = \frac{(B8 - B12)}{(B8 + B12)} \cdot 1000 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

B8 = Banda do Infravermelho Próximo (NIR), 842 nm;

B12 = Banda do Infravermelho de Onda Curta 2 (SWIR 2), 2190 nm.

Em seguida, foi calculado o índice ΔNBR (Roy; Boschetti; Trigg, 2006) que consiste na diferença entre os valores de NBR pré-fogo pós-fogo (Equação 2). O ΔNBR foi utilizado para mensurar a severidade do fogo e identificar áreas de rebrota.

$$\Delta NBR = NBR_{\text{pré-fogo}} - NBR_{\text{pós-fogo}} \quad (\text{Equação 2})$$

Dessa forma, foram gerados seis produtos correspondentes à diferença do índice de queimada por razão normalizada entre as imagens pré-fogo e pós-fogo, dada a série de seis anos analisados. Conforme proposto por Key e Benson (2006), os resultados do ΔNBR podem ser classificados em sete categorias que variam desde alta rebrota até alta severidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Escala de níveis de severidade do fogo

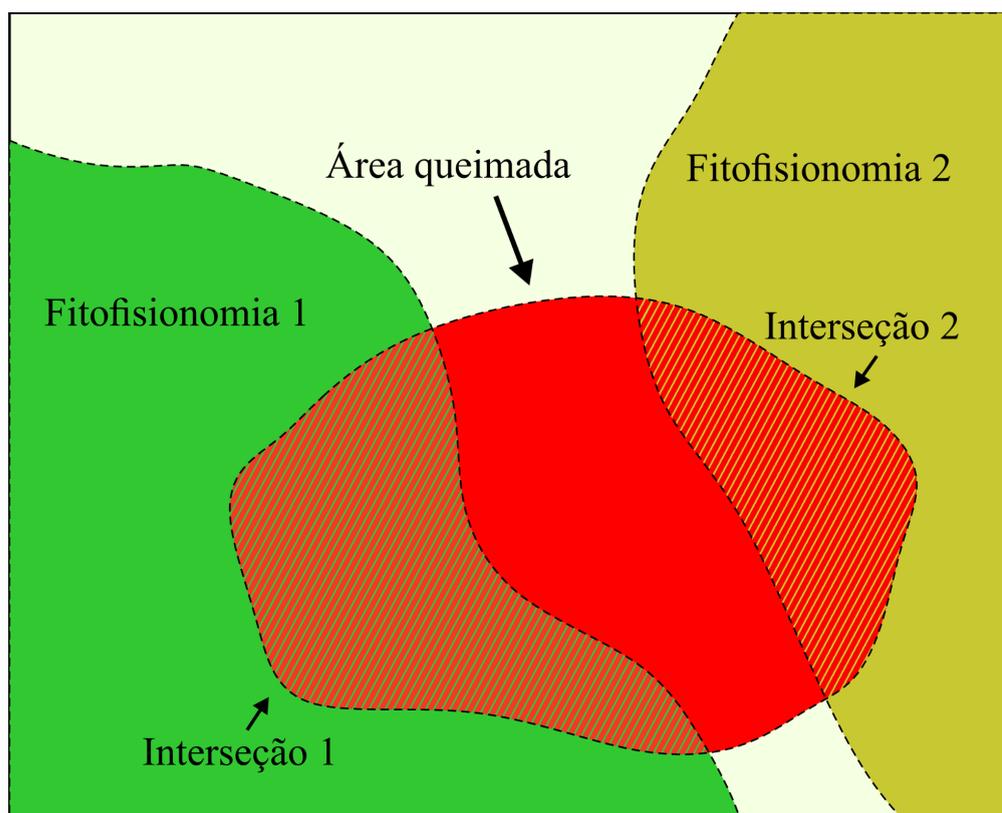
Níveis de severidade	ΔNBR
Alta rebrota	-500 a -250
Baixa rebrota	-250 a -100
Não queimada	-100 a 100

Baixa severidade	100 a 270
Severidade moderada baixa	270 a 440
Severidade moderada alta	440 a 660
Alta severidade	660 a 1300

Fonte: adaptado de Key e Benson (2006).

Dada a intenção de seleccionar as áreas queimadas, foi definido o valor 100 como limiar para estas áreas, visto que valores menores que 100 correspondem a áreas não queimadas ou em rebrota. Assim, as áreas queimadas foram separadas das não queimadas a cada ano, e as fitofisionomias foram incorporadas à análise. Dessa forma, o estudo focou na interseção entre o polígono das áreas queimadas e o polígono das fitofisionomias (Figura 10).

Figura 10 - Representação das áreas queimadas por fitofisionomia.



Fonte: autor (2024).

Após a separação das áreas queimadas das não queimadas por fitofisionomia anualmente, iniciou-se a etapa de cálculo dos índices espectrais.

8.3 Cálculo dos índices espectrais

Nesta pesquisa, foram utilizados três índices espectrais em imagens de satélite pré-fogo que visaram mensurar o verdor da vegetação (NDVI), sua umidade (NDII) e a senescência (PSRI).

8.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Proposto por Rouse et al. (1973), o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) avalia a produção de clorofila a partir da resposta espectral do alvo no vermelho (665 nm) em relação ao infravermelho próximo (842 nm) (Equação 3).

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

B8 = Banda do Infravermelho Próximo (NIR), 842 nm;

B4 = Banda do Vermelho (Red), 665 nm.

8.3.2 Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII)

Proposto por Hardisky, Klemas e Smart (1983), o Índice de Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII) é sensível às variações no conteúdo de água na copa das árvores e é calculado a partir da diferença normalizada entre a borda do vermelho 4 (865 nm) e o infravermelho de onda curta 1 (1610 nm) do Sentinel-2 (Equação 4). Assim, maiores teores de umidade no dossel vegetacional resultam em valores mais elevados de NDII.

$$NDII = \frac{B8A - B11}{B8A + B11} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

B8A = Banda da Borda do Vermelho 4 (Red Edge 4), 865 nm;

B11 = Banda do Infravermelho de Onda Curta 1 (SWIR 1), 1610 nm;

8.3.3 Índice de Refletância de Senescência da Planta (PSRI)

Proposto por Merzlyak et al. (1999), o Índice de Refletância de Senescência da Planta (PSRI) consiste na relação entre o teor de carotenóides e o teor de clorofila da planta

(Equação 5) a partir da reflectância nas bandas do vermelho (665 nm), do azul (496 nm) e da borda do vermelho 2 (740 nm). O PSRI foi utilizado para avaliar a vegetação antes de ser acometida pelo fogo e mensurar a senescência das fitofisionomias. Valores elevados de PSRI estão relacionados à uma maior concentração de carotenóides, indicando a fase de maturação da planta (Ren; Chen; An, 2016). Por outro lado, plantas jovens apresentam maiores teores de clorofila em relação aos carotenóides, resultando em menores valores de PSRI.

$$PSRI = \frac{B4 - B2}{B6} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

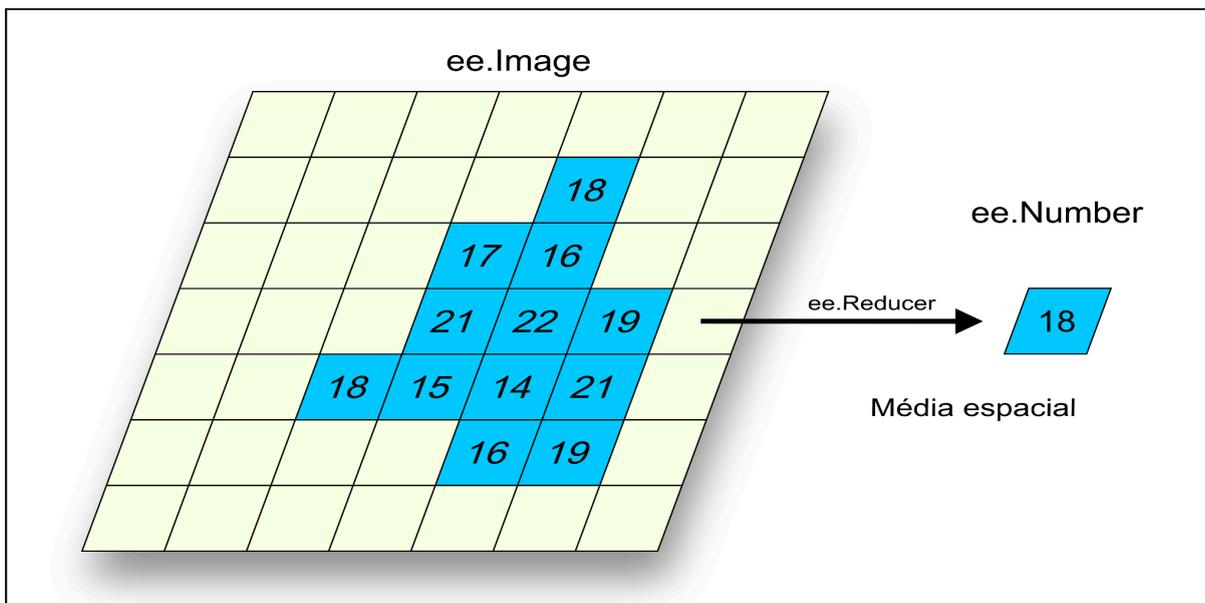
B4 = Banda do Vermelho (Red), 665 nm.

