

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
CENTRO DE ESTUDOS DE POLÍTICA, ESTRATÉGIA E DOCTRINA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS**

Cap. QOBM/Comb. PEDRO HENRIQUE LACERDA **FERRAZ**



**O USO DE GEOINTELIGÊNCIA NA PREVENÇÃO CONTRA
INCÊNDIOS FLORESTAIS: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE AS
REGIÕES VULNERÁVEIS A INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE
NACIONAL DE BRASÍLIA, POR MEIO DE DADOS HISTÓRICOS
GERADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE
MODELAGEM ESPACIAL.**

BRASÍLIA
2025

Cap. QOBM/Comb. Pedro Henrique Lacerda **Ferraz**

**O USO DE GEOINTELIGÊNCIA NA PREVENÇÃO CONTRA
INCÊNDIOS FLORESTAIS: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE AS
REGIÕES VULNERÁVEIS A INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE
NACIONAL DE BRASÍLIA, POR MEIO DE DADOS HISTÓRICOS
GERADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE
MODELAGEM ESPACIAL.**

Artigo científico apresentado à disciplina Metodologia da Pesquisa Científica como requisito para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Maj. QOBM/Comb. **JOÃO HENRIQUE CORRÊA PINTO**

BRASÍLIA
2025

Cap. QOBM/Comb. PEDRO HENRIQUE LACERDA **FERRAZ**

O USO DE GEOINTELIGÊNCIA NA PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIOS FLORESTAIS: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE AS REGIÕES VULNERÁVEIS A INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA, POR MEIO DE DADOS HISTÓRICOS GERADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE MODELAGEM ESPACIAL.

Artigo científico apresentado à disciplina Metodologia da Pesquisa Científica como requisito para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: 13/05/2025

BANCA EXAMINADORA

IGOR MUNIZ DA SILVA – Ten-Cel. QOBM/Comb.
Presidente

ANDRÉ LUIZ DE OLIVEIRA TEMPONE – Ten-Cel. RRm (PTTC)
Membro

EMÍLIA BERNARDES DA SILVA – Ten-Cel. RRm
Membro

JOÃO HENRIQUE CORRÊA PINTO – Maj. QOBM/Comb.
Orientador

RESUMO

Este trabalho investiga a aplicação da geointeligência (GEOINT) na prevenção de incêndios florestais no Parque Nacional de Brasília (PNB), com o objetivo de identificar áreas mais suscetíveis à ocorrência de incêndios, por meio da análise de variáveis ambientais e de dados históricos de queimadas. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem quali-quantitativa, utiliza sensoriamento remoto, técnicas de geoprocessamento e modelagem espacial para construir modelos de risco. A metodologia adota o Processo Analítico Hierárquico (AHP) para combinar variáveis como temperatura, umidade relativa do ar, uso e cobertura do solo e a presença de incêndios no período anterior, gerando mapas temáticos georreferenciados que indicam diferentes níveis de suscetibilidade ao fogo. Os resultados indicam maior risco de incêndio em áreas com vegetação seca, baixa umidade e ausência de queima recente. A validação dos modelos, com dados reais dos anos de 2022 a 2024, demonstra elevada correspondência entre as áreas classificadas como de risco e aquelas efetivamente queimadas. O estudo conclui que a integração de variáveis ambientais e do histórico de incêndios, por meio de ferramentas de GEOINT, oferece suporte eficaz às estratégias preventivas e operacionais de combate a incêndios florestais. O modelo proposto apresenta-se como instrumento promissor de apoio à tomada de decisão do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e de demais instituições responsáveis pela resposta a emergências ambientais.

Palavras-chave: geointeligência; incêndios florestais; sensoriamento remoto; Cerrado; Parque Nacional de Brasília.

THE USE OF GEOSPATIAL INTELLIGENCE IN THE PREVENTION OF WILDFIRES: AN ANALYSIS OF VULNERABLE AREAS IN BRASÍLIA NATIONAL PARK BASED ON HISTORICAL DATA AND SPATIAL MODELING TECHNIQUES

ABSTRACT

This study investigates the application of geospatial intelligence (GEOINT) in preventing wildfires in Brasília National Park (PNB), aiming to identify areas most susceptible to fire through the analysis of environmental variables and historical burn data. This applied, mixed-methods research employs remote sensing, geoprocessing techniques, and spatial modeling to develop fire risk models. The methodology adopts the Analytic Hierarchy Process (AHP) to integrate variables such as temperature, relative humidity, land use and cover, and fire occurrence in the previous period. These data generate georeferenced thematic maps that indicate varying levels of fire susceptibility. Results show a higher risk of wildfire in areas with dry vegetation, low humidity, and no recent fire activity. Model validation using real data from 2022 to 2024 demonstrates a strong correlation between the projected risk areas and those actually burned. The study concludes that integrating environmental variables and fire history through GEOINT tools effectively supports preventive and operational strategies for wildfire management. The proposed model proves to be a promising decision-support tool for the Federal District Military Fire Department and other emergency response institutions.

Keywords: *geospatial intelligence; wildfires; remote sensing; Cerrado; Brasília National Park.*

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro, a savana mais biodiversa do mundo, ocupa cerca de 24% do território do país e desempenha papel essencial no ciclo hidrológico (Ribeiro; Walter, 1998). Inserido no Cerrado, está o Distrito Federal (DF) que, com sua alta densidade demográfica, sofre intensa ação antropogênica (IBGE, 2022). A expansão urbana e o uso inadequado do solo são fatores que contribuem para o aumento da vulnerabilidade às queimadas (Fonseca *et al.*, 2019).

Conforme a Classificação Climática de Köppen-Geiger (1931), o DF tem clima tropical de inverno seco. Além disso e da intensificação das mudanças climáticas, um fator preponderante na ocorrência de incêndios florestais no Cerrado é o homem. Segundo Soares e Santos (2002), a maior parte dos incêndios tem origem humana, mas o que influencia na propagação e determina seus efeitos devastadores são, além dos materiais combustíveis, os fatores climáticos e topográficos.

A atividade de inteligência pode facilitar a compreensão da dinâmica dos incêndios florestais, pois lida com prevenção e orientação, auxiliando no processo decisório, por meio da produção de conhecimento. A legislação brasileira definiu como sendo inteligência:

A atividade que objetiva a obtenção, análise e disseminação de conhecimentos dentro e fora do território nacional sobre fatos e situações de imediata ou potencial influência sobre o processo decisório e a ação governamental e sobre a salvaguarda e a segurança da sociedade e do Estado (Brasil, 1999, art. 1º, §2º).

No Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), de acordo com o Decreto Distrital nº 31.817 (Brasil, 2010), ao Centro de Inteligência (CEINT) compete obter e analisar dados para a produção de conhecimentos de assuntos de interesse institucional, para assessoramento do Comando-Geral, subsidiando atividades preventivas e operacionais. Em um contexto militar de assessoramento de comando, como o do CBMDF, nasceu a Geointeligência (GEOINT).

De acordo com a *National Geospatial Agency* (NGA), a GEOINT é o ramo da inteligência que integra imagens a conhecimentos da inteligência de imagens e de informação geoespacial (*National Research Council*, 2006). Atualmente a GEOINT

está em contextos além do militar como o acadêmico, policial, do agronegócio, empresarial, governamental e outros.

Considerando os meios de obtenção de dados preconizados pela Doutrina Nacional de Inteligência de Segurança Pública (DNISP), a GEOINT é uma forma de obtenção de dados feita por meio eletrônico. Ela apresenta valor agregado na fase de Reunião de Dados e/ou Conhecimentos quando do emprego da Metodologia de Produção de Conhecimento para a Inteligência Bombeiro Militar (Brasil, 2016).

No CBMDF, imagens e informações espaciais, aliadas a conhecimentos de inteligência, podem fortalecer diversas áreas da corporação. Uma das possibilidades é atuar na proteção ambiental, subsidiando a tomada de decisão na prevenção ou combate aos incêndios florestais, com informação qualificada.

O Parque Nacional de Brasília (PNB ou PARNA-Brasília), a maior unidade de conservação do DF, foi criado em 1961 com o objetivo de conservar a fauna, flora e a água para o abastecimento da capital (Brasil, 2023). O PNB abriga diversas fitofisionomias de Cerrado e espécies animais e vegetais em perigo de extinção.

Embora rico em biodiversidade, o PNB sofre com a presença humana, sem perspectivas otimistas em relação à conservação (Brasil, 2023). Este trabalho busca explorar, por meio de ferramentas de geoprocessamento e dados de sensoriamento remoto, as regiões mais suscetíveis a incêndios florestais no PNB, contribuindo com atividades preventivas relacionadas ao Manejo Integrado do Fogo (MIF), bem como com as ações de resposta do CBMDF e de brigadas locais responsáveis pela área.

A intensidade da queimada depende de diversos fatores. A presença de cursos d'água, características da vegetação, a direção e velocidade dos ventos, o relevo do terreno e a temperatura do local, dentre outras características geográficas e de ações antrópicas, podem influenciar o comportamento do fogo no Cerrado.

A GEOINT explora imagens e informações geográficas, com o objetivo de definir, avaliar e representar as características físicas e atividades humanas de um determinado local na superfície terrestre. As características do Cerrado no PNB e a atividade humana dentro e ao redor do parque podem facilitar a compreensão da dinâmica dos incêndios florestais que lá ocorrem.

Ferramentas de geoprocessamento podem proporcionar uma melhor análise geoespacial. Sendo possível identificar áreas com menor ou maior suscetibilidade a incêndios, pode-se ter a prevenção melhor orientada e o combate mais efetivo. Nessa linha, levantou-se o questionamento: é possível, a partir da análise geoespacial, identificar as áreas mais suscetíveis a incêndios florestais no PNB?

Os incêndios no PNB comumente demandam atuação do CBMDF, que mobiliza, grande quantidade de recursos humanos e materiais, especialmente no período de seca, quando diversas áreas do DF necessitam de atendimento. A prevenção, orientada por meios tecnológicos como o sensoriamento remoto, pode trazer maior previsibilidade da necessidade de atuação do CBMDF no PNB, auxiliando no planejamento e na resposta operacional da corporação.

O fogo está presente no Cerrado há mais tempo que o homem (Fidelis; Pivello, 2011) e as causas são diversas, tendo como principal a ação humana. Na história recente, a frequência e a intensidade do fogo no Cerrado têm sido aumentadas devido a mudanças climáticas, como o aumento da temperatura e a intensificação da seca (Enright *et al.*, 2015; Pausas; Keeley, 2009). Contudo, essas mudanças não se comprovam como o fator principal de degradação do meio ambiente, quando comparadas à mão humana (Soares; Santos, 2002).

É atribuição constitucional dos Corpos de Bombeiros proteger o meio ambiente, por meio de ações de prevenção, combate e investigação de incêndios florestais. A GEOINT pode atuar em todas essas etapas. Ademais, a Responsabilidade Socioambiental também é um dos valores do CBMDF, traduzido pelo compromisso de contribuir para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável do DF (CBMDF, 2023). Ela compreende a melhora da qualidade de vida da sociedade, o que pode ser conseguido pela diminuição das ocorrências de grandes incêndios florestais.

O Plano de Manejo do PNB (Brasil, 2023), principal instrumento de gestão do parque, é o documento técnico que determina as normas a respeito do uso e do manejo dos recursos naturais lá existentes. Ele define o Cerrado como um valor fundamental do parque e o considera bem conservado. Também reconhece, todavia,

a tendência de aumento da degradação e explicita ameaças como mudanças climáticas, invasão humana, lixo nos arredores e incêndios antrópicos.

Compreendendo a tendência de aumento da degradação, este trabalho tem como objetivo propor um modelo de identificação de áreas de risco de incêndios florestais no PNB, utilizando técnicas de geoprocessamento e dados de sensoriamento remoto, de modo a subsidiar e/ou orientar a prevenção e combate pelas equipes de resposta.

Para o cumprimento do objetivo proposto, foram coletados e analisados dados espaciais, meteorológicos e geofísicos correlacionando-os com dados históricos, para compreender a dinâmica dos incêndios e das áreas de risco no PNB, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Os resultados dos modelos de risco projetado foram validados, verificando a consistência das variáveis espaciais para a projeção de incêndios futuros no PNB.

Acredita-se que a integração de informações de GEOINT possa melhorar a eficiência do emprego dos combatentes florestais nos incêndios no período de seca. É possível que essas informações indiquem regiões mais suscetíveis a incêndios florestais no PNB. Supõe-se que as variáveis espaciais possam ser utilizadas para antever incêndios no PNB e que seja possível utilizar técnicas de geoprocessamento e modelagem espacial para construir um modelo de identificação de áreas de risco de incêndio no PNB.

Foram estabelecidas as seguintes hipóteses:

- A identificação das regiões acometidas por incêndios florestais no PNB no passado pode subsidiar a tomada de decisão dos envolvidos pelas respostas e prevenções futuras;
- Existem padrões espaciais na área de estudo que favorecem o desenvolvimentos de incêndios;
- As características geofísicas e fisionômicas do parque contribuem para a identificação das regiões mais suscetíveis a incêndios florestais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Alves (2012, p. 20) define que incêndio florestal é aquele que “ocorre em espaços florestais, ou que tendo início noutra área, se estende para um espaço florestal, podendo englobar neste espaço áreas arborizadas ou não”. Nessa definição estão excluídas as formas de utilização do fogo que não fujam do controle humano, como queimas controladas de material vegetal seco.

Ramos-Neto e Pivello (2000) destacam que os incêndios florestais no Cerrado acontecem de forma natural no período chuvoso, causados por raios e logo extintos pela chuva, queimando pequenas áreas em comparação aos causados pelo homem na seca. Portanto, evidenciam-se dois fatores dos quais os incêndios florestais dependem: a ignição e a propagação. A ignição é o aparecimento do foco de incêndio e pode acontecer naturalmente pelos raios, ou de forma antrópica (intencional ou não). Já a propagação é a expansão do foco inicial e depende de alguns fatores que serão explorados a seguir.

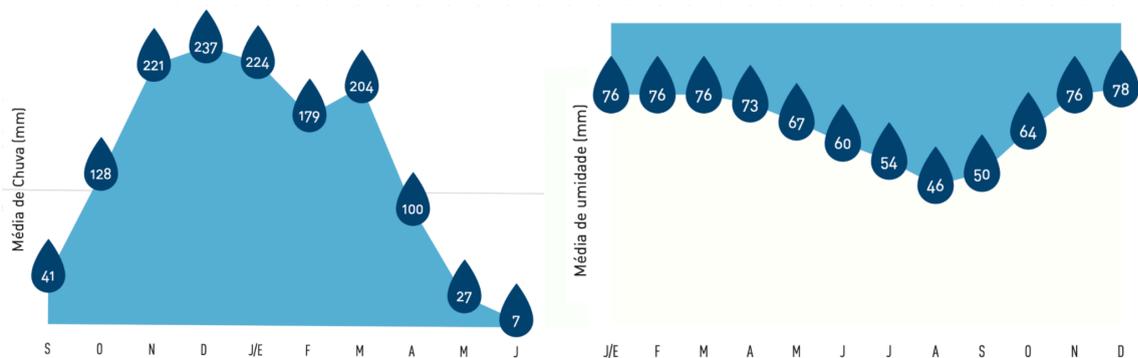
Além da irradiação, condução e convecção, é preciso levar em consideração fatores externos. Alves (2012) destaca a necessidade de se considerar um vasto conjunto de fatores que influenciam na propagação dos incêndios florestais, para se desenvolver um índice de risco de incêndio. As condições locais topográficas, meteorológicas e de combustível são essenciais para o estudo do comportamento do fogo nos incêndios florestais.

Terrenos mais inclinados podem aumentar a velocidade de propagação de incêndios devido à transferência de calor, que é facilitada no sentido do aclave, conforme explica Aguiar (2015). A declividade está diretamente relacionada à velocidade e à direção da propagação dos incêndios florestais, uma vez que as colunas de convecção aquecem a vegetação acima do incêndio (Neves, 2017).

Vento e chuva também são importantes na dinâmica de propagação dos incêndios florestais. As precipitações são fatores condicionantes que podem impedir a existência e propagação dos incêndios, enquanto os ventos podem intensificar a queima, provendo oxigênio para a combustão e determinando a direção e a velocidade da propagação (Neves, 2017; Pinto, 2021).

No Distrito Federal, conforme explicita o Atlas do Distrito Federal de 2020, elaborado pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN-DF), há uma combinação perigosa que facilita a propagação dos incêndios: pouca chuva e baixa umidade relativa do ar. No período da seca, que compreende aproximadamente metade do ano, chove apenas o equivalente a 10% de toda a chuva do ano. Destaca-se ainda que a umidade relativa nesses períodos, apesar da média histórica de níveis entre 40% e 60%, pode chegar até menos de 20% (Distrito Federal, 2020).

Gráfico 1 - Média mensal histórica de chuva e umidade relativa do ar no DF



Fonte: Atlas do DF (CODEPLAN-DF, 2020)

O tipo de vegetação também influencia diretamente na propagação dos incêndios. Diferentes espécies possuem diferentes graus de inflamabilidade e de combustibilidade (Alves, 2012). O estado e a distribuição da vegetação também são fatores importantes.

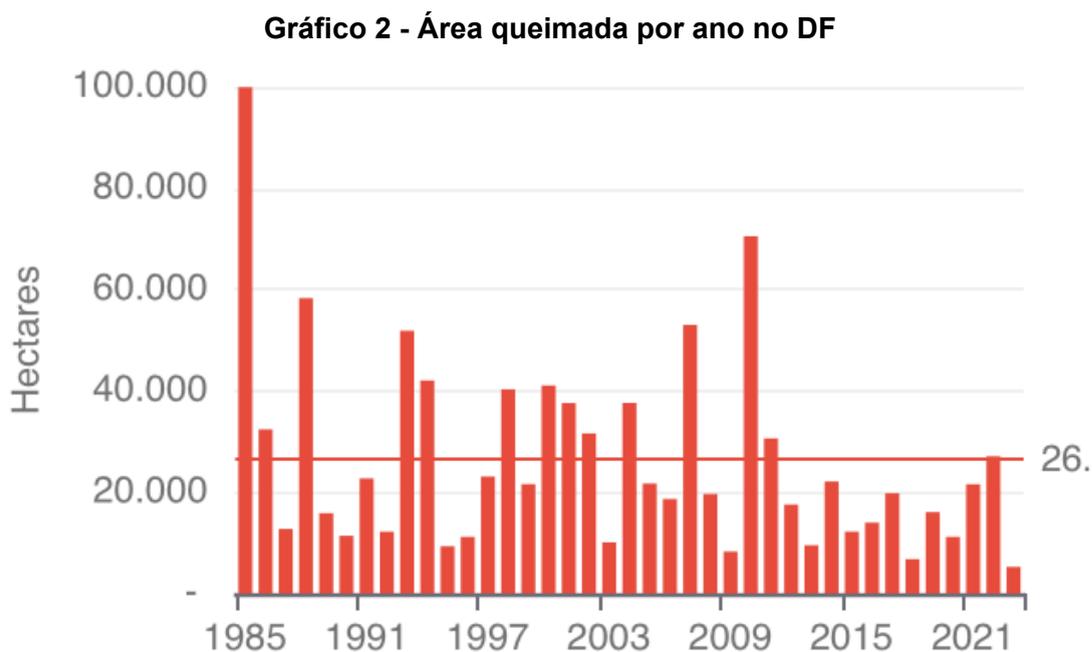
O espaçamento/adensamento de um mesmo tipo de vegetação ou a presença/ausência de água nas folhagens, por exemplo, podem alterar a forma e velocidade de propagação do incêndio, conforme explica Gaspar (2016). Uma formação campestre, por exemplo, apresenta menor retenção de água na vegetação do que uma mata fechada com espécies arbóreas de médio e grande porte, portanto, Gaspar (2016) mostra que onde há menor umidade na vegetação, maior será a velocidade de propagação de um incêndio.

Existem índices de risco de incêndios que determinam o grau de perigo de incêndio em uma determinada região. Alguns deles se baseiam apenas em condições meteorológicas. A título de exemplo, tem-se o Índice de Nesterov e o

Índice de Monte Alegre, que classificam o risco de incêndio em cinco níveis, variando de “nenhum” a “muito alto” (EMBRAPA, 2022).

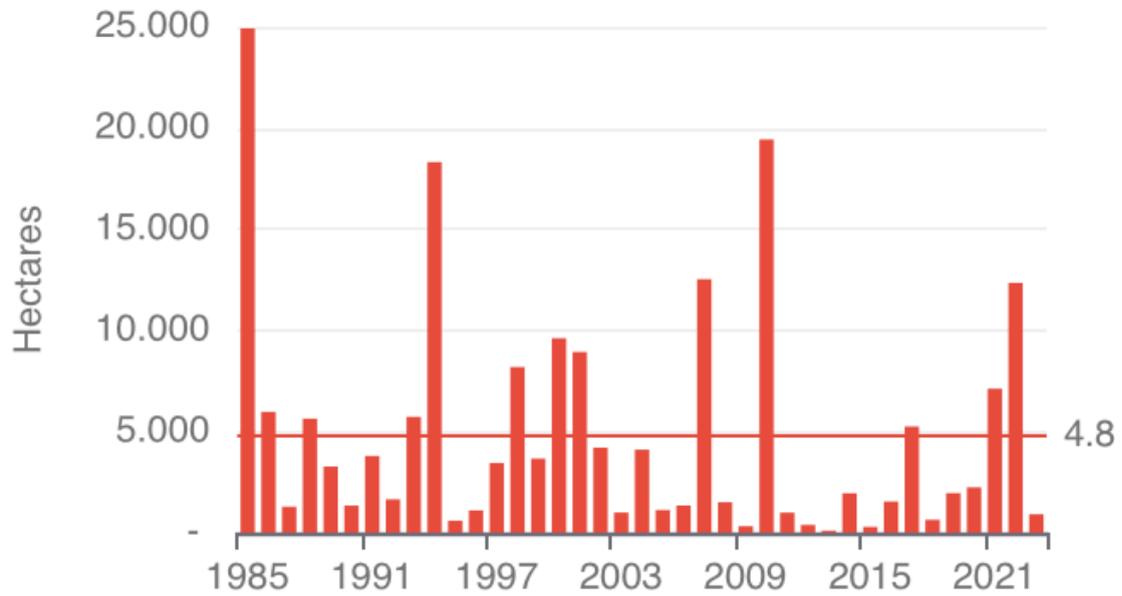
O primeiro foi criado na antiga União Soviética, e tem como variáveis a temperatura e o déficit de saturação do ar, medidos diariamente às 13h00. O segundo é da região central do Paraná e tem como único parâmetro a umidade relativa do ar, também medida às 13h00 (EMBRAPA, 2022).

No DF, os incêndios florestais são uma constante, conforme sugerem os diversos bancos de dados que armazenam informações sobre o tema. Um desses bancos de dados, o MapBiomas, calcula uma média de 26.000 hectares de área queimada por ano no DF, dos quais 4.800 (aproximadamente 18,5%), a cada ano, estão dentro do PNB. A plataforma de cicatrizes do fogo do MapBiomas traz valores obtidos de 1985 a 2023, conforme mostram os gráficos 2 e 3 a seguir.



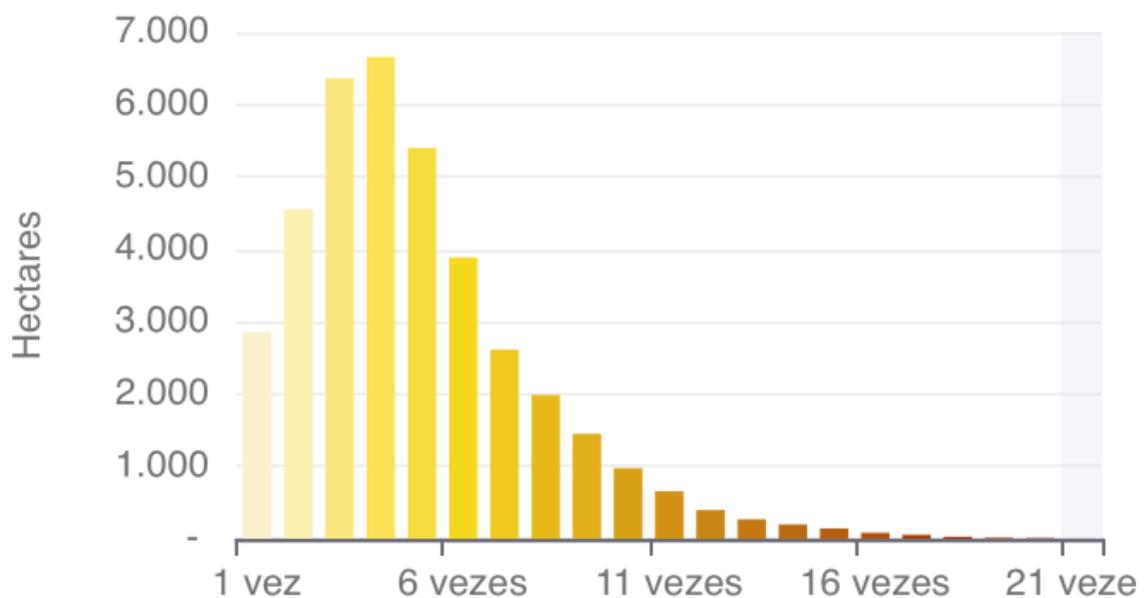
Fonte: MapBiomas

Analisando ano a ano, é possível verificar que locais queimados em determinado ano tem menor chance de queimar novamente no ano seguinte. Pinto, Rocha e Silva (2024) explicam que em anos consecutivos, há uma média de só 11% de intersecções sinistradas por fogo. Esse dado sugere que uma área não queimada há mais tempo, poderá oferecer maior risco de incêndio.

Gráfico 3 - Área queimada por ano no PNB

Fonte: MapBiomias

Dados do MapBiomias evidenciam que, no período histórico analisado, há locais dentro do Parque que foram queimados só uma vez, e outros até 21 vezes. Há locais que foram queimados apenas 4 vezes que já somam quase 7.000 hectares de área impactada destruídos, conforme mostra o gráfico 4.

Gráfico 4 - Frequência de área queimada no Parque Nacional de Brasília

Fonte: MapBiomias

Fidelis e Pivello (2011) apontam evidências da presença milenar (mais de 30.000 anos) do fogo no Cerrado. Simon *et al.* (2009) descrevem que o fogo está presente no Cerrado, de forma marcante o suficiente para provocar adaptações na vegetação, há milhões de anos.

Além da poluição atmosférica e dos efeitos da fumaça na saúde pública, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) exemplifica outros efeitos adversos que a sociedade brasileira tem sofrido em diversos segmentos, devido a incêndios nos diferentes ecossistemas do país. Dentre eles: a interrupção dos serviços de transporte aéreo e terrestre, afetando cidadãos e aviação comercial e civil; as potenciais contribuições para a mudança climática global através da produção de gases de efeito estufa; a redução na qualidade da água; a interrupção da transmissão de energia elétrica; as ameaças à vida e às propriedades; a perda da diversidade biológica e; as ameaças para plantações comerciais de árvores (FAO, 2001).

A Lei nº 14.944 de 31 de julho de 2024, com o objetivo de, dentre outros, reduzir a incidência e danos dos incêndios florestais no território nacional, instituiu a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo. Em seu artigo 2º, define os incêndios florestais como sendo:

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, cap. I, art. 2º, inc. I).