B2 = Banda do Azul (Blue), 496 nm.

B6 = Banda da Borda do Vermelho 2 (Red Edge 2), 740 nm.

8.4 Análises estatísticas

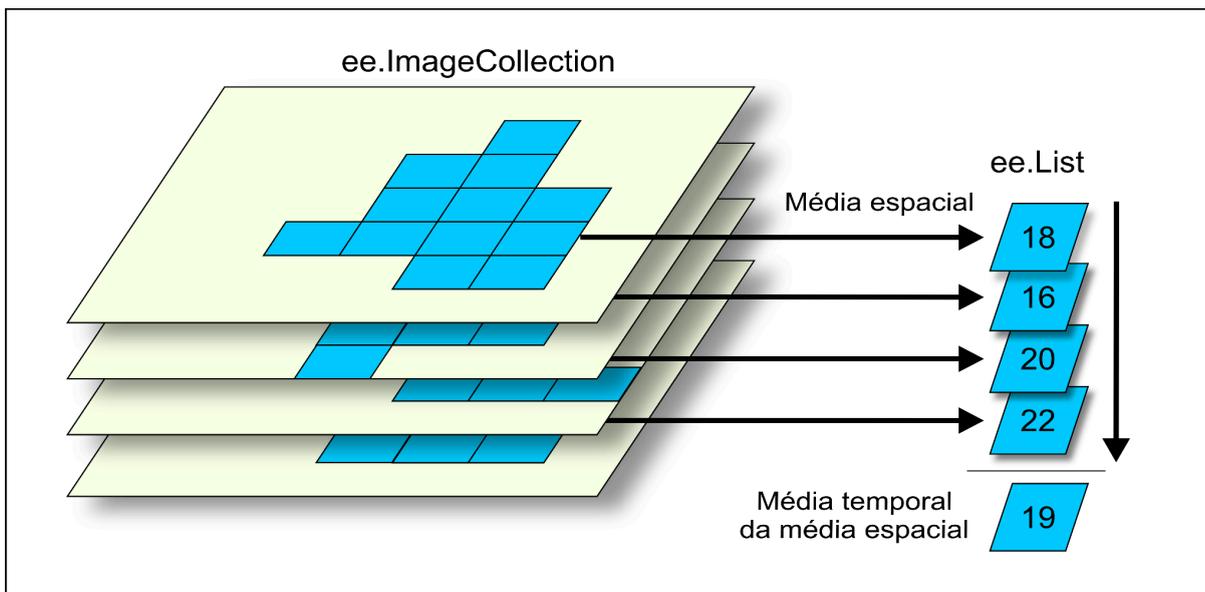
Inicialmente, no *Google Earth Engine*, calculou-se a média espacial de cada índice espectral nas áreas queimadas de cada fitofisionomia, considerando os seis anos analisados (Figura 11). As células destacadas representam as interseções entre as áreas queimadas e os polígonos das fitofisionomias, cujos valores numéricos correspondem a um índice espectral. O redutor foi aplicado para calcular a média espacial dessas células em todas as áreas queimadas, abrangendo as cinco fitofisionomias e os três índices espectrais analisados (Figura 11).

Figura 11 - Representação visual do redutor de média espacial.

Fonte: autor (2024)

Posteriormente, foi calculada a média temporal das médias espaciais de cada índice, com o objetivo de compreender a relação entre fogo e vegetação ao longo da série histórica. Esse cálculo consistiu em aplicar um redutor de média aos valores das médias espaciais anuais, por fitofisionomia (Figura 12). No *Google Earth Engine*, listas armazenaram as médias espaciais para viabilizar o cálculo das médias temporais. Adicionalmente, determinou-se o desvio padrão das médias espaciais, permitindo avaliar a uniformidade dos valores; menores desvios indicam maior convergência entre os valores médios.

Figura 12 - Representação visual do redutor de média temporal.



Fonte: autor (2024).

Até essa etapa, o objetivo foi quantificar as condições atreladas às áreas atingidas por incêndios florestais no PESP. Porém, para verificar se é possível identificar condições de fitofisionomias propensas a queimar por Sensoriamento Remoto, avaliou-se também o comportamento espectral das áreas não queimadas. Isso possibilitou inferir correlações e discrepâncias entre as condições pré-fogo de áreas queimadas e não queimadas.

As áreas não queimadas foram definidas como aquelas com valores de ΔNBR menores que 100 (Tabela 1). As mesmas métricas utilizadas para as áreas queimadas foram aplicadas às áreas não queimadas nas imagens pré-fogo. Dessa forma, foram calculadas, para cada fitofisionomia, a média temporal das médias espaciais dos índices espectrais ao longo dos seis anos, além dos respectivos desvios padrão.

A comparação entre os valores das áreas queimadas e não queimadas possibilitou uma análise espacial das condições da vegetação pré-fogo. Para alcançar uma compreensão temporal mais abrangente, foram calculadas as médias dos índices espectrais considerando toda a área das fitofisionomias, independentemente de terem sido queimadas ou não. Nesse caso, foram processadas todas as imagens disponíveis na série histórica de janeiro de 2019 a outubro de 2024, evitando a seleção visual subjetiva.

Foram utilizadas as imagens da *ImageCollection* da constelação Sentinel-2 da ESA, com nível de processamento L2A e filtro de nuvem de 30%. Um algoritmo de máscara de nuvens e cirrus disponibilizado no *Earth Engine Data Catalog* foi aplicado. No total, foram

processadas 187 imagens para determinar os valores médios dos índices espectrais NDVI, NDII e PSRI em cada fitofisionomia. O desvio padrão não foi calculado nesse contexto, considerando que a série histórica abrange estações secas e chuvosas, eliminando a necessidade de avaliar a uniformidade dos valores.

Os resultados foram exportados para planilhas eletrônicas e processados em linguagem Python por meio do ambiente em nuvem do *Google Colab*. Para a visualização e interpretação dos dados, foram empregadas as bibliotecas *Matplotlib* (Hunter, 2007) e *NumPy* (Van der Walt; Colbert; Varoquaux, 2011) para gerar gráficos que permitiram melhor visualização e interpretação dos dados. Os mapas foram produzidos por meio do QGIS versão 3.34.2-Prizren.

Como complemento aos procedimentos metodológicos, foram realizadas visitas de campo ao PESP e áreas adjacentes, como o Parque Nacional do Itatiaia, Vale do Matutu e os bairros rurais Piracicaba, São Pedro, Gamarra e Vargem. Estas visitas tiveram como objetivo a familiarização com a área de estudo por meio de observação empírica.

9. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo; Mello; Silva, 2008), que mapeou as fitofisionomias do Estado de Minas Gerais por meio de levantamentos em campo e classificação de imagens Landsat, indica que o PESP abriga cinco fitofisionomias típicas dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, destacando sua importância como um ecótono regional (Tabela 2).

Tabela 2 - Área das fitofisionomias.

Fitofisionomia	Área (ha)	Área (%)
Campo rupestre	117,61	0,45%
Floresta estacional semidecidual montana	226,87	0,88%
Floresta ombrófila montana	2477,19	9,58%
Campo	4856,43	18,78%
Floresta ombrófila alto montana	14193,39	54,90%
Área não inventariada	3983,55	15,41%
Total	25855,04	100,00%

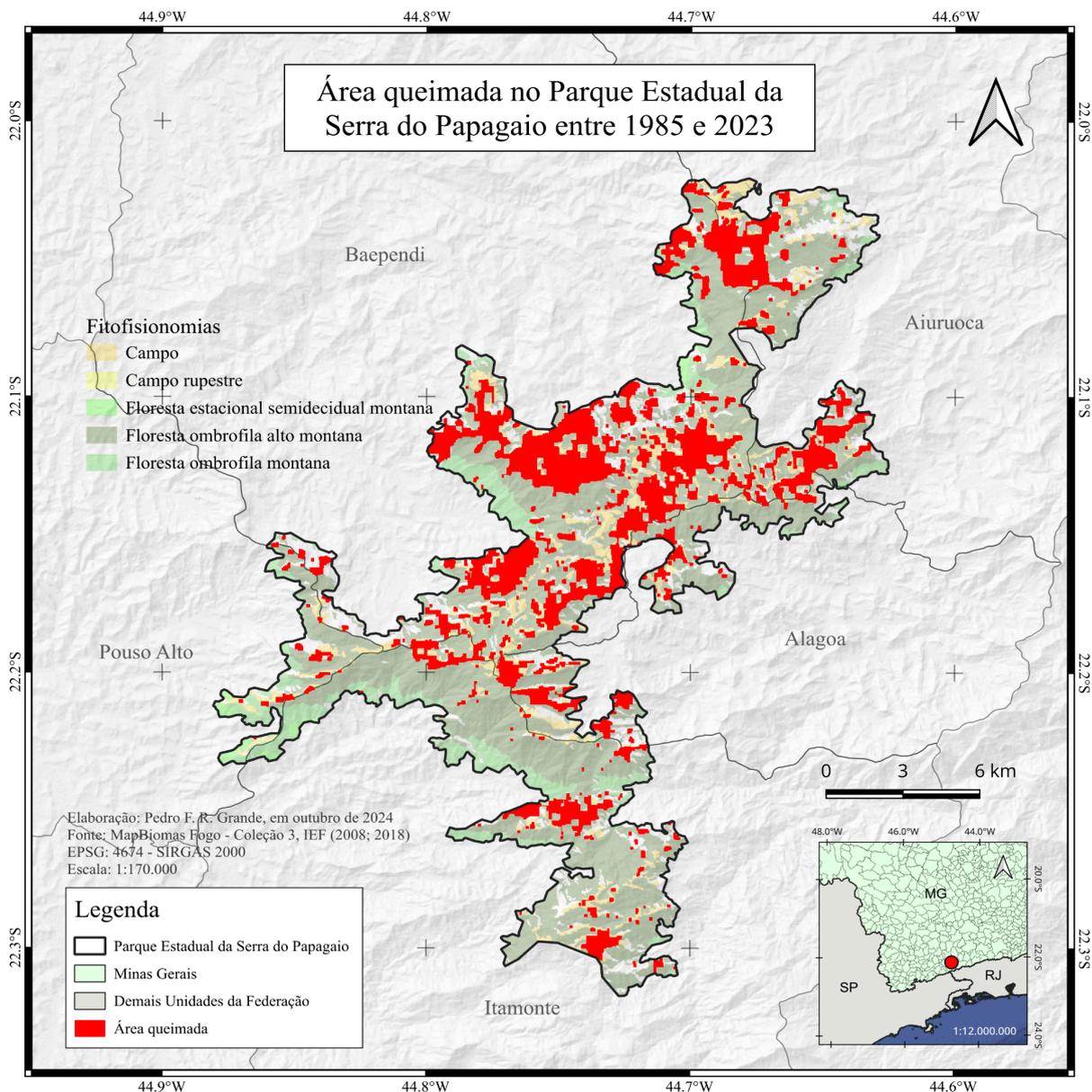
Fonte: autor (2024)