Segundo a Política, a prevenção são "as medidas contínuas realizadas no manejo integrado do fogo com o objetivo de reduzir a ocorrência e a propagação de incêndios florestais e seus impactos negativos" (Brasil, 2024, cap. I, art. 2º, inc. VIII). O mesmo artigo diz que o combate é o "conjunto de atividades relacionadas com o controle e a extinção de incêndios desde a sua detecção até a sua extinção completa" (Brasil, 2024, cap. I, art. 2º, inc. IX).

Esta lei traz conceitos, princípios e diretrizes relacionados aos incêndios florestais e dentre seus objetivos, destaca-se os seguintes:

- prevenir a ocorrência e reduzir os impactos dos incêndios florestais;

- reduzir a incidência, a intensidade e a severidade de incêndios florestais;
- aumentar a capacidade de enfrentamento dos incêndios florestais no momento dos incidentes, de maneira a melhorar o planejamento e a eficácia do combate ao fogo (Brasil, 2024, cap. III, art. 5º).

Evidencia-se a necessidade de melhor prevenção e aprimoramento da capacidade de resposta às ocorrências de incêndios florestais. Neste mesmo sentido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a norma ABNT NBR 17190:2024 - Plano de proteção contra incêndios florestais, elaborada pelo Comitê Técnico: ABNT/CB-024 Segurança Contra Incêndio.

A NBR 17190 especifica os requisitos relativos a um Plano de Proteção Contra Incêndios Florestais (PPCIF). Dentre os elementos que compõem um PPCIF, a norma traz sistemas de alerta e de detecção. Os sistemas de alerta “são dispositivos tecnológicos que auxiliam na gestão e alerta sobre as situações de risco de incêndios florestais” (ABNT, 2024, p. 17) e contam com a identificação dos locais de maior suscetibilidade e períodos de maior probabilidade de ocorrências para cumprir sua função.

A Norma prevê ainda os sistemas de detecção móveis, que incluem satélites e Aeronaves Remotamente Pilotadas (conhecidas como *drones* ou RPAs). Esses sistemas são largamente utilizados em atividades de GEOINT e têm grande potencial de aprimorar a prevenção de incêndios florestais.

Para se prevenir com embasamento, existem alguns bancos de dados de informações espaciais abertos. Conforme novas plataformas são lançadas e atualizadas, outras são desativadas, portanto é importante acompanhar essa dinâmica e saber quais são as fontes de dados que permanecem disponíveis.

A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA) coordena, em parceria com o Serviço Geológico dos EUA (USGS) o programa de satélites *Landsat*, um dos mais importantes da atualidade (NASA, 2025). Além disso, dispõe de equipamentos e sistemas para monitoramento ambiental em tempo quase real, como o VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) e o FIRMS (*Fire Information for Resource Management System*).

O FIRMS possibilita o monitoramento de incêndios, detectando queimadas em florestas, pastagens e áreas agrícolas (NASA, 2025). A disponibilização dos dados é feita em tempo quase real, por meio de mapas interativos de incêndios ativos e alertas personalizados. É uma das plataformas que pode auxiliar na identificação do local do foco inicial de um incêndio florestal.

O Copernicus é o programa da União Europeia de observação da terra. Ele tem o objetivo de prover à comunidade europeia dados consistentes, gratuitos e acessíveis para monitorar o meio ambiente, gerenciar desastres e apoiar políticas públicas. O conjunto de satélites *Sentinel* é composto por uma variedade de sensores com objetivos distintos para usos específicos. Cada um desses satélites tem sua resolução temporal e espacial, ou seja, realiza observações da terra em escalas e frequências diferentes (União Europeia, 2025).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza, em sua plataforma gratuita de Catálogo de Imagens, imagens dos programas CBERS e *Landsat*. O CBERS é resultado de uma cooperação entre Brasil e China, e surgiu pela necessidade dos dois países de terem autonomia na obtenção de imagens de satélite para monitoramento ambiental, gestão de recursos naturais, agricultura, controle de desmatamento e urbanismo em seus extensos territórios. O INPE também fornece imagens do satélite brasileiro Amazônia-1 (Brasil, 2025).

O MapBiomas é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) e é produzido por uma rede colaborativa formada por ONGs, universidades e empresas de tecnologia (MapBiomas, 2024). Sua plataforma online é gratuita e contém dados dispostos em mapas, gráficos e planilhas, sobre diversos assuntos. Sobre a temática das queimadas, a plataforma traz dados sobre fatores que influenciam o risco de incêndios florestais como desmatamento, uso do solo, irrigação, mineração e cicatrizes de queimadas.

3. METODOLOGIA

Para a classificação da pesquisa foram utilizadas as definições estabelecidas por Pradanov e De Freitas (2013). Para Pradanov e De Freitas (2013, p. 126), “o Método Científico é o conjunto de processos ou operações mentais que devemos empregar na investigação. É a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa.”

Com o objetivo de proporcionar informações e gerar conhecimentos para aplicação prática nos incêndios florestais no PNB, envolvendo a realidade e interesses locais, esta pesquisa é de natureza aplicada e exploratória quanto aos objetivos. Iniciando-se com um problema e formulando hipóteses para uma inferência dedutiva, a pesquisa é de método hipotético-dedutivo, e de abordagem qualitativa-quantitativa.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa é documental, bibliográfica e experimental. Os dados geoespaciais das queimadas foram obtidos de bancos de dados de sensoriamento remoto disponíveis na plataforma de cicatrizes do fogo do MapBiomas e na plataforma de áreas queimadas do CBMDF no Geoportal-DF. Os dados foram rasterizados (transformados de vetor para raster) no QGIS (*Quantum Geographic Information System*), um Software de Informações Geográficas (SIG) de uso livre.

Os dados de temperatura foram obtidos, por meio da banda 10 dos satélites *Landsat 8* e *9*, do catálogo de imagens da NASA e do USGS. A temperatura obtida por imagens de satélite é mensurável em cada *pixel* da imagem. O valor digital de temperatura nos metadados da banda 10 foi matematicamente corrigido (com base nos seus parâmetros de temperatura de superfície) para expressar um valor físico real de temperatura em graus Celsius. Após correção, foram normalizados em um intervalo de 0 a 1, de acordo com seus valores mínimo e máximo dentro do parque.

Os valores referentes à umidade relativa do ar também foram normalizados de 0 a 1. Eles foram obtidos da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Por se tratar de uma projeção de risco, entende-se que os valores mínimos são mais relevantes do que os valores médios ou máximos, uma vez que estes

podem trazer uma falsa sensação de baixo risco. Portanto, foram considerados os valores de umidade relativa do ar mínima obtidos em cada mês analisado.

Os dados do uso e cobertura do solo foram obtidos por meio de *download*, utilizando *Toolkits* (conjuntos de ferramentas disponíveis no aplicativo) do *Google Earth Engine*. Por se tratar de variáveis qualitativas, foram classificadas em 4 grupos e padronizadas, seguindo uma atribuição de valores ponderada que considerou a velocidade de propagação de incêndio nos tipos de vegetação presentes no parque, de acordo com a quantidade de umidade de cada um deles.

Os dados analisados para a construção deste trabalho e do cálculo realizado são referentes a 100% do universo das cicatrizes de queimadas no PNB e no DF disponíveis no banco de dados da plataforma de cicatrizes do fogo do MapBiomas, de 1985 a 2023. O recorte temporal permitiu coletar dados históricos, obtendo registros espaciais e temporais de incêndios florestais.

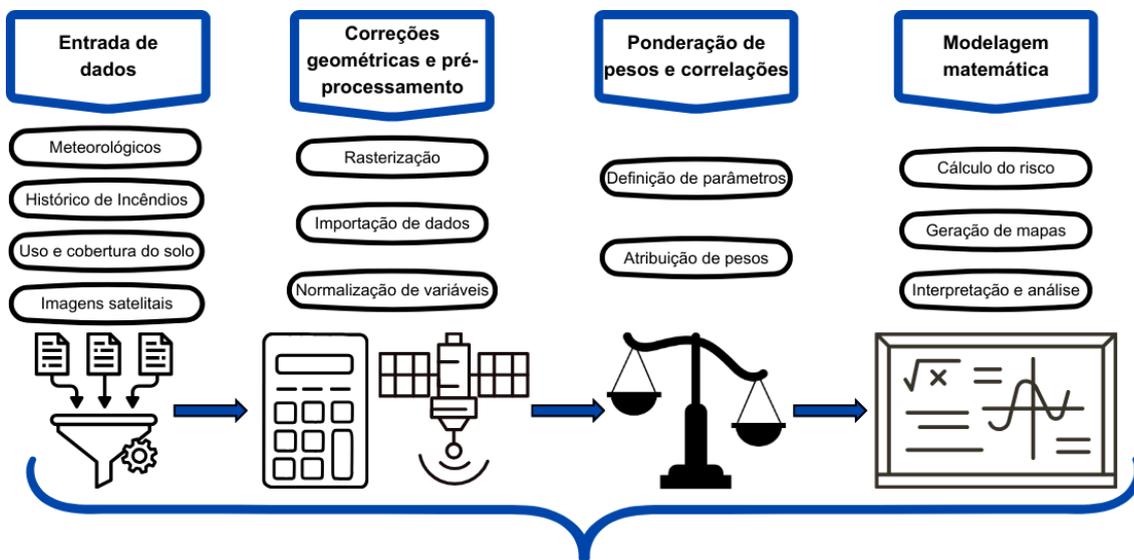
O QGIS foi utilizado para manipular e combinar dados espaciais e assim construir um modelo de risco espacial. O modelo combina variáveis para identificar as áreas com maior risco de incêndio. Para a construção do modelo foram utilizadas ferramentas dentro do SIG, como:

- dissolução: combinação de camadas e mescla de feições;
- vetorização: conversão de informações geográficas em dados vetoriais;
- rasterização: conversão de vetores em imagem matricial;
- calculadora raster: realiza cálculos entre camadas raster;
- recorte de camada: extrai trechos específicos poligonais de uma camada;
- edição de tabela de atributos: alteração de informações sobre as feições de uma camada.

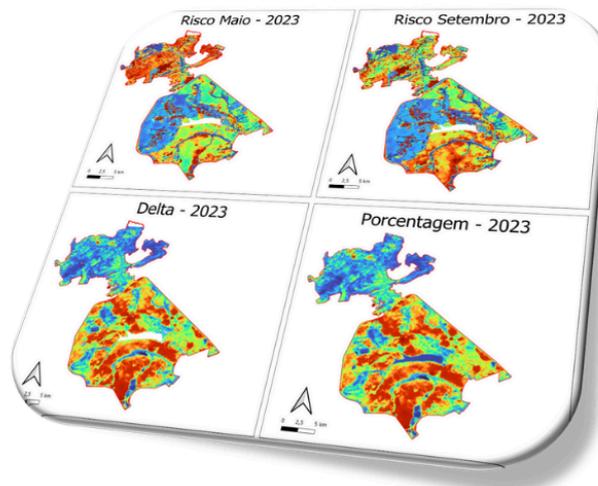
Foram empregadas técnicas de geoestatística, como a análise de dependência espacial, para calcular a suscetibilidade de incêndios em diferentes áreas, ajustando o modelo para maior precisão. Também foram definidas hierarquias de importância entre as variáveis, atribuindo a elas pesos específicos seguindo a metodologia do Processo Analítico de Hierarquização (AHP).

Para a validação dos modelos de risco, foi utilizada uma amostra aleatória de 3 anos consecutivos (2022, 2023 e 2024) de dados de umidade, temperatura, uso e cobertura do solo e área queimada de 100% do PNB que está dentro do DF. A ínfima porção do parque que fica no município de Padre Bernardo - Goiás, não foi analisada por estar fora do DF. Devido ao tempo disponível para produção deste trabalho, foram analisados os 3 anos mais recentes, sem escolha intencional motivada de períodos específicos.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia



Modelos de Suscetibilidade

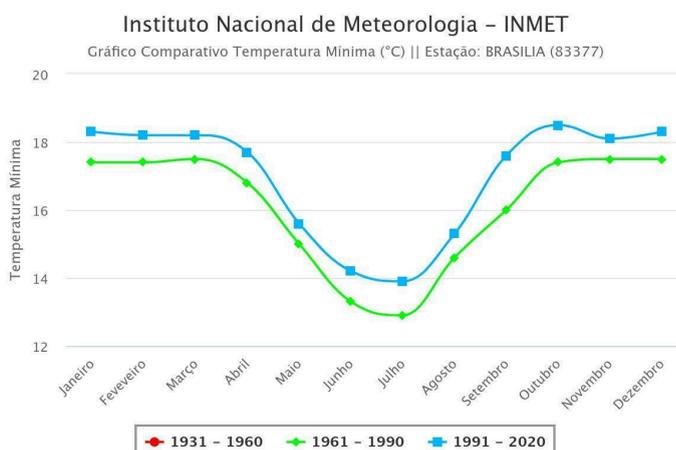


Fonte: O autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

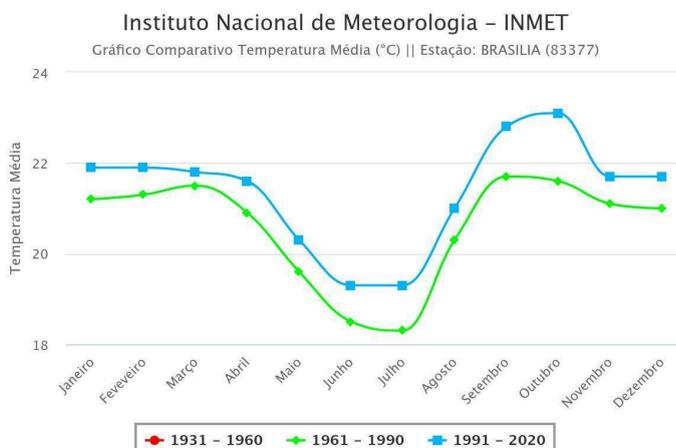
Conforme explicado na revisão de literatura deste trabalho, as condições meteorológicas são fatores de fundamental importância na dinâmica dos incêndios florestais. Verificou-se que, historicamente no DF, a umidade relativa e a temperatura do ar têm sofrido modificações favoráveis à ocorrência de incêndios florestais. Comparando-se os períodos de 1961 a 1990 e 1991 a 2000, percebe-se um aumento na temperatura (mínima, média e máxima) e diminuição da umidade relativa do ar e também das chuvas, principalmente nos meses de seca, como apontam os gráficos do INMET a seguir.

Gráfico 5 - Temperatura mínima mensal ao longo dos anos no DF

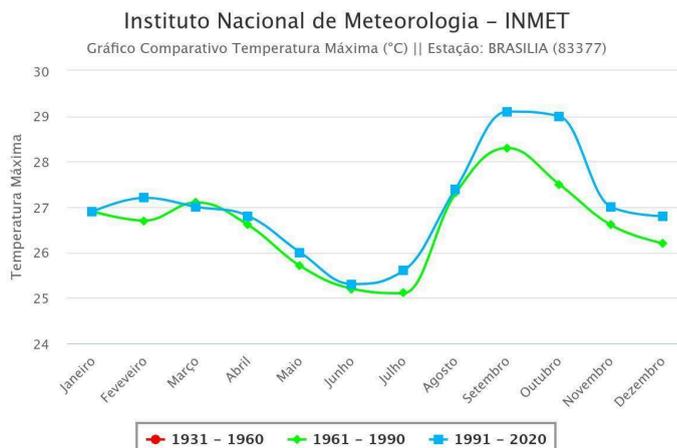


Fonte: INMET

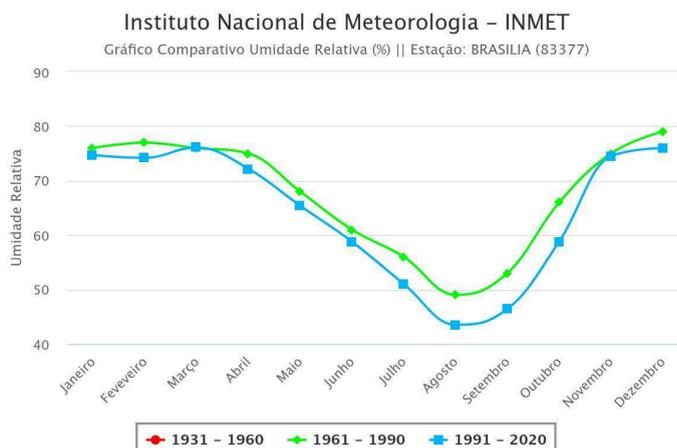
Gráfico 6 - Temperatura média mensal ao longo dos anos no DF



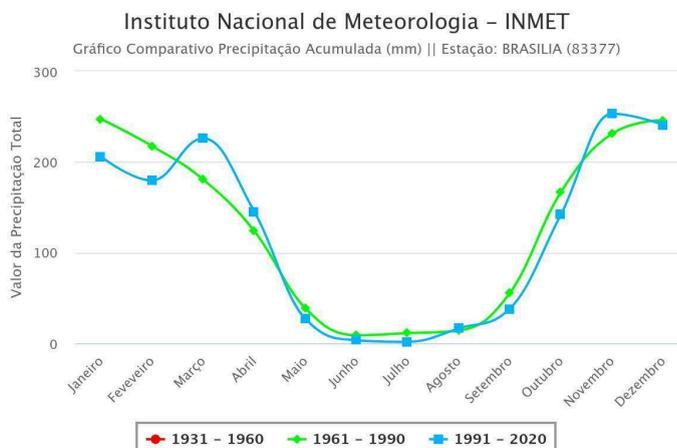
Fonte: INMET

Gráfico 7 - Temperatura máxima mensal ao longo dos anos no DF

Fonte: INMET

Gráfico 8 - Umidade relativa mensal ao longo dos anos no DF

Fonte: INMET

Gráfico 9 - Pluviosidade mensal ao longo dos anos no DF

Fonte: INMET

Além da temperatura e umidade relativa, verificou-se que a disponibilidade de material combustível também influencia na dinâmica dos incêndios florestais. Isso se traduz pela quantidade de vegetação disponível, o que depende da última passagem do fogo (seja uma queima controlada ou incêndio florestal) no local.

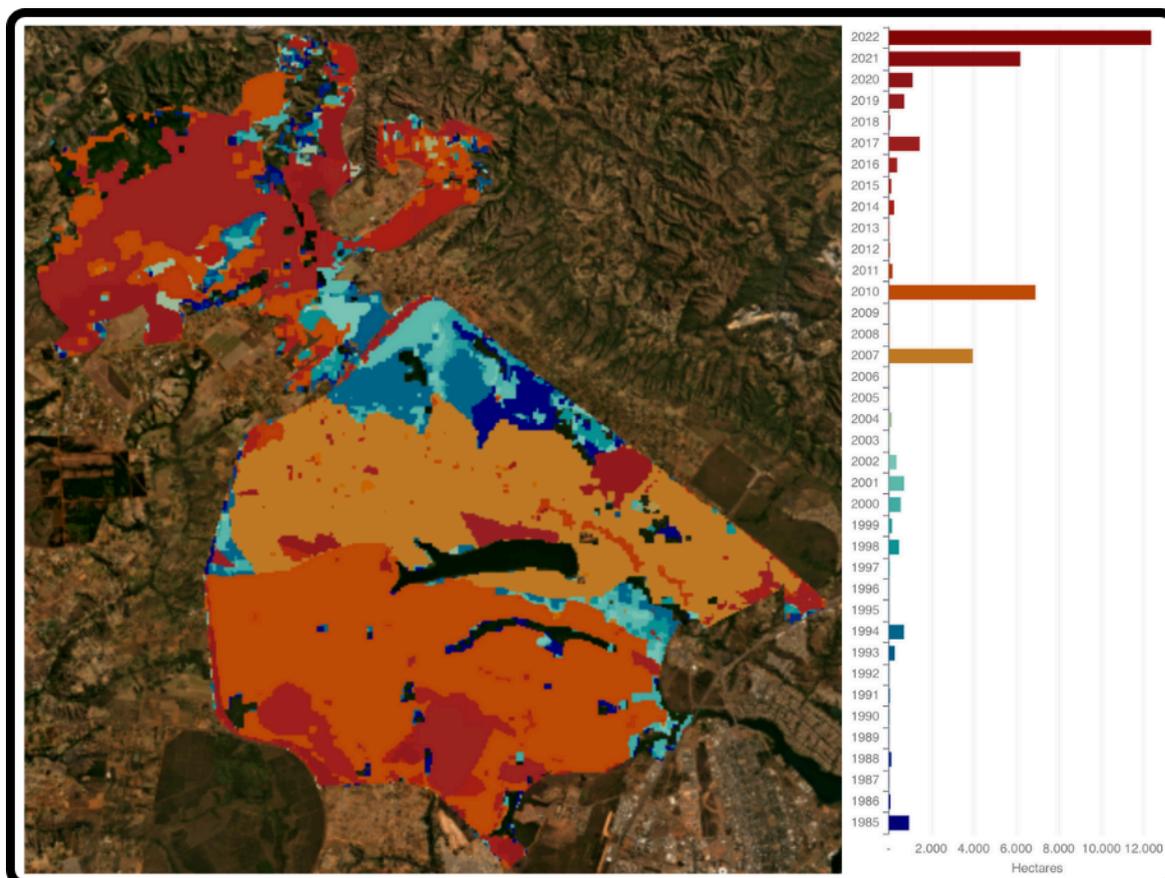
Neves (2017) realizou uma análise de suscetibilidade a incêndios florestais em Ribeirão Preto (SP), utilizando geoprocessamento, com dados de satélites *Landsat* e *Sentinel* para desenvolver mapas integrando direção do vento, topografia e dois índices de vegetação: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Classes de uso e ocupação do solo foram modeladas e ponderadas, incluindo categorias como áreas nativas, pastagens e urbanização.

Resultados desse estudo demonstraram maior risco no período de estiagem e, com mapas, reduziram o nível de suscetibilidade em áreas críticas. Esse trabalho destacou a importância da integração de variáveis ambientais locais para identificar padrões de risco de incêndios.

Outro trabalho relevante sobre o tema foi o desenvolvido por Alves (2012), no Concelho de Amarante (Portugal), que aplicou regressão logística para analisar a suscetibilidade a incêndios florestais, utilizando 400 pontos de incêndios entre 2009 e 2011. O estudo integrou histórico de queimadas, declividade e ocupação do solo. O modelo resultante apresentou uma taxa de sucesso de 89,36% e de previsão de 73,78%. As classes mais suscetíveis, que representaram 30,43% da área comprovada, foram capazes de prever 66% das áreas queimadas, evidenciando a confiabilidade do modelo.

Alves (2012) demonstrou que a integração de fatores históricos e ambientais é eficaz na identificação de áreas críticas. Os mapas gerados delimitaram regiões prioritárias para ações de prevenção e manejo. Analisando o fator histórico, com dados de 2023 do PNB disponíveis no MapBiomias, tem-se a última passagem do fogo nas áreas do parque conforme mostra a imagem a seguir, legendada por um gráfico que relaciona cores à área queimada em cada ano analisado.

Figura 2 - Ano do último fogo no PNB (entre 1985 e 2022)



Fonte: MapBiomias

Os tons de vermelho mostram as queimadas mais recentes, passando por tons de laranja e amarelo, até chegar no verde e no azul para queimadas mais antigas. Há grandes áreas queimadas em 2022 em tom avermelhado escuro, enquanto há áreas em verde que foram queimadas nos anos 90 e início dos anos 2000. Em azul, áreas sem fogo desde a década de 80.

Infere-se que uma área queimada há mais tempo tem vegetação mais desenvolvida (maior disponibilidade de material combustível) do que outra queimada recentemente, pois teve mais tempo para se regenerar e se recompor. Um incêndio nesses locais pode causar grande dano, principalmente se aliado a fatores como altas temperaturas e baixa umidade.

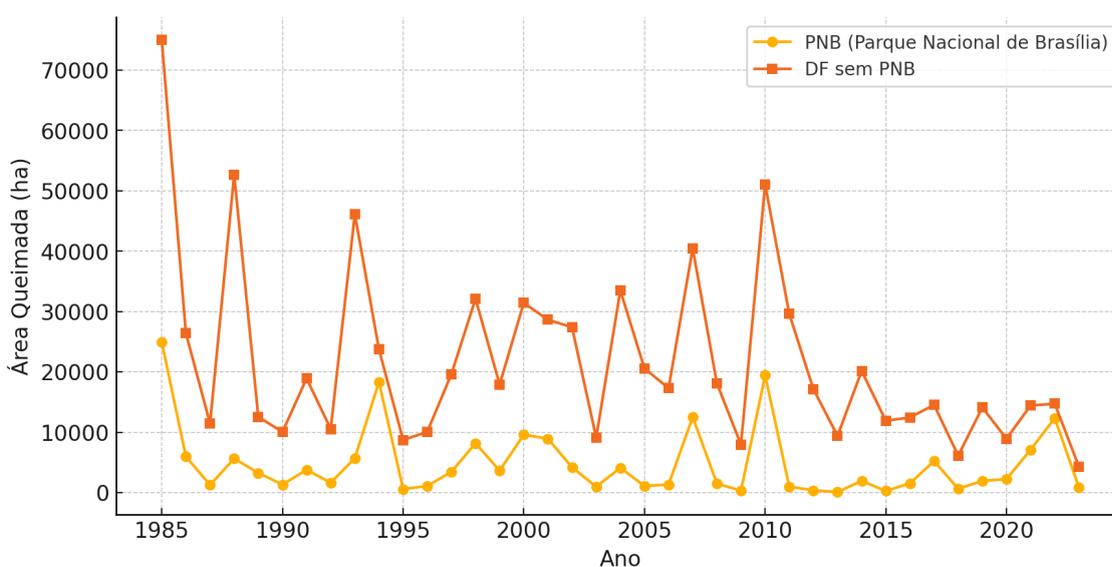
Quando uma área queima por anos consecutivos, as queimas ficam mais brandas a cada ano. Quando há pelo menos um período de seca sem fogo, na

próxima queimada, é esperado que haja labaredas mais altas e um incêndio de combate mais difícil do que se o local tivesse sido queimado no ano anterior. O fogo do último período de seca influencia no desenvolvimento de um próximo incêndio.

Após coleta de dados, e analisando o histórico de incêndios no PNB e no DF, encontrou-se similaridades entre o PNB e o restante do DF, indicando que os fatores climáticos (iguais, dentro e fora do parque) influenciam diretamente nos incêndios. Ademais, também foi possível perceber que, por ser uma unidade de conservação de proteção integral, o PNB, no quesito uso e cobertura do solo, leva vantagem em relação a outras áreas de Cerrado no DF. Fora dos limites do parque, a atividade humana é mais intensa e as ações de prevenção mais incipientes, de forma geral.

O gráfico 10, a seguir, mostra a área queimada por ano, de 1985 a 2023, no PNB (em amarelo) e no DF (em laranja). Há semelhanças, não na extensão da área queimada, mas sim no comportamento das linhas ao longo do tempo. Sempre que há aumento em relação ao ano anterior no DF, o mesmo ocorre no PNB, evidenciando que o fator climático, comum a todo o DF, tem grande importância neste estudo. O inverso nem sempre ocorre, há anos em que o PNB queima mais que no ano anterior e o DF segue o movimento de queda ou, pelo menos, não tem um aumento tão expressivo. Isso indica que o que ocorre no PNB não necessariamente dita o que ocorrerá no restante do DF.