Nota-se que cerca de 15% da área do parque não está classificada em nenhuma fitofisionomia. Além disso, há divergência entre a área total calculada e a área oficial de 25.872,7016 hectares, conforme a Lei nº 23.774, de 06/01/2021 (Minas Gerais, 2021). Essa diferença é atribuída à escala adotada na elaboração do arquivo vetorial do parque (IEF, 2018) que, dependendo do detalhamento e da quantidade de vértices do polígono, resulta em variações na área total calculada.

9.1 Distribuição espaço-temporal dos incêndios florestais no PESP

Foi identificada uma área de 6.143 hectares queimados pelo menos uma vez dentro dos limites do PESP, o que corresponde a aproximadamente 23,7% da área total (Figura 13). Embora a distribuição das áreas queimadas seja homogênea, nota-se uma maior concentração nas fitofisionomias campestres em relação às florestais.

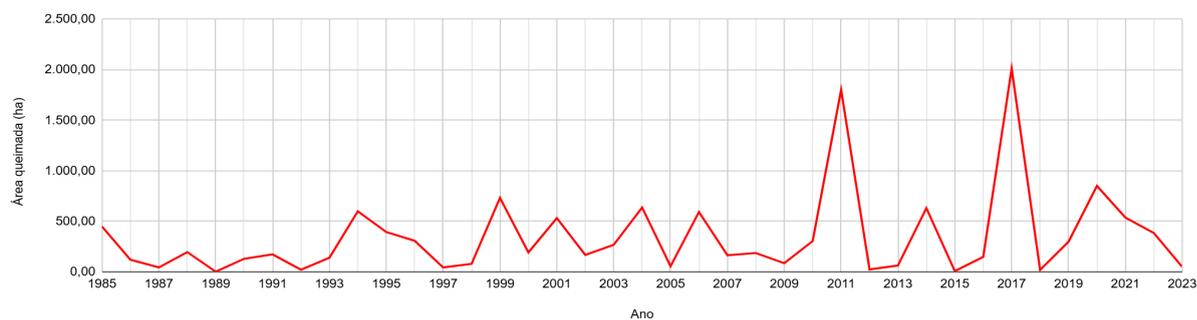
Figura 13 - Mapa da área queimada no PESP entre 1985 e 2023.



Fonte: autor (2024).

A análise da série histórica revela que os anos de maior ocorrência de incêndios foram 2011 e 2017, enquanto 1989 e 2015 registraram os menores valores, somando menos de 10 hectares queimados. A média anual da área queimada foi de 186,25 hectares (Figura 14).

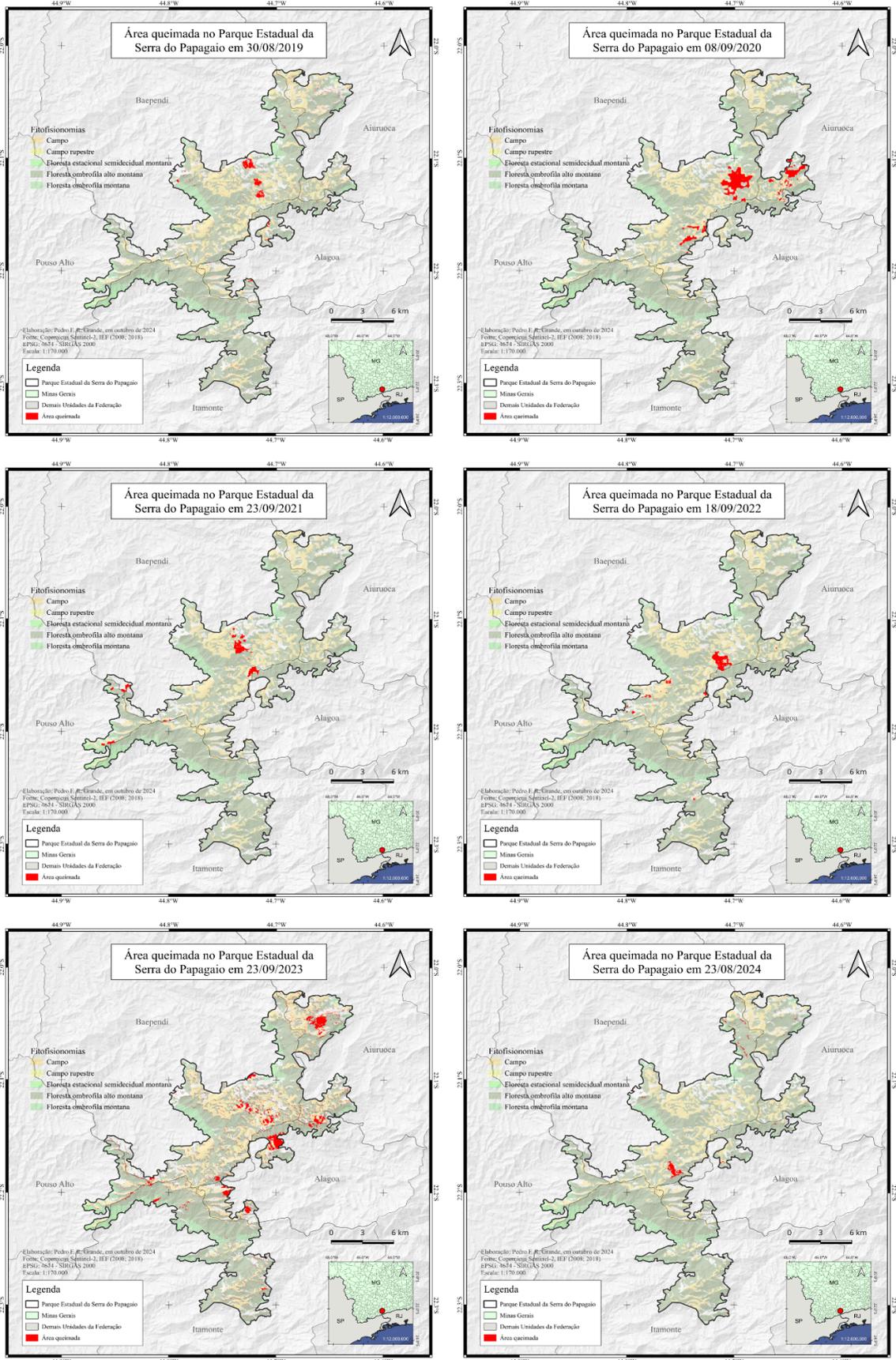
Figura 14 - Série histórica de área queimada em hectares no PESP por ano.



Fonte: autor (2024).

Os incêndios florestais utilizados para a análise dos índices espectrais, foram espacializados em mapas (Figura 15). Ressalta-se que esses mapas não representam a área queimada anual do parque, mas as áreas queimadas especificamente nos seis incêndios selecionados para este estudo (Quadro 2).

Figura 15 - Mapa de ocorrência dos incêndios florestais analisados.



Fonte: autor (2024).

É importante notar que nem todas as fitofisionomias foram afetadas por incêndios florestais nos períodos analisados. As florestas ombrófilas montanas não registraram eventos de fogo nas imagens de 2022 e 2024; as florestas estacionais semidecíduais montanas foram atingidas por incêndios florestais somente nas imagens de 2019, 2020 e 2023; por sua vez, os campos rupestres não tiveram área queimada nas imagens de 2021 e 2024.

Segundo Junior et al. (2019), as principais causas dos incêndios florestais nos parques estaduais de Minas Gerais estão relacionadas à agropecuária e à regularização fundiária, o que evidencia o caráter antrópico e criminoso das ocorrências. No entanto, condições naturais da vegetação, como umidade, estágio de senescência e verdor das folhas, também influenciam a ocorrência e a severidade dos incêndios.