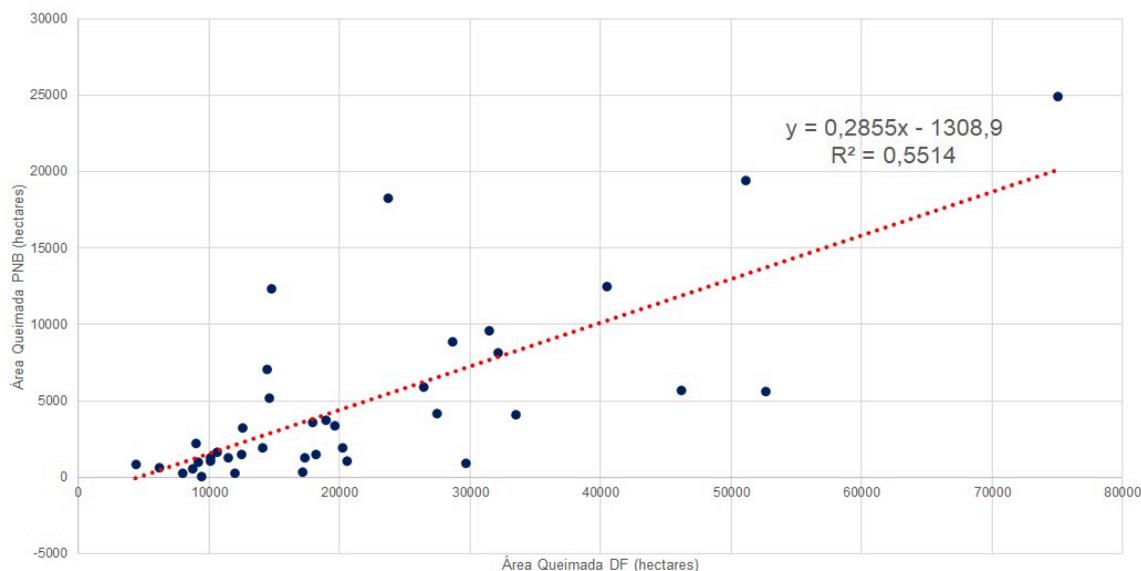
Gráfico 10 - Cicatrizes de incêndio no DF e no PNB ao longo dos anos



Fonte: O autor

Entende-se que olhar o PNB isoladamente do DF é uma medida de prevenção positiva, especialmente no sentido de que o parque tem suas especificidades e necessidades. O que, de fato, há em comum entre o parque e o restante do DF é o fator climático. O gráfico 11, por meio da dispersão, correlaciona as cicatrizes de áreas queimadas no PNB às do restante do DF.

Gráfico 11 - Correlação entre cicatrizes de incêndio no DF e no PNB



Fonte: O autor

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida estatística linear que testa hipóteses e mostra, percentualmente, a relação entre duas variáveis (Quinino; Reis; Bessegato 1991). Há relação moderada (55%) entre os incêndios no DF e no PNB. Ou seja, há muitos incêndios no DF não diretamente relacionados às queimadas no PNB. Isso pode ser explicado por diferenças no uso e cobertura do solo, intensa atividade humana fora do parque, barreiras naturais e ações de prevenção.

O uso e cobertura do solo é um fator importante. No PNB, o uso agrícola ou de urbanização não é significativo, portanto as fitofisionomias de Cerrado presentes no parque foram agrupadas em quatro grupos: campos (formação campestre), cerrado (formação savânica), matas de galeria (formação florestal) e áreas incombustíveis (solo exposto, cursos d'água e área construída).

Os campos são compostos predominantemente por espécies gramíneas, que retêm pouca água em suas folhas e têm grande superfície de contato com o ar,

considerando seu volume total. São características que favorecem a ignição e propagação do fogo, quando comparadas às características das formações savânicas e florestais. Estas contêm maior umidade e material orgânico mais adensado, com maior grau de compactação Gaspar (2016).

Após análise do proposto por Alves (2012), Gaspar (2016), Neves (2017) e Pinto (2021), as variáveis selecionadas para a construção do modelo proposto neste trabalho foram temperatura, umidade relativa do ar, uso e cobertura do solo (tipo de vegetação) e a presença/ausência de fogo no período de seca anterior. Elas foram elencadas em ordem de prioridade, seguindo os procedimentos da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Domiciano (2024) utilizou a metodologia AHP para analisar, de forma precisa e personalizada, as particularidades da região do Médio Paraíba do Sul. A autora analisou a hierarquia entre variáveis, para elaborar o mapa de perigos de incêndios da região. Ela considera que esse processo oferece flexibilidade para auxiliar na tomada de decisões complexas, atribuindo aos problemas graus de importância.

Essa metodologia consiste em decompor um problema complexo em uma hierarquia de critérios e analisar sistematicamente as alternativas e os critérios, atribuindo pesos e, assim, calculando prioridades (Domiciano, 2024). O objetivo é determinar a solução mais adequada para cada situação.

Neste trabalho, os pesos de cada variável foram definidos seguindo a AHP, conforme Goepel (2018) e ficaram assim atribuídos: temperatura - 0,2, umidade - 0,3, uso e cobertura do solo - 0,5 (ver Apêndice A). À presença ou ausência do fogo no período de seca anterior foram atribuídos os valores de 1 e 0, respectivamente. A fórmula desenvolvida para o cálculo do risco de incêndio ficou da seguinte maneira:

$$Risco = ((Nt \times 0,2) + (Puc \times 0,5) + ((1 - Ur) \times 0,3)) - (Faa \times 0,11)$$

Onde:

- Nt = Valor normalizado (de 0 a 1) da temperatura em °C
- Puc = Valor padronizado (0, 0,3, 0,7 e 1) do uso e cobertura do solo
- Ur = Valor da umidade relativa (%)
- Faa = Presença de incêndio no ano anterior (1 - presente, 0 - ausente)

As variáveis de temperatura e umidade relativa do ar foram normalizadas, com valores de 0 a 1, considerando suas mínimas e máximas no DF, de acordo com dados dos satélites *Landsat* e do INMET. Para a temperatura, utilizou-se os dados da camada proveniente dos satélites *Landsat 8 e 9*. Para a umidade, o intervalo ficou entre 13% e 27% (mínima e máxima registradas no período em análise).

Quanto à variável uso e cobertura do solo, aos grupos definidos foram atribuídas pontuações, de acordo com a velocidade de propagação do fogo em cada tipo de vegetação: campos - 1, cerrado - 0,7, mata de galeria - 0,3 e áreas incombustíveis - 0. A presença do fogo no ano anterior é fator atenuante (subtraído na fórmula) para a ocorrência de incêndio no mesmo local, tendo o seu valor de 1 multiplicado por 0,11 (média de porcentagem de recorrência de incêndio em um mesmo local em anos consecutivos).

A fórmula apresentada poderá retornar um valor de 0 até 1. Quanto mais próximo de 1, maior o risco de incêndio e, quanto mais próximo de 0, menor. Ressalta-se a importância do fator F_{aa} , que pode amenizar o risco em caso de presença de fogo no ano anterior, mesmo que as condições climáticas estejam favoráveis a incêndios.

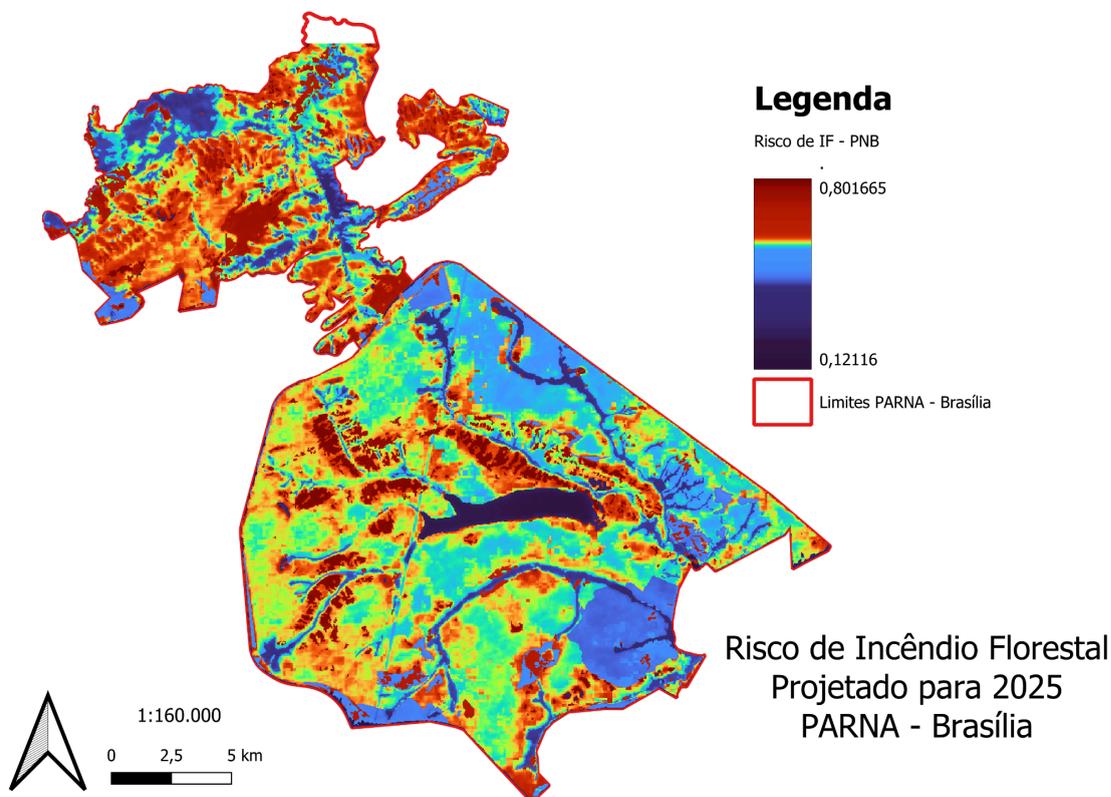
Considerando-se o cálculo elaborado com base no arcabouço teórico apresentado neste trabalho, e integrando-o com dados de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento, foi elaborado o mapa da figura 3. Trata-se de um modelo de identificação das áreas de risco de incêndios florestais no PNB (dentro dos limites do DF) para abril de 2025.

Um dos objetivos deste modelo é que ele possa ser utilizado para orientar as atividades de prevenção contra incêndios florestais no PNB no DF. Desta forma, apesar de o mapa ter sido elaborado com as condições climáticas atuais na data de confecção deste trabalho, ele pode ser projetado para meses futuros, considerando dados históricos, apresentados neste trabalho, de temperatura e umidade para o mês desejado.

O fator de uso e cobertura do solo normalmente é constante nas áreas internas do parque, pois não há mudança significativa em períodos curtos de tempo. O fator da presença de fogo em um período anterior deve sempre ser atualizado,

caso haja alguma cicatriz de queima ou informação sobre a passagem do fogo naquele local.

Figura 3 - Mapa de risco de incêndio no PNB em abril de 2025



Fonte: O autor

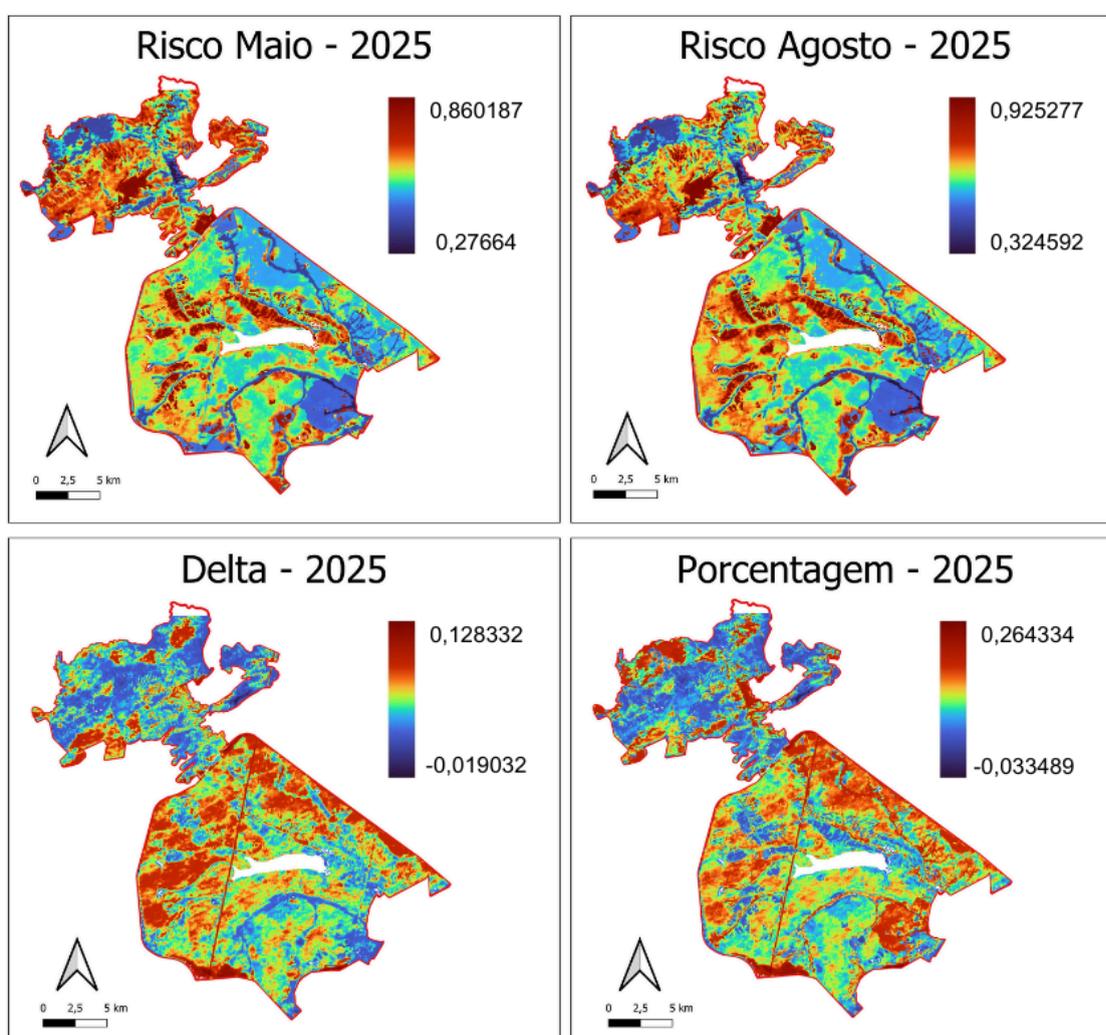
No mapa da figura 3, os tons de azul mais escuro indicam menor risco de incêndio, como pode-se observar na região queimada em setembro de 2024, visível em tom azulado e formato semelhante a um círculo, na parte inferior direita da figura. Isso evidencia a importância de se considerar a presença do fogo no período anterior e também sugere que trabalhar com fogo, mediante queimas prescritas e controladas, pode ser um fator de prevenção contra incêndios eficaz. Os tons de verde indicam risco intermediário e os de vermelho mais escuro indicam maior risco.

Utilizando os mesmos parâmetros, atualizando-se os valores de temperatura, umidade e presença de fogo no período anterior, um novo mapa pode ser gerado para acompanhar a evolução do risco periodicamente. Essa atualização pode se dar com periodicidade fixa estabelecida, por exemplo mensal, ou a cada mudança

percebida, como um grande aumento ou queda na temperatura ou até mesmo a ocorrência de algum incêndio.

Pensando no período de seca que se aproxima do ano corrente, foram elaborados mapas temáticos do risco de incêndio projetado para os meses de maio e agosto de 2025. Posteriormente, foi elaborado um terceiro mapa (Delta - 2025) da variação do risco, que aumentou, entre os meses de maio e agosto. Este evidencia a variação do risco no período, por meio da subtração dos valores obtidos. Ele apresenta a variação do risco, positiva ou negativa, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Mapas de risco projetado para 2025



Fonte: O autor

Um quarto mapa (Porcentagem - 2025) considerou a razão entre o risco em maio e agosto, resultando em um valor percentual de variação do risco demonstrado nos mesmos níveis de cores. Os valores negativos, que apareceram no Delta e na Porcentagem, dizem respeito a locais onde o risco diminuiu entre maio e agosto. A diminuição do risco em meio a intensificação do período de seca pode se dar por motivos como a presença de incêndio ou queima controlada entre as datas analisadas. Entretanto, os valores negativos não chegam a 4%, ou seja, seria uma diminuição possivelmente imperceptível.

O que se vê, de forma geral, é que o risco tende a aumentar entre maio e agosto, devido a intensificação do período da seca (menos chuvas, menor umidade e maiores temperaturas). Os mapas na Figura 4 deixam isso claro quando mostram áreas com tons amarelados e alaranjados se convertendo em tons avermelhados com o passar dos meses. Ademais, tanto os valores de risco mínimo quanto os de máximo aumentaram de maio para agosto. Mesmo havendo algumas poucas áreas onde o risco diminuiu, o valor mínimo em agosto continua sendo maior que o mínimo em maio.

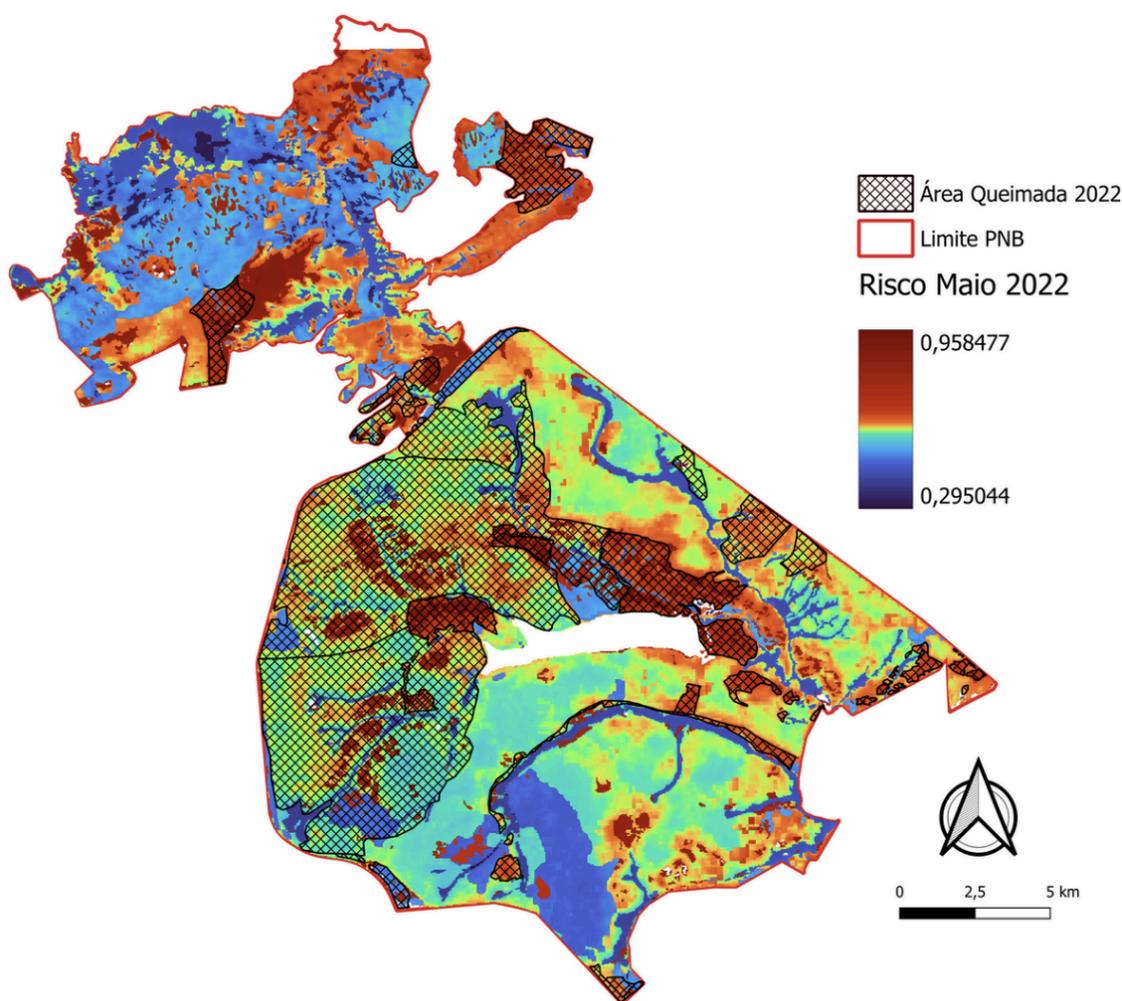
Os dados de temperatura e umidade relativa do ar utilizados para a elaboração desses modelos de risco projetado são fictícios pois trata-se de uma projeção para meses futuros. Foi considerado o histórico das condições climáticas dos meses em análise, conforme gráficos 6 e 8, que trazem valores médios de temperatura e umidade. O aumento da temperatura entre maio e agosto não é muito grande, porém pode contribuir para o aumento do risco de incêndio. Apesar da similaridade na pluviosidade dos dois meses, a umidade cai substancialmente, de maio para agosto, sendo o fator de maior relevância para o aumento do risco explicitado nos mapas.

Com o objetivo de avaliar os modelos de risco projetado para 2025 e verificar a consistência das variáveis espaciais utilizadas para projeção de incêndios futuros no PNB, foram analisados dados dos três anos anteriores. Tomou-se a amostra dos 3 anos anteriores (2022, 2023 e 2024) e aplicou-se a fórmula produzida no mês de maio (início do período de seca) e em um mês mais ao final do período da seca (agosto ou setembro, devido à disponibilidade de dados de cada ano) e,

posteriormente, foram elaborados os mapas de variação do risco, em valores absolutos e percentuais, como foi feito para 2025.

Os mapas gerados para o mês de maio dos anos anteriores foram comparados às áreas que efetivamente foram queimadas naquele mesmo ano. No ano de 2022, por exemplo, observou-se que grande parte das áreas com alto risco projetado no mês de maio (tons de vermelho) foi queimada ao longo do mesmo ano (área hachurada), conforme demonstra a Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Risco em maio 2022 vs. área queimada em 2022



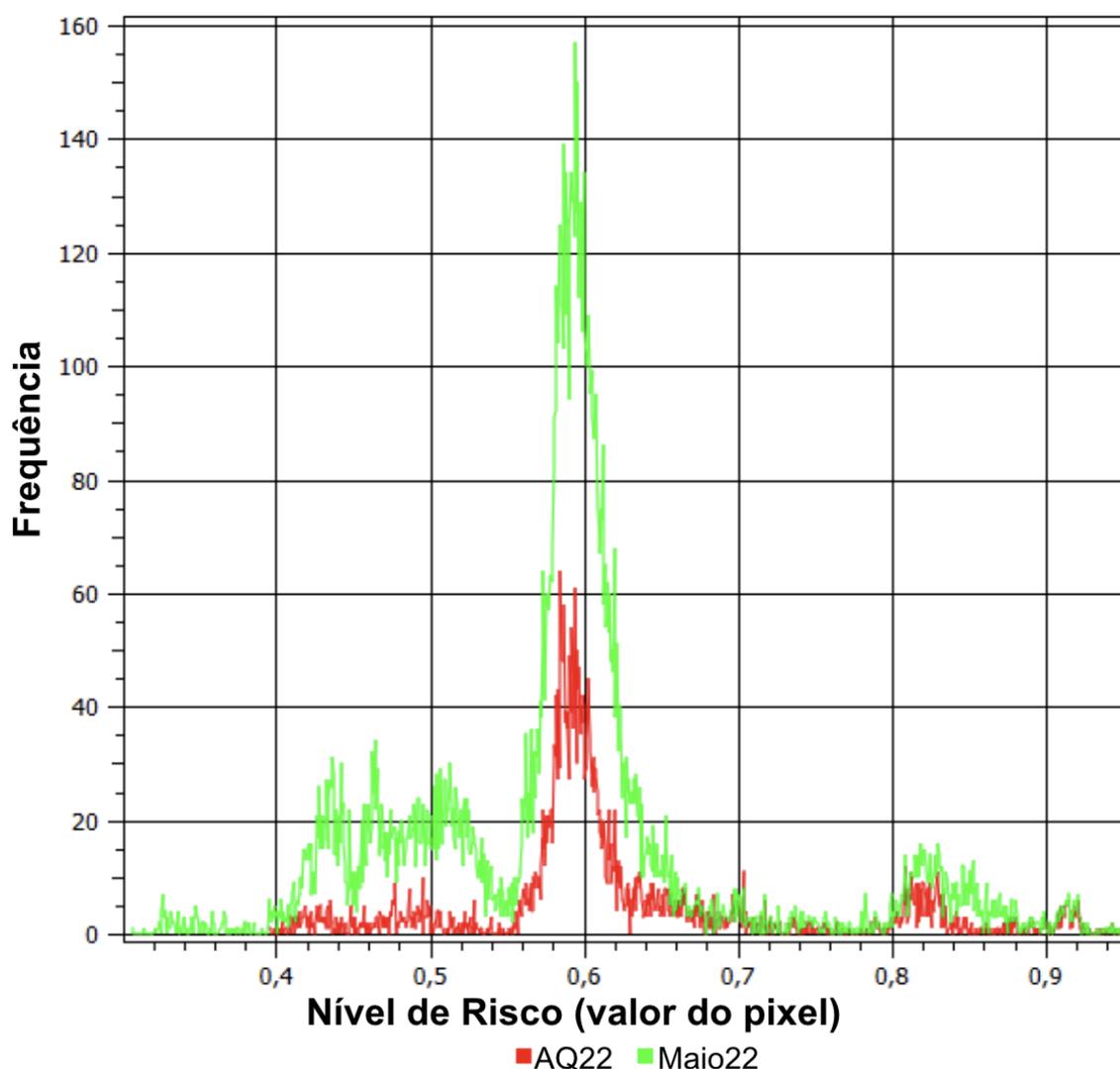
Fonte: O autor

Apesar de algumas áreas consideradas de risco mais baixo terem sido queimadas, é possível perceber que a queima dessas áreas está sempre ligada a uma área de alto risco que também foi queimada. Isso denota que uma área de alto

risco também representa um perigo para as áreas a ela adjacentes, mesmo que estas sejam consideradas de baixo risco. Não foram encontradas cicatrizes de queimadas compostas 100% por áreas de baixo risco. Isso foi percebido nos 3 anos analisados da mesma forma.

Buscando entender a relação entre o risco projetado nas diversas áreas do parque com a área que foi efetivamente queimada em 2022, elaborou-se um histograma da frequência de cada nível de risco, considerando toda a área do parque e também apenas a área queimada no ano. Percebeu-se que a distribuição dos *pixels* na área queimada segue um padrão similar à do total do parque, tendo seus picos de frequência semelhantes, conforme gráfico 12.

Gráfico 12 - Risco no PNB em maio de 2022 e área queimada em 2022



Fonte: O autor

No gráfico 12, a linha verde mostra a frequência com que cada valor de risco atribuído a cada *pixel* aparece em toda a área do parque em maio de 2022. A linha vermelha considera apenas a cicatriz de área queimada no ano. Nota-se que grande parte do parque foi classificada como tendo seu risco em torno de 0,6 (maior pico), com picos menores nos intervalos de 0,4-0,5 e 0,8-0,9.

É interessante observar que as linhas vermelha e verde se aproximam mais nos valores de maior risco do que em outras partes do gráfico. Isso confirma que a proporção de áreas classificadas como de alto risco que foram de fato queimadas é maior do que a das áreas de menor risco que foram queimadas. Essa confirmação valida a possibilidade de utilização desses modelos de risco projetado para subsidiar o planejamento de prevenção por parte dos órgãos responsáveis.