9.2 Análise da resposta espectral da vegetação antes dos incêndios

A análise da resposta espectral da vegetação por meio de índices espectrais antes dos incêndios revela importantes diferenças nas condições da vegetação em áreas queimadas, em comparação com áreas não queimadas e a média histórica.

9.2.1 Campo Rupestre

Os campos rupestres são essenciais para entender a dinâmica do fogo na região, sendo caracterizados por solos pouco espessos, pertencentes aos Neossolos Litólicos ou Cambissolos Háplicos, e por sua associação a áreas próximas a afloramentos rochosos em altitudes superiores a 900 metros (Figura 16) (Harley, 1995; Oliveira et al., 2015).

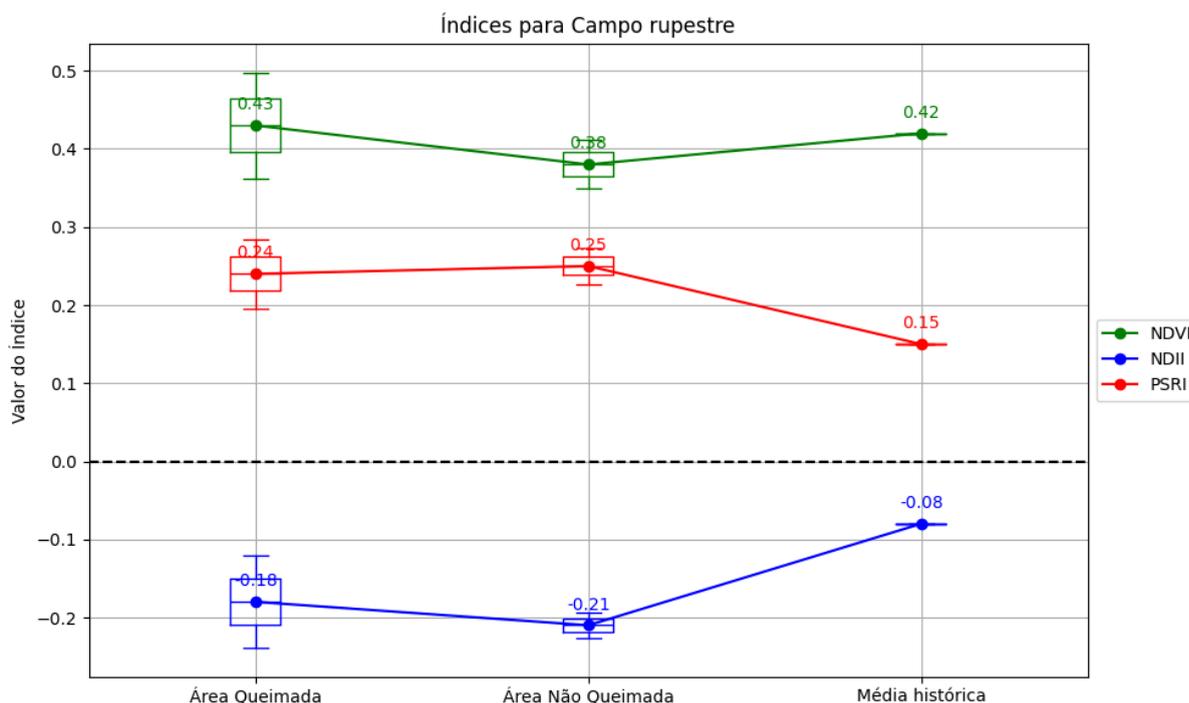
Figura 16 - Campo rupestre no Parque Estadual da Serra do Papagaio.



Fonte: arquivo pessoal.

Estudos sobre essa fitofisionomia apontam o fogo como um agente de seleção entre espécies (Neves; Conceição, 2010; Barbosa et al., 2014). O fogo, a depender do seu grau de severidade, pode atuar na manutenção da vegetação, ao queimar galhos e folhas senescentes, funcionando como uma espécie de poda natural.

A análise espectral dos campos rupestres do PESP antes do fogo indica que a ação antrópica tem maior influência espacial na ocorrência de incêndios do que as condições naturais de verdor, umidade e senescência. As diferenças sutis nos valores dos índices entre áreas queimadas e não queimadas não foram suficientes para estabelecer uma relação direta com essas características naturais (Figura 17).

Figura 17 - Índices espectrais do Campo Rupestre

Fonte: autor (2024).

O NDVI se manteve estável ao longo da série histórica, com desvio padrão de 0,07 nas áreas queimadas e 0,03 nas áreas não queimadas. Portanto, não há viabilidade de se constatar alguma condição pré-fogo nesta fitofisionomia com este índice. Embora os valores de NDII e PSRI não apresentem grandes variações entre as áreas queimadas e não queimadas, ambos se distanciaram da média histórica. Isso indica que a ocorrência de incêndios florestais nos campos rupestres pode estar mais relacionada à baixa umidade e alta senescência, mas não sendo possível discriminar onde estão as áreas mais suscetíveis, visto que as áreas que queimaram e as que não queimaram apresentaram condições espectrais semelhantes no PSRI e NDII.

9.2.2 Campo

As vegetações campestres são caracterizadas pelo predomínio de espécies herbáceas e arbustivas (Ribeiro; Walter, 2008). Dentre elas, destacam-se as fitofisionomias Campo Rupestre (abordada no tópico anterior), Campo Limpo e Campo Sujo. As duas últimas são tratadas como uma única fitofisionomia denominada Campo, devido à sua não distinção no Inventário Florestal de Minas Gerais utilizado neste estudo.

A principal diferença entre as fitofisionomias Campo e Campo Rupestre está na sua ocorrência. Enquanto os campos rupestres estão atrelados à locais próximos a afloramentos rochosos acima de 900 metros de altitude, que condicionam uma vegetação predominante de no máximo dois metros (Ribeiro; Walter, 2008), os campos podem ocorrer em diferentes altitudes e sem a presença de afloramentos rochosos ou solos rasos. Em geral, os campos são compostos por espécies herbáceas, com alguns indivíduos arbustivos, sem a formação de dosséis ou espécies arbóreas (Figura 18).

Figura 18 - Campo no Retiro dos Pedros (PESP).



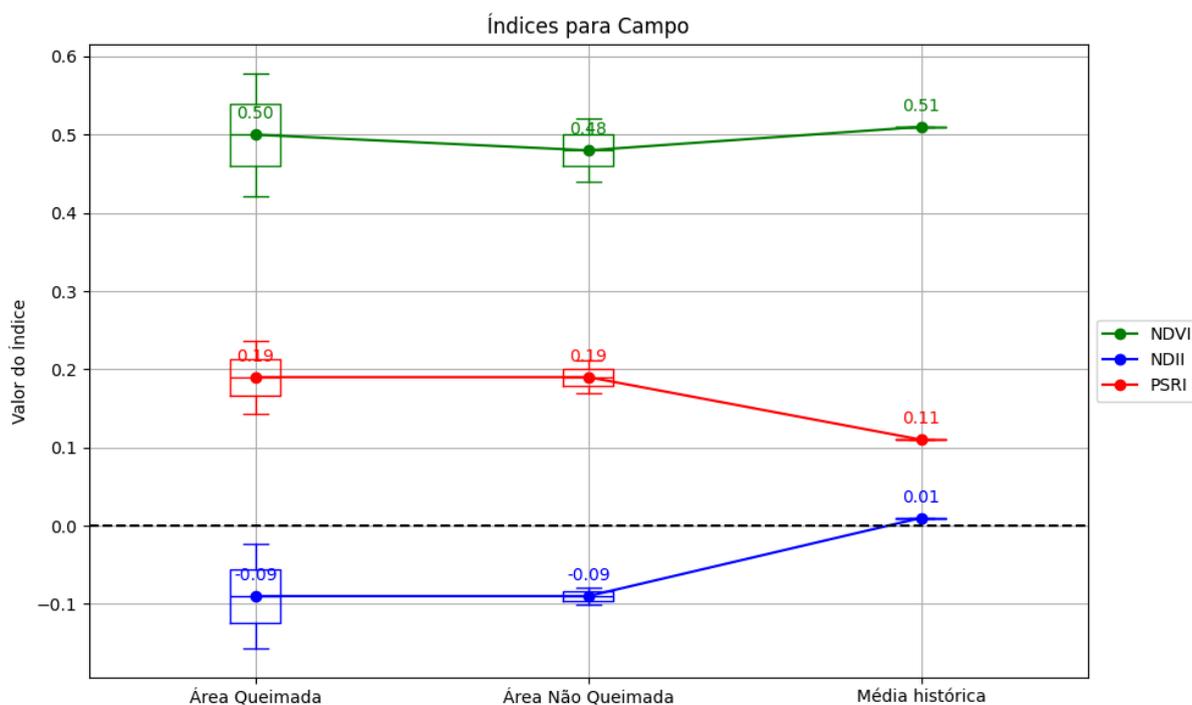
Fonte: arquivo pessoal.

Ao analisar as condições de verdor dos Campos antes de serem acometidos pelo fogo, observa-se uma estabilidade nos valores de NDVI entre as áreas queimadas, não queimadas e a média histórica. Embora estudos apontem para o problema da saturação do NDVI em áreas de alta densidade vegetal (Huete; Liu; Leeuwen, 1997), os campos avaliados apresentaram valores próximos a 0,5. Portanto, a estabilidade dos valores de NDVI na fitofisionomia Campo é mais explicada pelo comportamento fisiológico da vegetação do que pela possível saturação do índice (Figura 19).

Os valores médios de NDVI apontam que este tipo de vegetação, mesmo em épocas secas, mantém sua atividade fotossintética próxima à média anual (Figura 19). Esta condição pode estar relacionada à esclerofília, um mecanismo das plantas para resistir ao déficit hídrico

(Medina, 1981). Rizzini e Garay (2003) apontam que esta adaptação resulta de características morfológicas e fisiológicas da planta, como folhas duras, pesadas e grossas.

Figura 19 - Índices espectrais do Campo.



Fonte: autor (2024).

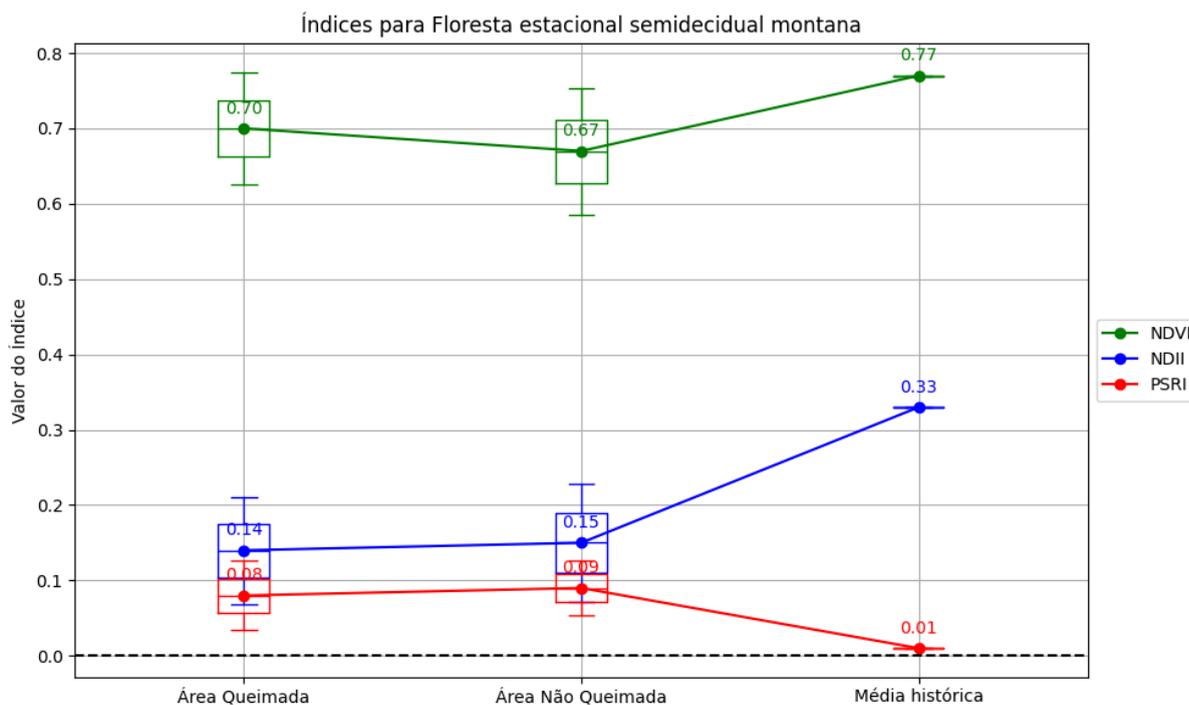
Nota-se um aumento da senescência e uma redução da umidade da vegetação em relação à média histórica, o que permite identificar um padrão da fitofisionomia antes do fogo. Assim como nos campos rupestres, os valores encontrados nas imagens pré-fogo não se diferem entre si consideravelmente, mas variam perante a série histórica. Isso indica que fatores antrópicos são mais determinantes para prever as áreas mais suscetíveis ao fogo.

9.2.3 Floresta Estacional Semidecidual Montana

As Florestas Estacionais Semidecíduais são um tipo vegetacional adaptado a duas estações bem definidas: uma chuvosa e com altas temperaturas, e outra seca com temperaturas médias abaixo dos 15 graus Celsius (Veloso, 1991). Esta fitofisionomia se subdivide em Aluvial, Terras Baixas, Submontana e Montana. O PESP, com altitudes que ultrapassam os 2.000 metros de altitude, caracteriza-se pela presença da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual Montana. Parte das espécies dessa fitofisionomia são caducifólias e perdem as folhas no início da estação seca. Este processo é uma adaptação ao clima, visando reduzir a

atividade fotossintética da planta em condições de estresse hídrico (Veloso; Góes-Filho, 1982). Essa adaptação pode ser observada pela queda do NDVI e do NDII antes do incêndio, em comparação com a média temporal (Figura 20).

Figura 20 - Índices espectrais da Floresta Estacional Semidecidual Montana.



Fonte: autor (2024).

Assim como nos Campos e Campos Rupestres, não foi possível identificar diferenças espaciais nas condições pré-fogo da Floresta Estacional Semidecidual Montana. Os índices mostram que as áreas queimadas e não queimadas apresentaram diferenças sutis em termos de verdor, umidade e senescência. Mesmo na ocorrência de incêndios florestais, os valores de NDVI permaneceram elevados.

Nóbrega (2024) argumenta que o caráter caducifólio dessa fitofisionomia pode propiciar a propagação de incêndios, pois as folhas e galhos caídos no solo se tornam material combustível antes de serem decompostos pela microbiota do solo. Esse comportamento é corroborado pelo aumento do PSRI nas imagens pré-fogo, refletindo maior concentração de carotenóides nas folhas maduras.

9.2.4 Floresta Ombrófila Montana

Meireles, Shepherd e Kinoshita (2008) destacam a escassez de estudos sobre as florestas montanas e altomontanas da Serra da Mantiqueira. Essas fitofisionomias apresentam dosséis superiores que variam de 4 metros, em solos pouco profundos, a 25 metros, em solos espessos (Oliveira, 2016). As Florestas Ombrófilas Montanas ocupam menos de 10% da área inventariada do PESP, enquanto as Florestas Ombrófilas Alto Montanas ocupam mais da metade da área inventariada (Tabela 2).

A principal diferença entre as Florestas Ombrófilas Montanas e Alto Montanas está no gradiente altitudinal (Meireles; Shepherd; Kinoshita, 2008), que influencia a densidade de indivíduos por hectare e a altura máxima do dossel. Scolforo e Carvalho (2006) afirmam que estas formações ocorrem em altitudes acima de 900 metros em Minas Gerais. Considerando que o PESP possui altitudes mínimas de cerca de 1.200 metros, alcançando mais de 2.300 metros, a maior parte das florestas serranas do parque tem características altomontanas (Figura 21).

Figura 21 - Fragmento de Floresta Ombrófila Montana no Parque Estadual da Serra do Papagaio, com destaque para o Pico do Papagaio ao fundo.

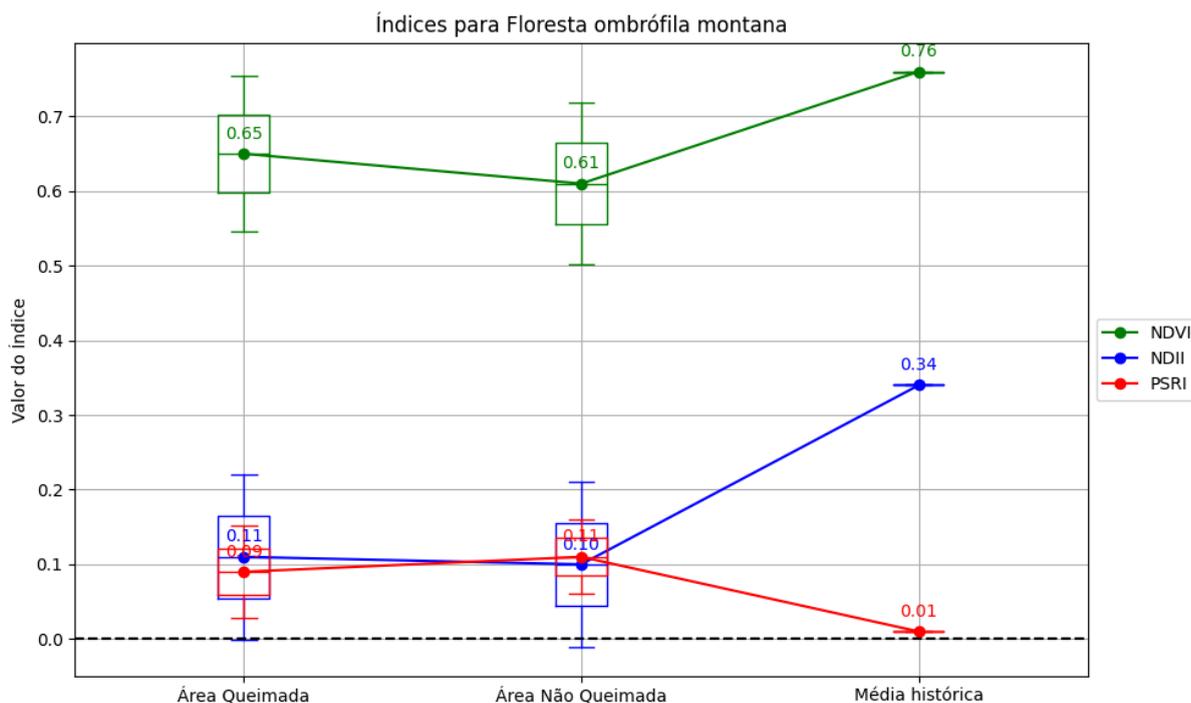


Fonte: arquivo pessoal.