Este trabalho não fez distinção entre áreas queimadas preventivamente ou por incêndios de fato, analisando somente as cicatrizes de queima. A análise dos anos de 2023 e 2024 resultou nas mesmas conclusões de 2022, que foi escolhido para figurar no corpo deste texto por ser o ano com maior área queimada dentre os analisados. Os mapas e gráficos produzidos para os anos de 2023 e 2024 constam nos apêndices B e C deste trabalho.

Para validar o modelo de risco projetado proposto neste trabalho, comparou-se os modelos produzidos aos dados de área queimada de cada ano. Foi possível perceber que, na grande maioria dos casos, existe semelhança entre os locais apontados como de maior risco e os locais que de fato foram queimados no ano analisado. Os modelos de cada ano também foram comparados com os dados de área queimada do ano anterior, o que confirmou que a passagem do fogo em determinado local no ano anterior é um fator atenuante ao risco de incêndio. Isso sugere que a identificação das regiões acometidas por incêndios florestais no PNB no passado pode subsidiar a tomada de decisão dos órgãos de resposta e prevenção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabendo da importância do bioma Cerrado, de sua relação com o fogo e da tendência de aumento da degradação, verificou-se a necessidade de se identificar áreas mais suscetíveis aos incêndios florestais no PNB, de forma a auxiliar na tomada de decisão, seja na prevenção ou no combate. Para isso, foram utilizadas ferramentas de GEOINT, combinando dados meteorológicos e geoespaciais com histórico de incêndios, por meio de imagens satelitais e técnicas de processamento de imagens.

Por meio das imagens produzidas, foi possível identificar as áreas mais suscetíveis a incêndios florestais no PNB nos períodos analisados, propondo modelos de identificação de áreas de risco de incêndios florestais. Elaborados por meio de técnicas de geoprocessamento e modelagem espacial, os modelos indicam que as variáveis espaciais podem ajudar a antever incêndios no PNB.

As variáveis espaciais utilizadas consideraram os padrões espaciais existentes no parque. Esses padrões, com suas características geofísicas e fitofisionômicas, podem influenciar no desenvolvimento de incêndios florestais e contribuem para a identificação das regiões mais suscetíveis a eles.

Verificou-se que a diferença entre temperatura e umidade de um mês do final e outro do início do período de seca são fatores importantes a serem considerados. A mudança de temperatura não é substancial, porém pode ser uma condição agravante na determinação do risco de incêndio. A umidade nos períodos analisados tende a cair drasticamente, demonstrando ser um dos fatores mais relevantes quando se constrói um modelo de risco de incêndio.

O uso e cobertura do solo se mostrou um quesito importante na determinação do risco de incêndio no PNB, pois a propagação do fogo também depende do tipo de vegetação. Quanto mais adensada e úmida a vegetação, menor a velocidade de propagação do incêndio. Vegetações mais secas e com menor grau de compactação propiciam maior velocidade de propagação. A atividade humana dentro do PNB não se mostrou relevante o suficiente para alterar as condições de uso e cobertura do solo, sendo o tipo de vegetação a variável a ser analisada nesse quesito.

Além das condições meteorológicas e fitofisionômicas do parque, outra variável que influencia diretamente o risco de incêndio é a presença de fogo recente no local. Percebeu-se que, em locais onde o fogo havia passado em um período de seca anterior, o risco era menor do que naqueles onde o fogo não passava há mais tempo. Devido a esse efeito preventivo do fogo é que se fazem as queimas controladas, a fim de se evitar incêndios florestais.

Foi observado que as cicatrizes de área queimada disponíveis nos bancos consultados não fazem nenhuma distinção entre queimas prescritas/controladas e incêndios florestais. Para uma análise mais profunda e precisa, sugere-se o aprimoramento deste modelo, fazendo essa distinção, com base em dados dos órgãos que realizam queimas controladas.

Nos modelos propostos dos anos anteriores, seria necessário fazer uma análise minuciosa, com a diferenciação sugerida, para se entender se as áreas de alto risco queimaram devido a incêndios ou queimadas preventivas. Essa análise traria maior precisão aos modelos e à validação dos dados, porém demandaria mais tempo do que o disponível para a confecção deste trabalho.

Validando os dados analisados, verificou-se a importância de se integrar variáveis ambientais com dados históricos para identificar padrões de risco de incêndios. A integração de informações de GEOINT pode aumentar a eficiência do emprego dos combatentes nos incêndios florestais no período de seca.

O modelo proposto para maio de 2025 é georreferenciado e permite ao usuário a navegação, auxiliando na definição da estratégia em um incêndio ou instalação do Sistema de Comando de Incidentes (SCI). Ele identifica as áreas mais suscetíveis a incêndios florestais no PNB e pode subsidiar as ações de manejo integrado do fogo em junho de 2025, por exemplo.

Considerando a imperfeição deste produto, sugere-se a validação do modelo também por meio de cálculos estatísticos, ao final de 2025. Com o aprimoramento do modelo, poder-se-á obter dados com a periodicidade desejada e um provável índice de confiabilidade alto. Para tanto, também sugere-se que sejam testados modelos de pelo menos 10 anos anteriores para melhor confiabilidade de validação.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Renata et al. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros–GO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, 2015.

ALVES, Pedro Miguel Castro. **Probabilidade de ignição e suscetibilidade de incêndios florestais**. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto ABNT NBR 17190: Plano de proteção contra incêndios florestais**. Rio de Janeiro, 2024.

BRASIL. **Decreto no 31.817, de 21 de junho de 2010**. Regulamenta o inciso II, do artigo 10-B, da Lei no 8.255, de 20 de novembro de 1991, que dispõe sobre a Organização Básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/63268/Decreto_31817_21_06_2010.html. Acesso em: 22 nov. 2024.

BRASIL. **Institucional INPE, 2025**. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 15 fev. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.883, de 07 de dezembro de 1999**. Institui o Sistema Brasileiro de Inteligência, cria a Agência Brasileira de Inteligência - ABIN, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 08 dez. 1999. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9883.htm. Acesso em: 22 nov. 2024.

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). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm. Acesso em: 22 nov. 2024.

BRASIL. ICMBIO. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília (PNB)**. Plano de Manejo revisado em Brasília em 2023.

Disponível em:

https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-de-brasilia/arquivos/minuta_plano_manejo_pnb_v8_final.pdf. Acesso em: 22 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Justiça. Secretaria Nacional de Segurança Pública. **Doutrina Nacional de Inteligência de Segurança Pública - DNISP**. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Segurança Pública, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Missão, visão e valores do Corpo de Bombeiros**. Brasília, 2023. Disponível em:

<https://www.cbm.df.gov.br/missao-visao-e-valores-do-corpo-de-bombeiros/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

DISTRITO FEDERAL. Atlas do Distrito Federal 2020. **Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN)**. Disponível em:

<https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Cap%C3%ADtulo-2.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

DOMICIANO, Simone Moreira Rodrigues. **Classificação de perigo de incêndios na bacia hidrográfica do Médio Paraíba do Sul: combinação da metodologia AHP e o SIG**. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) - Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

EMBRAPA. **Sistema de Alerta de Risco de Incêndio para o Pantanal - SARIPAN, 2022**. Disponível em: <https://www.cnpaf.embrapa.br/saripan/metodos.html>. Acesso em: 15 fev. 2025.

ENRIGHT, Neal J. *et al.* Interval squeeze: altered fire regimes and demographic responses interact to threaten woody species persistence as climate changes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 5, p. 265-272, 2015.

FAO. **Global Forest Fire Assessment 1990-2000**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 2001.

FIDELIS, Alessandra; PIVELLO, Vânia Regina. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. **Biodiversidade brasileira**, v. 1, n. 2, p. 12-25, 2011.

FONSECA, M. G., ALVES, L. M., AGUIAR, A. P. D., ARAI, E., ANDERSON, L. O., ROSAN, *et al.* Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. **Global change biology**, v. 25, n. 9, p. 2931-2946, 2019

GASPAR, Filipe Ricardo. **Estudo da propagação de um incêndio florestal num duplo desfiladeiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra (Portugal), 2016.

GEOPORTAL. **Área queimada - 2024**. Disponível em: <https://www.ide.df.gov.br/geoportal/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

GOEPEL, K.D. **Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS)**. International Journal of the Analytic Hierarchy Process, Vol. 10 Issue 3, p. 469-487, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>. Acesso em: 27 mai. 2025

GOOGLE. **Google Earth Engine, 2025**. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: 30 mar. 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama: resultados do Censo Demográfico 2022**. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados históricos anuais, 2025**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 10 abr. 2025.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlim: Walter de Gruyter, 1931.

MAPBIOMAS. **Plataforma de monitoramento do fogo, 2024**. Disponível em: <https://fogo.mapbiomas.org/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

NASA. **About | Landsat Science, 2025**. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/>. Acesso em: 15 fev. 2025

NASA. **NASA LANCE FIRMS, 2025**. Disponível em: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@0.0,0.0,3.0z>. Acesso em: 15 fev. 2025

NATIONAL RESEARCH COUNCIL *et al.* **Priorities for GEOINT research at the National geospatial-intelligence agency**. National Academies Press, 2006.

NEVES, Luiza de Lima. **Análise da suscetibilidade a incêndios por meio de geoprocessamento: um estudo no município de Ribeirão Preto, SP**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de São Carlos: São Carlos, 2017.

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

PINTO, João Henrique Corrêa. **Sensoriamento remoto aplicado à investigação de incêndio florestal**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2021.

PINTO, J.H.C.; ROCHA, G.C.D; SILVA, J.F.R.D. **Análise da recorrência dos impactos causados por fogo no Distrito Federal**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Incêndios Florestais) - Universidade Federal do Goiás, 2024.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

QUININO, Roberto C.; REIS, Edna A.; BESSEGATO, Lupércio F. **O coeficiente de determinação R² como instrumento didático para avaliar a utilidade de um modelo de regressão linear múltipla**. Belo Horizonte: UFMG, 1991.

RAMOS NETO, Mario Barroso; PIVELLO, Vânia Regina. **O Parque Nacional das Emas (GO) e o fogo: implicações para a conservação biológica**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2000.

RIBEIRO, J.F., WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M. & S.P. de Almeida. (eds.) **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. p. 98-166.

SIMON, Marcelo F. *et al.* Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, p. 20359-20364, 2009.

SOARES, Ronaldo Viana; SANTOS, Juliana Ferreira. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Floresta, Curitiba**, v. 32, n. 2, p. 219-225, 2002.

UNIÃO EUROPEIA. **About Copernicus, 2025**. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>. Acesso em: 15 fev. 2025.

APÊNDICE A - TABELAS AHP

Figura A-1 - Comparação de variáveis, quanto a sua importância relativa, seguindo a metodologia AHP

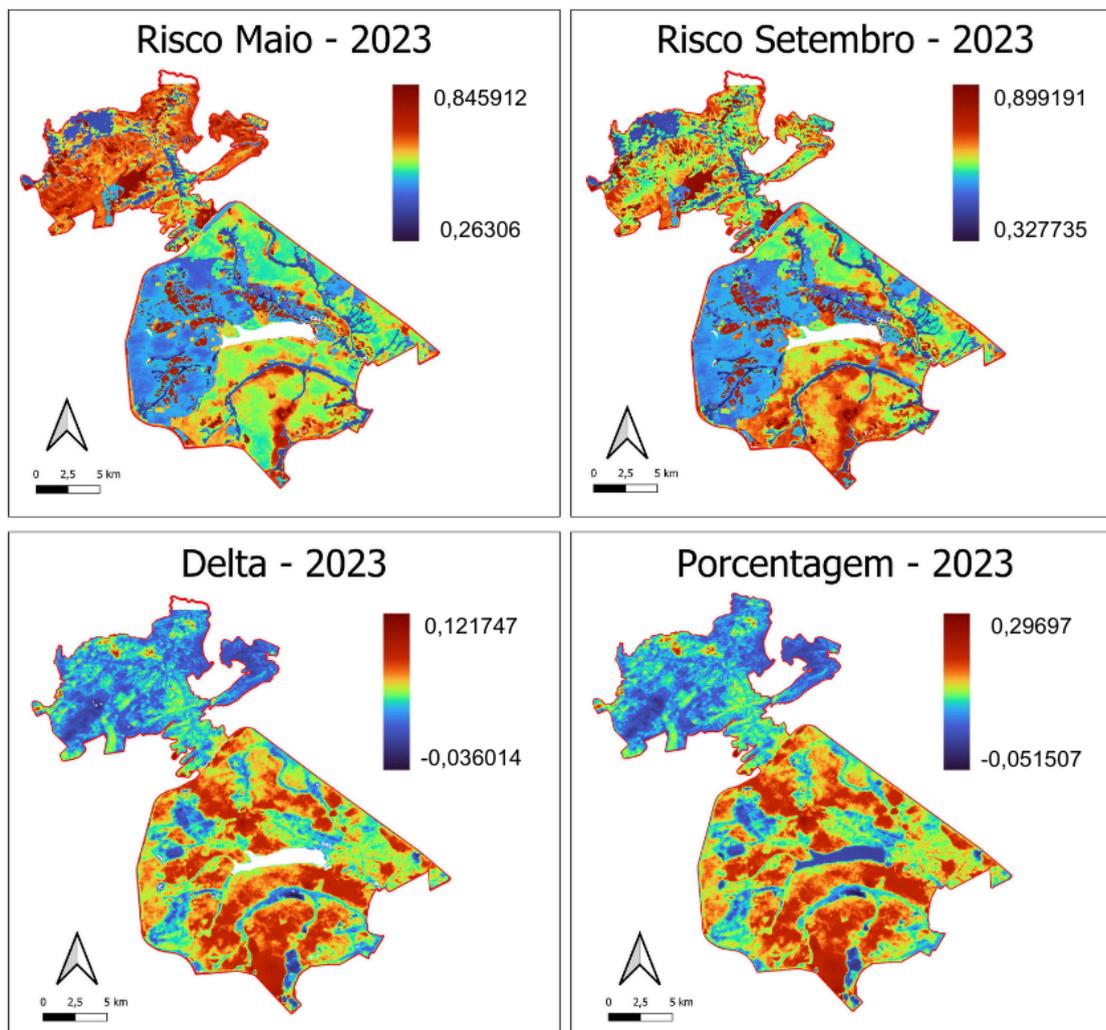
A - wrt AHP priorities - or B?		Igual	Quanto mais?
1	<input checked="" type="radio"/> Uso e Cobertura <input type="radio"/> Umidade	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Uso e Cobertura <input type="radio"/> Temperatura	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Umidade <input type="radio"/> Temperatura	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9