Ao analisar espectralmente as condições pré-fogo da Floresta Ombrófila Montana, observa-se um alto desvio padrão nos valores de NDVI e NDII de cerca de 0,1, o que pode

comprometer a qualidade dos dados. Em geral, repete-se o padrão observado nas fitofisionomias campestres e semidecíduais, com queda do NDVI e do NDII na imagem pré-fogo, em relação à média histórica, sem grandes distinções entre as áreas queimadas e não queimadas (Figura 22).

Figura 22 - Índices espectrais da Floresta Ombrófila Montana.



Fonte: autor (2024).

Embora a propagação natural de incêndios não seja comum em florestas ombrófilas, a proximidade de áreas mais suscetíveis, como campos e campos rupestres, pode facilitar a ocorrência de eventos de fogo nessa fitofisionomia. Outro aspecto importante é a variação do índice de umidade entre a estação seca, quando ocorrem mais incêndios florestais, e a média histórica. Este resultado permite inferir quais as condições limites de umidade para que a Floresta Ombrófila Montana tenha probabilidade de ser acometida pelo fogo, embora não seja possível discriminar espacialmente as áreas mais prováveis.

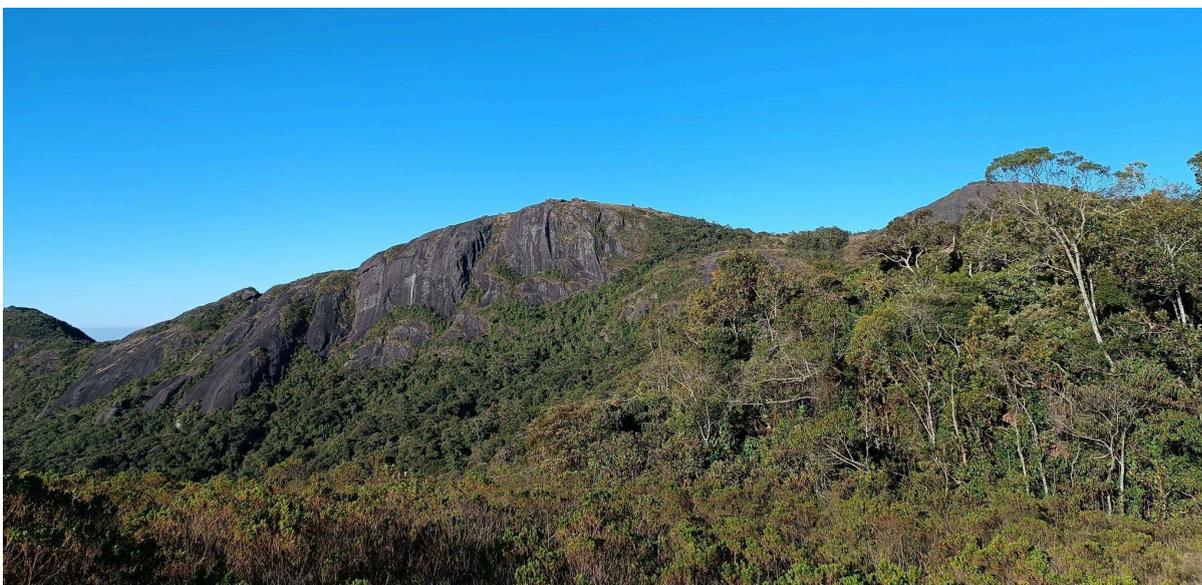
9.2.5 Floresta Ombrófila Alto Montana

As Florestas Ombrófilas Alto Montanas constituem as fitofisionomias de maior abrangência no PESP, ocupando mais de 14.000 hectares, o que corresponde a cerca de 54% da área do parque (Tabela 2). Veloso, Rangel-Filho e Lima (1991) destacam que esta

formação é historicamente explorada devido ao alto valor comercial da família *Araucariaceae*. Ainda assim, refúgios desta vegetação permanecem preservados, como na região de Campos do Jordão e no PESP, a única Unidade de Conservação de Minas Gerais a preservar esta fitofisionomia (IEF, 2009).

Em geral, essas florestas ocorrem em regiões tropicais e subtropicais acima de 1.200 m de altitude, apresentando características distintas como o dossel relativamente baixo (10 a 20 m de altura), troncos retorcidos, alta densidade de indivíduos e abundância de epífitas, especialmente bromélias e orquídeas (Figura 23). As folhas são menores, adaptadas às condições de baixa temperatura e alta umidade (Scheer; Mocoinski, 2009).

Figura 23 - Floresta Ombrófila Alto Montana próxima ao Santuário das Montanhas Sagradas (PESP).



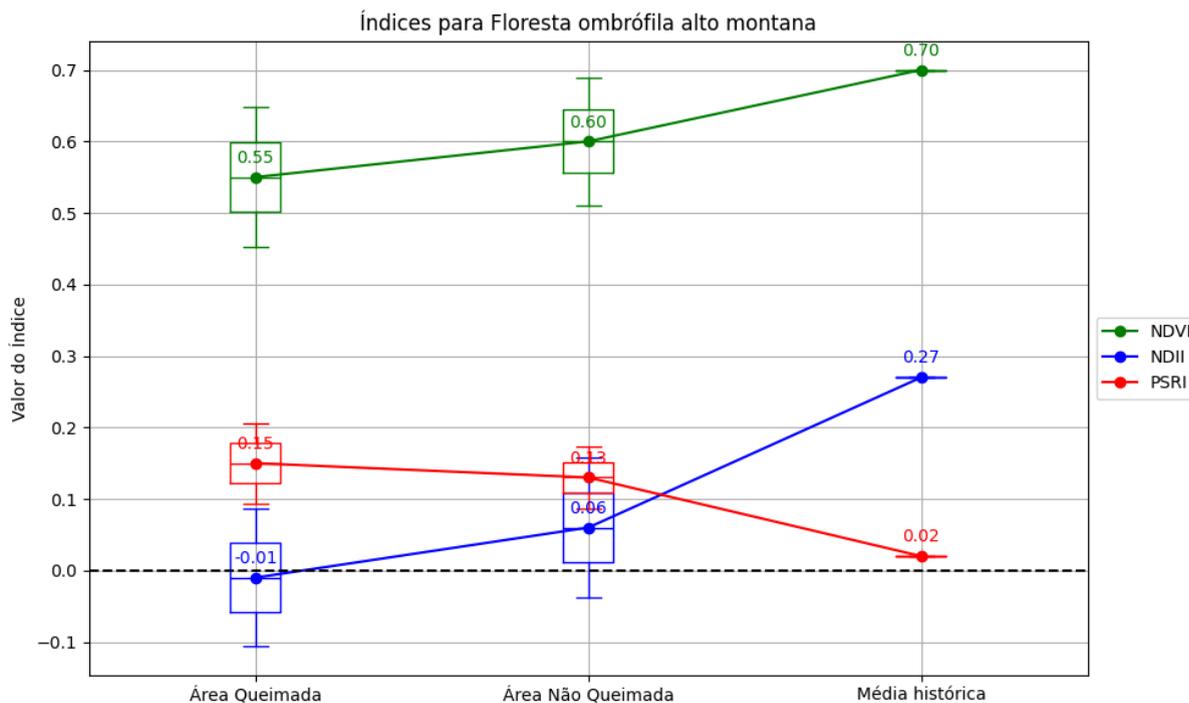
Fonte: arquivo pessoal.

Diferentemente das fitofisionomias campestres e semidecíduais, a Floresta Ombrófila Alto Montana apresentou valores espectrais que permitiram distinguir espacialmente suas condições pré-fogo. Os índices mostram que as áreas queimadas apresentavam menor umidade e verdor em comparação às áreas não queimadas, apesar da semelhança nos níveis de senescência (Figura 24).

O NDII, que reflete a umidade da vegetação (Hardisky; Klemas; Smart, 1983), apresentou valores críticos. Áreas não queimadas registraram valores de NDII cerca de 0,7 superiores às áreas queimadas, o que pode estar relacionado à proximidade a corpos d'água ou ao nível freático (Furquim, 2018). Áreas queimadas registraram valores próximos de zero

(-0,01), indicando secura, enquanto áreas não queimadas alcançaram (0,06), ainda muito abaixo da média histórica (0,27). Essa baixa umidade provavelmente contribuiu para a ocorrência do fogo.

Figura 24 - Índices espectrais da Floresta Ombrófila Alto Montana.



Conforme Rouse et al. (1973), o NDVI mede a densidade e o vigor da vegetação, com valores mais altos indicando vegetação mais saudável. Antes do fogo, áreas que seriam queimadas já apresentavam NDVI inferior às não queimadas, sugerindo menor densidade ou vigor da vegetação. Ambas registraram valores inferiores ao NDVI médio esperado em condições normais (0,70), indicando fragmentos com condições de menor verdor.

O PSRI que mensurar o nível de senescência da vegetação, revelou valores mais altos em áreas queimadas, indicando maior estresse ou degradação foliar. As áreas queimadas registraram valores mais altos (0,16) em comparação às não queimadas (0,13), indicando maior senescência prévia ao evento de fogo. Ambos os valores estão acima do esperado em condições normais (0,02), indicando que os fragmentos estavam sob estresse significativo, possivelmente devido à baixa umidade observada pelo NDII.

Os índices espectrais evidenciam que as áreas queimadas da Floresta Ombrófila Alto Montana estavam em pior condição antes do fogo, com menor densidade vegetal, menor

umidade e maior senescência. Esses fatores podem ter favorecido a propagação dos incêndios. Por outro lado, as áreas não queimadas, embora em melhor estado, também apresentaram valores abaixo do normal, possivelmente devido à estação seca durante a captura das imagens.

9.3 Condições da vegetação pré-fogo por meio de índices espectrais

Os três índices espectrais avaliados fornecem informações complementares sobre as condições da vegetação do PESP antes de um evento de fogo. A análise conjunta permite identificar quais índices apresentam maior relevância na diferenciação entre áreas queimadas e não queimadas.

De modo geral, as áreas queimadas apresentam valores de NDVI inferiores à média histórica, indicando menor vigor vegetativo pré-fogo. Contudo, as diferenças em NDVI entre áreas queimadas e não queimadas são relativamente pequenas em algumas fitofisionomias, como na Floresta Ombrófila Alto Montana. Esse comportamento indica que o NDVI, isoladamente, pode não ser o melhor indicador para prever a ocorrência de incêndios.

O NDII, por sua vez, demonstra maior sensibilidade na distinção entre áreas queimadas e não queimadas, com valores mais baixos nas áreas que sofreram com fogo. Os resultados indicam que a baixa umidade da vegetação, é um fator determinante na suscetibilidade ao fogo, corroborando o estudo de Balch et al. (2015). A diferença entre áreas queimadas e não queimadas em NDII é mais evidente do que no NDVI. Na Floresta Ombrófila Alto Montana, o NDII é negativo (-0.01) nas áreas queimadas, enquanto as áreas não queimadas apresentaram valores positivos (0.06). A discrepância entre valores de NDII pré-fogo e a média histórica reforça a importância da umidade na dinâmica de incêndios florestais.

O PSRI apresenta valores mais elevados nas áreas queimadas e não queimadas em comparação à média histórica, o que reflete sinais de senescência da vegetação. No entanto, as diferenças entre áreas queimadas e não queimadas foram menos expressivas em relação aos outros índices. Em áreas campestres, por exemplo, os valores de PSRI foram idênticos (0,19), indicando que outros fatores podem influenciar essas áreas. Embora o índice demonstre menor capacidade de diferenciar áreas queimadas e não queimadas, ele destaca o estresse ambiental generalizado, possivelmente relacionado a condições de seca severa ou estresse sazonal.

Entre os índices analisados, o NDII se destaca como o mais sensível para identificar vulnerabilidade ao fogo devido à sua relação direta com a umidade da vegetação. O PSRI,

embora menos discriminante, fornece uma visão abrangente do estresse ambiental, enquanto o NDVI é mais eficaz para identificar o vigor geral da vegetação, mas pode não captar mudanças significativas em condições de estresse ambiental moderado.

Outro aspecto importante é o desvio dos índices em relação à média histórica. O NDII apresenta o maior desvio negativo nas áreas queimadas, reforçando sua relação direta com a vulnerabilidade ao fogo. O PSRI é elevado em relação à média histórica, mas tem menor associação com as condições que diferenciam áreas queimadas e não queimadas. O NDVI, embora tenha desvios menores em relação à média histórica, reflete uma menor sensibilidade às condições específicas pré-fogo.

De modo geral, o NDII é o índice mais relevante para prever a ocorrência de queimadas, devido à sua alta sensibilidade à redução de umidade da vegetação. O PSRI, embora menos eficaz na previsão de queimadas, reflete bem o estresse ambiental geral, enquanto o NDVI é mais indicado para análises de longo prazo, como identificação de padrões de degradação. A combinação dos três índices é essencial para obter um panorama robusto, no qual o NDII destaca a suscetibilidade imediata com diferenciações espaciais, o PSRI reflete o estresse ambiental perante a série histórica, e o NDVI captura a degradação geral da vegetação, inclusive após a queima.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices analisados mostraram maior eficiência para identificar temporalmente as condições de queimadas nas fitofisionomias do Parque Estadual da Serra do Papagaio, em vez de sua distribuição espacial. Nas imagens pré-fogo, as diferenças entre áreas queimadas e não queimadas foram discretas. No entanto, ao comparar essas situações com as médias históricas, as discrepâncias se tornaram mais evidentes, destacando o potencial dos índices para detectar anomalias temporais.

Embora o parque seja uma Unidade de Conservação de proteção integral, a ocorrência de incêndios florestais em seus limites pode estar relacionada a fatores antrópicos. O conceito de “museificação”, que pressupõe o isolamento do meio natural por desapropriações frequentemente não indenizadas, agrava os conflitos locais. Assim, a semelhança entre as condições naturais das fitofisionomias queimadas e não queimadas sugere que a proximidade de bairros e estradas rurais seja um fator mais relevante para a suscetibilidade ao fogo.

Este trabalho serve de prelúdio para novos estudos relacionados ao regime do fogo no PESP, podendo ser utilizado pelos seus gestores e técnicos na execução de relatórios e planos de prevenção e combate aos incêndios florestais que integram o contexto do manejo integrado do fogo. A metodologia aqui proposta pode e deve ser aperfeiçoada visando o avanço contínuo e participativo da ciência nacional em prol da conservação do meio natural e em comum diálogo com as comunidades tradicionais e seus saberes.

Para aprofundar o tema, recomenda-se uma abordagem integrada que inclua o diálogo com brigadistas, ONGs e demais agentes locais, ampliando a compreensão dos fatores que influenciam os incêndios. Também é essencial priorizar o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias de análise de grandes volumes de dados. Isso se traduz no desenvolvimento de códigos e *dashboards* que, a partir de dados orbitais e análises *in loco*, gerem informações úteis para a identificação das condições da vegetação pré-fogo. A análise sazonal destes dados pode identificar períodos críticos, subsidiando ações preventivas e estratégias de gestão ambiental mais eficazes no Parque Estadual da Serra do Papagaio.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragão, L. E.; Malhi, Y.; Barbier, N.; Lima, A.; Shimabukuro, Y.; Anderson, L.; Saatchi, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Phil. Trans. R. Soc.** v. 363, p. 1779–85, 2008.
- Balch, J. K. et al. The Susceptibility of Southeastern Amazon Forests to Fire: Insights from a Large-Scale Burn Experiment. **BioScience**, v. 65, p. 893-905, 2015.
- Bannari, A.; Morin, D.; Bonn, F. A review of vegetation indices. In: **Remote Sensing Review**. Taylor & Francis Ltd. p. 95-120, 1995.
- Baptista, G. M. M.; Bento-Gonçalves, A.; Vieira, A. Avaliação das condições de verdor, umidade e de senescência da vegetação queimada no incêndio de Braga, Portugal, em outubro de 2017. In: **Desafios para afirmar a Lusofonia na Geografia Física e Ambiente. II Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente**, 2018, Guimarães. CEGOT-UMinho, Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade do Minho, p. 1079-1085, 2018.
- Batista, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 30, p. 45-54, 2000.
- Barbosa, B. C.; Cappi, V. S.; Ribeiro, S. P.; Fernandes W. Avaliação da capacidade de rebrotamento pós-distúrbio das plantas lenhosas típicas dos campos rupestres. **Ecología Austral**, v. 24, n. 3, p. 350–355, 2014.
- Béllard, C. et al. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, p. 1376–1386, 2014.
- 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. Decreto nº 1.713, de 14 de junho de 1937. Cria o Parque Nacional de Itatiaia. **Rio de Janeiro**, 14 jun. 1937. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/atos/decretos/1937/d01713.html.
- 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 Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm.
- Brasil, Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de

anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, n. 169, seção 1, p. 30, 30 ago. 2012. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/208>.

Campanharo W. A. et al. Padrões e impactos dos incêndios florestais nos biomas brasileiros. In: **Queimadas e incêndios florestais mediante monitoramento orbital**. Setzel, A. W.; Ferreira, N. J. (Orgs). São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

Castro, A. L. C.; Calheiros, L. B.; Cunha, M. I. R.; Bringel, M. L. N. C. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003.

Chazdon, R. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. **Perspectives in Plant Ecology, evolution and systematics**, v. 6, n. 1-2, p. 51-71, 2003.

Clements, E. S. The relation of leaf structure to physical factors. **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 26, p. 19-102, 1904.

European Space Agency; Airbus Defence and Space. **Copernicus Global Digital Elevation Model (GLO-30)**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5069/G9028POB>.

Filho, C. R. d. S. et al. Detecção de exsudações de hidrocarbonetos por geobotânica e sensoriamento remoto multi-temporal: estudo de caso no Remanso do Fogo (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p. 228–243, 2008.

Furquim, L.; Santos, M.; Andrade, C.; Oliveira, L.; Evangelista, A. Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 2, p. 146-156, 2018.