Tabela A-1 - Resultados Ponderados pelos critérios escolhidos

Cat	Prioridade	Rank	(+)	(-)
1	Uso e Cobertura	1	5.2%	5.2%
2	Umidade	2	2.8%	2.8%
3	Temperatura	3	1.6%	1.6%

APÊNDICE B - ANÁLISE 2023

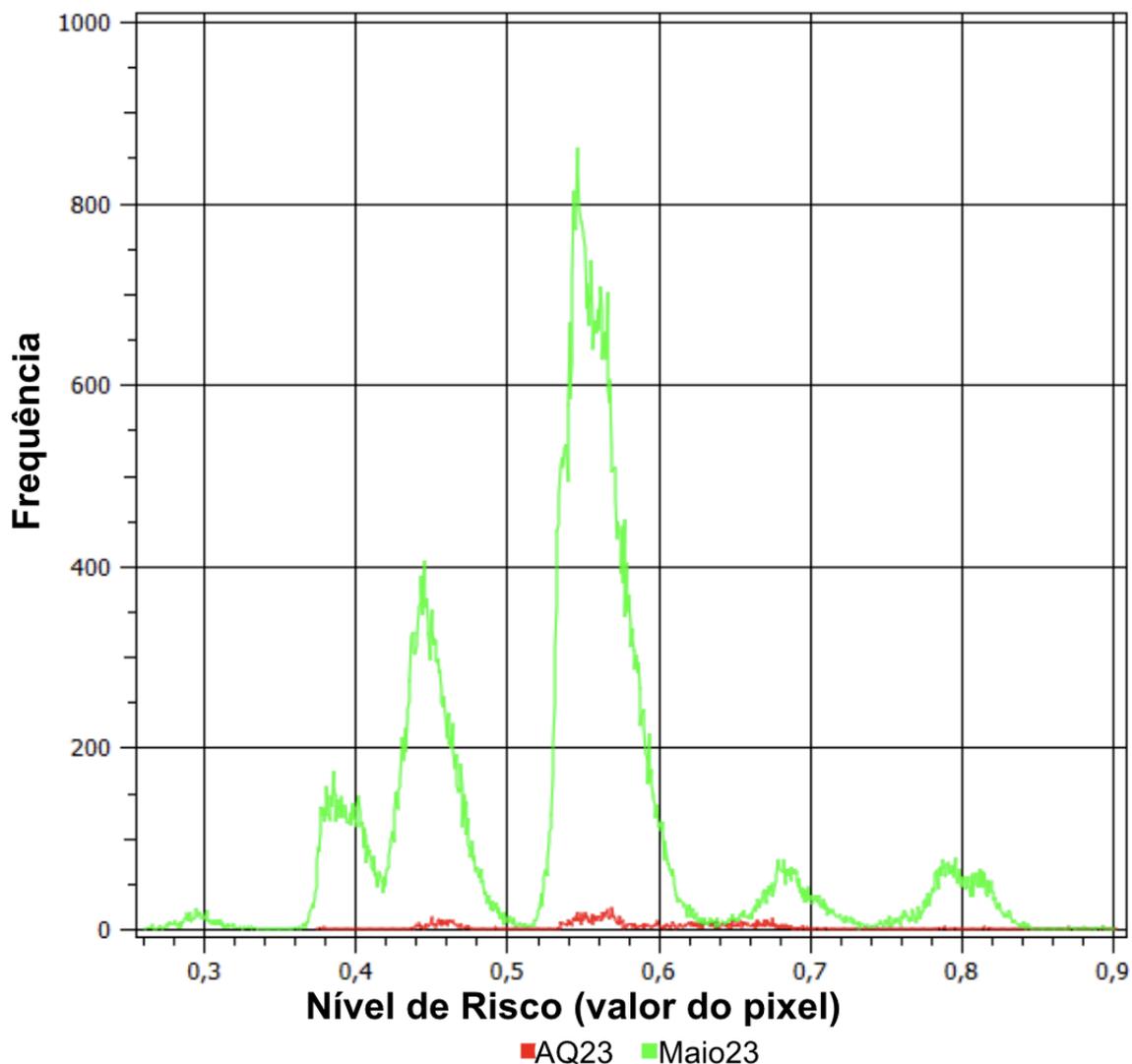
Figura B-1 - Mapas de risco projetado para 2023



Fonte: O autor

Observações destacadas:

- Grande área queimada em 2022 apresentou menor risco e, de fato, não queimou em 2023;
- Área que apresentou o maior aumento do risco em 2023 acabou sendo queimada em 2024 em um incêndio importante. O grande aumento do risco em 2023 sinaliza um ponto de alerta que poderia ter sido utilizado para o início da prevenção em 2024;
- Ano com chuvas acima da média para o período de seca.

Gráfico B-1 - Risco no PNB em maio de 2023 e área queimada em 2023

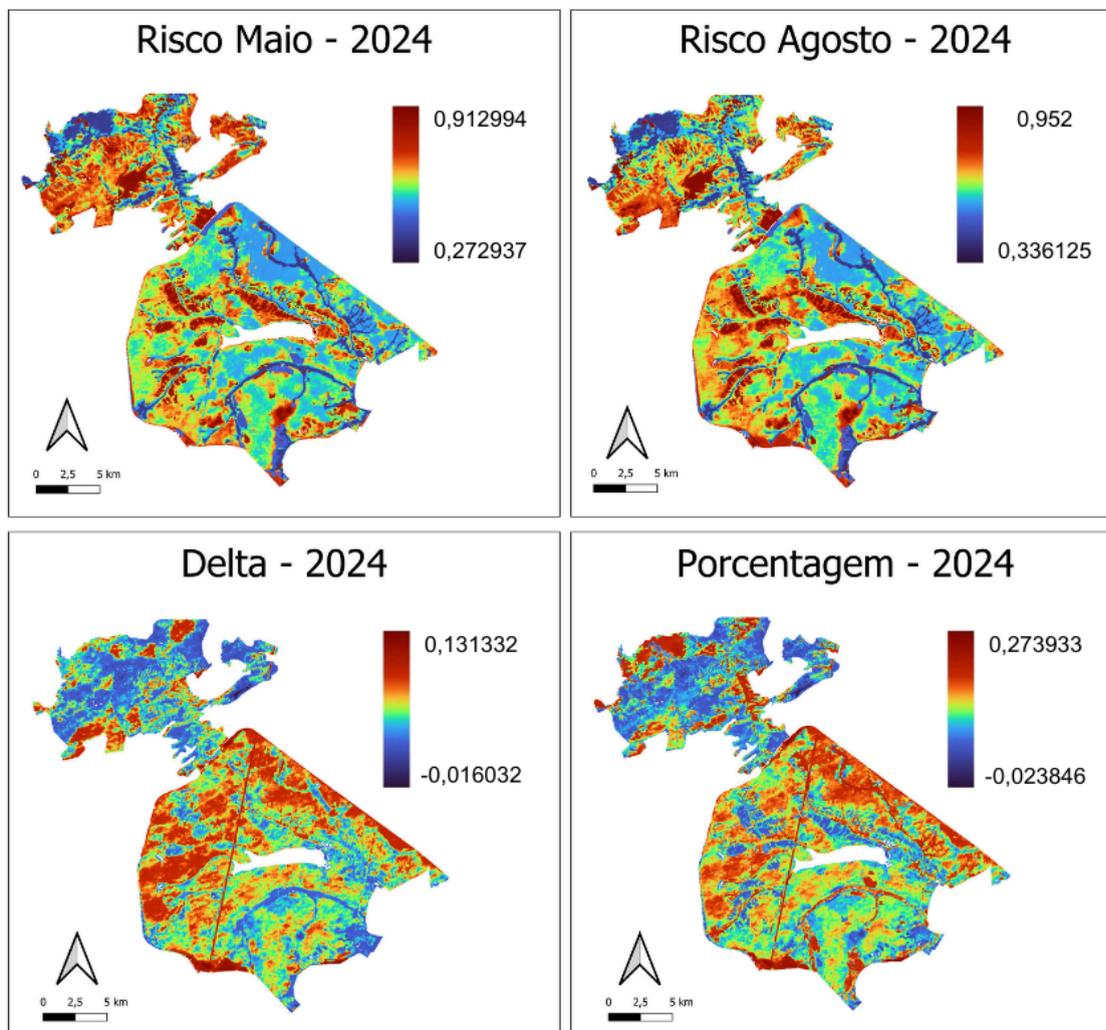
Fonte: O autor

Observações destacadas:

- Área queimada em 2023 foi irrelevante, se comparada ao ano anterior, sugerindo que a passagem do fogo no ano de 2022, mesmo que não intencionalmente, pode ter sido um fator de prevenção para 2023;
- Picos dos gráficos aconteceram em níveis de riscos similares, apesar da enorme diferença entre as frequências em 2023.

APÊNDICE C - ANÁLISE 2024

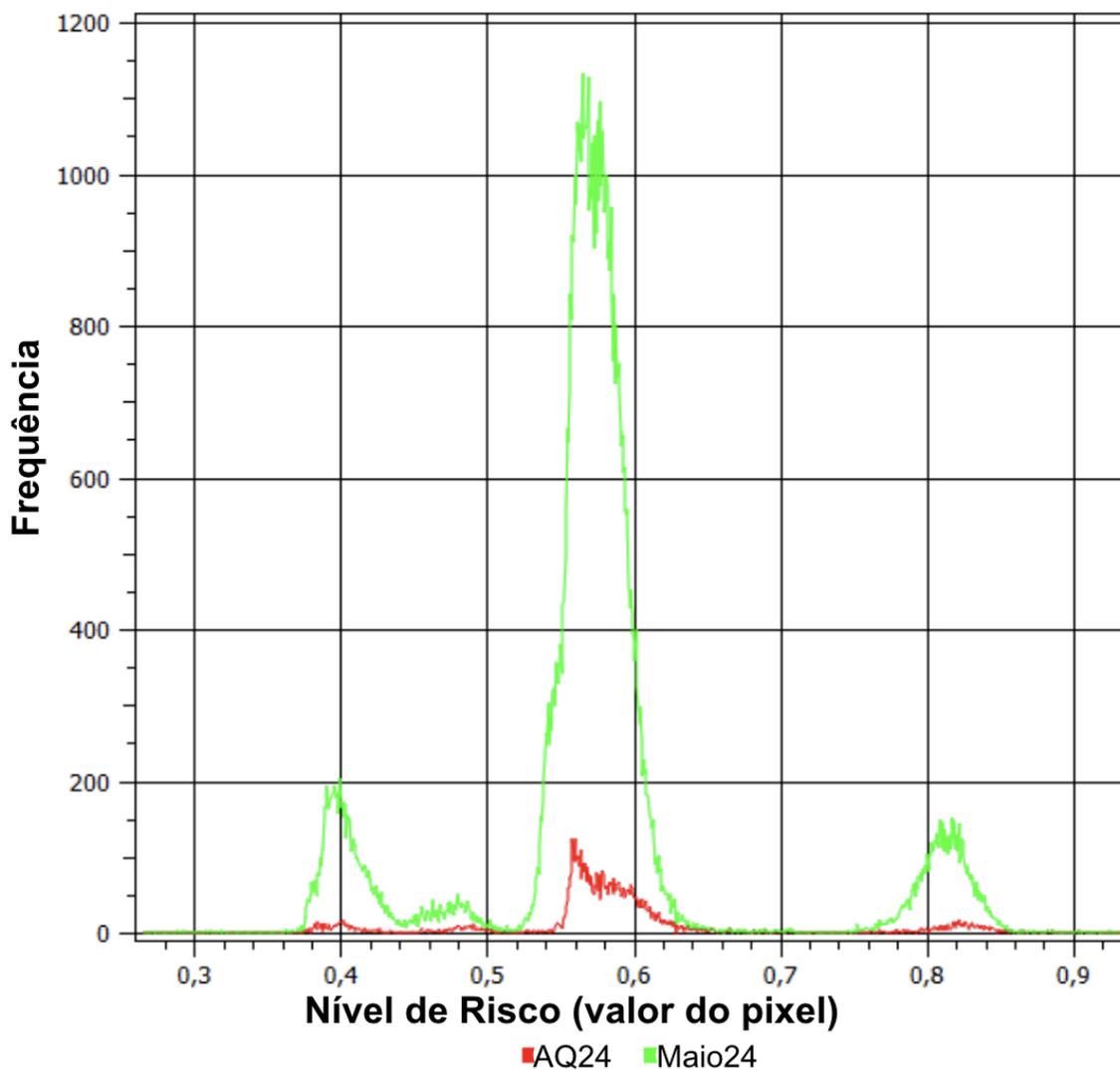
Figura C-1 - Mapas de risco projetado para 2024



Fonte: O autor

Observações destacadas:

- Grande área queimada em setembro de 2024 apresentou um sensível aumento do risco entre maio e agosto no local que seria o ponto de origem do foco inicial;
- Áreas onde o risco era maior em maio apresentaram menor aumento relativo ao longo do ano, ou até mesmo diminuição do risco,

Gráfico C-1 - Risco no PNB em maio de 2024 e área queimada em 2024

Fonte: O autor

Observações destacadas:

- Área queimada em 2024 foi maior que em 2023;
- Picos dos gráficos mantém o mesmo comportamento daquele visto nos demais anos, o que muda é apenas a diferença entre as frequências dos valores de *pixel* na área queimada e na área total do parque.