Gorelick, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

Hardisky, M. A., Klemas, V.; Smart, R. M. The Influences of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Reflectance of *Spartina Alterniflora* Canopies. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 49, p. 77-83, 1983.

Harley, R. M. Introduction. In: Stannard, B. (org). **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil**. Richmond: Royal Botanic Gardens, p. 1-78, 1995.

Huete, A. R.; Liu, H.; Leeuwen, W. J. D. The use of vegetation indices in forested regions: issues of linearity and saturation. **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development**, Singapura, v. 4, p. 1966-1968, 1997.

Hunter, J. D. Matplotlib: a 2D graphics environment. **Computing in Science & Engineering**, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Contínua de Geomorfologia do Brasil**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE. 2022. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101998.pdf>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 271p, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo do Parque Nacional Grande Sertão Veredas**. Brasília, 429p, 2003. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-grande-sertao-veredas/arquivos/parna_grande_sertao_veredasplanodemanejo.pdf.

Instituto Estadual de Florestas. **Plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Papagaio**. Belo Horizonte: IEF, 118p, 2009.

Instituto Estadual de Florestas. **Inventário Florestal**. Belo Horizonte: IDE-SISEMA. 2018. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/81252cf1-8e53-4c9e-91ed-24edaf774715>.

Instituto Estadual de Florestas. **Unidades de Conservação Estaduais**. Belo Horizonte: IDE-SISEMA. 2018. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/6e82b820-49e5-49a1-a73f-e060c110ee7a>.

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese. 2009.

Junior, W. J. S.; Rodrigues C. C.; Souza, C. R.; Moura, A. S.; Morelli, M. C. M.; Fontes, M. A. L. Conflitos do uso do fogo em Parques: o Manejo Integrado do Fogo como instrumento de mediação. **Biodiversidade Brasileira**. v. 9, n. 1, p. 263, 2019.

Junqueira, M. G. P. **Consenso e conflito na região da Serra do Papagaio**. 2017. 286 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Programa de Estudos Pós-Graduados em Ciências Sociais, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2017.

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.

- Key, C. H.; Benson, N. C. Landscape assessment (LA). In: Lutes, D. C. et al. (Orgs). **FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system**. Fort Collins: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, p. 1-55, 2006.
- Köppen, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, p. 1-44, 1936.
- Lewinsohn, T. M.; Prado, P. I. Quantas espécies há no Brasil? **Megadiversidade**, v.1, n. 1, p. 36–42, 2005.
- Libonati, R.; Pereira, A. A.; Santos, F. L. M. 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.
- Liu, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- Lorenzzetti, J. A. **Princípios físicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.
- Majerowicz, N. Fotossíntese. In: Kerbauy, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 3rd ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.
- Projeto MapBiomias. **Coleção 3 da Série MapBiomias Fogo**, São Paulo: MapBiomias, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>.
- Projeto MapBiomias. **Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. São Paulo: MapBiomias, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>.
- Medina, E. **Nitrogen content, leaf structure and photosynthesis in higher plants: a report to the United Nations Environmental Program study group on photosynthesis and bioproductivity**. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, 47p. 1981.
- Meireles, L. D.; Shepherd, G. J.; Kinoshita, L. S. Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa alto-montana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. **Brazilian Journal of Botany**, v. 31, n. 4, p. 559-574, 2008.
- Milagres, N. L. **Análise de incêndios florestais no Parque Estadual do Itacolomi utilizando dados de campo e sensoriamento remoto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2019.
- Minas Gerais. COMIG – Projeto Sul de Minas. **Folha Pouso Alto**. Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais, vol. I, 2002.
- Minas Gerais, Decreto nº 31.368, de 2 de junho de 1990 (REVOGADO), declara de utilidade pública e de interesse social, para desapropriação de pleno domínio, terrenos e benfeitorias necessárias à implantação da Estação Ecológica do Papagaio. **Minas Gerais**, Belo Horizonte,

2 jun. 1990. Disponível em:

<https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/31368/1990/>. Acesso em: 22 nov. 2023.

Minas Gerais, Decreto nº 39.793, de 5 de agosto de 1998, cria o Parque Estadual da Serra do Papagaio e declara de utilidade pública e de interesse social, para fins de desapropriação de pleno domínio, terrenos e benfeitorias necessárias à sua implantação. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 5 ago. 1998. Disponível em:

<https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/39793/1998/>. Acesso em: 22 nov. 2023.

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. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/23774/2021/>. Acesso em: 22 nov. 2023.

Moura, L. C.; Falleiro, R. M.; Oliveira, M. S.; Andrade, A. S. R.; Schmidt, I. B. **Guia prático para a elaboração de planos de manejo integrado do fogo**. Brasília: ISPN, 37p, 2023.

Disponível em:

<https://ispn.org.br/site/wp-content/uploads/2023/09/GUIA-PRATICO-PMIF.pdf>.

Neves, S. P. S.; Conceição, A. A. Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 3, p. 697-707, 2010.

Nobel, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. 4. ed. London: Academic Press, p. 635, 1991.

Nóbrega, C. J. M. **Estudo laboratorial da variação sazonal do comportamento do fogo em folhada de árvores caducifólias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2024.

Novo, E. M. L. M.; Ponzoni, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 68p, 2001.

Numata, I; Cochrane, M. A.; Roberts, D. A.; Soares, J. V.; Souza, C. M.; Sales, M. H. Biomass Collapse and Carbon Emission from Forest Fragmentation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical research: Biogeosciences**, v. 115, n. 3, 2010.

Oliveira, C. S. **Estudo dos Geossistemas das cristas quartzíticas da Mantiqueira Meridional: a paisagem em perspectiva multiescalar**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

- Oliveira, R. S.; Galvão, H. C.; de Campos, M. C. R.; Eller, C. B.; Pearse, S. J.; Lambers, H. Mineral nutrition of campos rupestres plant species on contrasting nutrient-impooverished soil types. **New Phytol**, v. 205, p. 1183–1194, 2015.
- Pimenta, J. A. Relações Hídricas. In: Kerbauy, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 3rd ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.
- Piperno, D. R.; Pearsall, D. M. **The origins of agriculture in the lowland neotropics**. Nova Iorque York: Academic Press. 1998.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2015.
- Rebelo, F. Condições de tempo favoráveis à ocorrência de incêndios florestais. **Biblos Coimbra**, v. 16, 21p, 1980.
- Ren, S.; Chen, X.; An, S. Assessing plant senescence reflectance index-retrieved vegetation phenology and its spatiotemporal response to climate change in the Inner Mongolian Grassland. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, n. 4, p. 601-612, 2016.
- Ribeiro, G. A.; Estratégias de prevenção contra incêndios florestais. **Floresta**, v. 34, p. 243-247, 2004.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. (Orgs). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa, p. 152-212, 2008.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Orgs). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 86-166, 1998.
- Rizzini, C. M.; Garay, I. **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: Diversidade Funcional da Cobertura Arbórea**. Petrópolis: Vozes, 2003.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). **Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium**, p. 309-317, 1973.
- Roy, D. P.; Boschetti, L.; Trigg, S. N. Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the Performance of the Normalized Burn Ratio. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 1, p. 112-116, 2006.
- Sanquetta, C. R. (Org.). **Experiências de monitoramento no bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes**. Curitiba: UFPR, 338p, 2008.
- Scarano F. R., Ceotto P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity Conservation**, 24:2319–2331, 2015.
- Scheer, M. B.; Mochinski, A. Y. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 2, p. 51-69, 2009.

- Scolforo, J. R.; Carvalho, L. M. T. **Mapeamento e Inventário da flora ativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 288p, 2006.
- Scolforo, J. R.; Carvalho, L. M. T.; Oliveira, A. D. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento dos reflorestamentos e tendências da produção em volume, peso de matéria seca e carbono, 2005-2007**. Lavras: Ed. UFLA, 150p, 2008.
- 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.
- Sendulsky, T.; Burman, A. G. Paspalum species of the Serra do Cipó: a contribution to the study of Brazilian Poaceae. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, n. 1, p. 01-15, 1978.
- Serviço Público Federal. **Plano de ação para o Manejo Integrado do Fogo no bioma Pantanal**. Brasília, 44p, 2023. Disponível em:
<https://oeco.org.br/wp-content/uploads/2023/05/Plano-Pantanal-17-04-2023-1.pdf>.
- Simas, F. N. B.; Schaefer, C. E. G. R.; Fernandes Filho, E. I.; Chagas, A. C.; Brandão, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, v.125, p.187-201, 2005.
- UFV; CETEC-MG; UFLA; FEAM. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, Escala 1:650.000, 2010.
- Valor T.; González-Olabarria, J. R.; Piqué, M. Assessing the impact of prescribed burning on the growth of European Pines. **Forest Ecology and Management**, v. 343, p. 101–109, 2015.
- Van Der Walt, S.; Colbert, S. C.; Varoquaux, G. The NumPy array: a structure for efficient numerical computation. **Computing in Science & Engineering**, v. 13, n. 2, p. 22-30, 2011.
- Veloso, H. P.; Góes-Filho, L. **Fitogeografia brasileira: Classificação Fisionômico-Ecológica da Vegetação Neotropical**. Ministério das Minas e Energia, Projeto RadamBrasil, 80p, 1982. Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv92051.pdf>.
- Veloso, H. P.; Rangel-Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 123 p, 1991.