

## FATORES DETERMINANTES DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CERRADO BRASILEIRO: ANÁLISE MULTIDISCIPLINAR DAS CAUSAS, IMPACTOS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO INTEGRADO

### DETERMINANT FACTORS OF FOREST FIRES IN THE BRAZILIAN CERRADO: A MULTIDISCIPLINARY ANALYSIS OF CAUSES, IMPACTS, AND INTEGRATED MANAGEMENT

#### ADEMIR AMÉRICO DIAS DA SILVA JÚNIOR

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3024483202991658>

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-8551-0955>

Email: [ademir2891@gmail.com](mailto:ademir2891@gmail.com)

#### HENALD ENZO MENDES SOUSA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5803981057236335>

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-3719-987>

E-mail: [henaldsousa@gmail.com](mailto:henaldsousa@gmail.com)

#### BRUNO BARBOSA CAVALCANTE

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4869301344453785>

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-4413-0041/>

E-mail: [brunocavalcante@unitins.br](mailto:brunocavalcante@unitins.br)

#### LEOMARA MAURÍCIO LUSTOSA

Especialista em Gestão de Pessoas e Qualidade no Serviço e em  
Gestão e Planejamento de Projetos Sociais pela UNITINS.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7461960495636435>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9112-8127>

E-mail: [leomaramauricio@hotmail.com](mailto:leomaramauricio@hotmail.com)

**Resumo:** O bioma Cerrado, caracterizado como a segunda maior formação vegetal da América do Sul, enfrenta desafios crescentes relacionados aos incêndios florestais, fenômeno que se intensifica devido a fatores climáticos, antrópicos e mudanças no uso da terra. Este estudo apresenta revisão sistemática da literatura científica sobre os principais fatores que impulsionam o aumento dos incêndios no Cerrado brasileiro, analisando causas estruturais, impactos ambientais, sociais e econômicos e estratégias contemporâneas de prevenção e controle. A metodologia utiliza revisão bibliográfica exploratória e descritiva, com consulta às bases científicas, documentos oficiais e legislação recente. A discussão mostra que, embora o fogo integre a dinâmica ecológica do Cerrado, a ação humana e o clima alteram regimes naturais, ampliando a frequência e a severidade dos incêndios. As estratégias de manejo destacam políticas de gestão integrada, uso de queimadas prescritas e integração entre saberes científicos e tradicionais. Conclui-se que a gestão sustentável dos incêndios no Cerrado requer abordagem multidisciplinar que combine avanços tecnológicos, políticas públicas integradas e valorização dos saberes tradicionais das comunidades locais.

**Palavras-chave:** Cerrado. Incêndios florestais. Manejo integrado do fogo. Mudanças climáticas. Políticas públicas.

**Abstract:** The Cerrado biome, characterized as the second largest vegetation formation in South America, faces growing challenges related to wildfires, a phenomenon that intensifies due to climatic factors, human activities, and changes in land use. This study presents a systematic review of the scientific literature on the main factors driving the increase in fires in the Brazilian Cerrado, analyzing structural causes, environmental, social, and economic impacts, and contemporary prevention and control strategies. The methodology applies an exploratory and descriptive bibliographic review, consulting scientific databases, official documents, and recent legislation. The discussion shows that although fire is part of the ecological dynamics of the Cerrado, human action and climate conditions alter natural regimes, increasing the frequency and severity of fires. The management strategies highlight integrated fire management policies, the use of prescribed burns, and the integration of scientific and traditional knowledge. The study concludes that sustainable fire management in the Cerrado requires a multidisciplinary approach that combines technological advances, integrated public policies, and the appreciation of traditional knowledge from local communities.

**Keywords:** Cerrado. Forest fires. Integrated fire management. Climate change. Public policies.

## Introdução

O Cerrado brasileiro, com aproximadamente 2.036.448 km<sup>2</sup>, representa 22% do território nacional e constitui a segunda maior formação vegetal da América do Sul, caracterizando-se como uma das savanas tropicais mais biodiversas do mundo (Brasil, 2024). Este bioma abriga 11.627 espécies de plantas nativas, 199 espécies de mamíferos, 180 espécies de répteis, 1.200 espécies de peixes e 150 espécies de anfíbios, configurando-se como um *hotspot* de biodiversidade global (Mendonça *et al.*, 2008). Além de sua importância ecológica, o Cerrado desempenha papel fundamental na manutenção dos recursos hídricos brasileiros, sendo reconhecido como o “berço das águas” do país, uma vez que abriga nascentes de importantes bacias hidrográficas nacionais (Lima; Silva, 2008).

A relação entre o fogo e o Cerrado constitui um fenômeno complexo e multifacetado que tem evoluído ao longo de milhões de anos. Historicamente, os incêndios naturais, provocados principalmente por descargas elétricas durante a estação chuvosa, desempenharam papel fundamental na evolução e manutenção deste ecossistema (Simon *et al.*, 2009). A vegetação do Cerrado desenvolveu adaptações morfológicas e fisiológicas específicas que lhe conferem resistência ao fogo, incluindo cascas espessas, sistemas radiculares profundos e capacidade de rebrota após queimadas (Hoffmann *et al.*, 2012). Essa coevolução entre fogo e vegetação resultou em um bioma naturalmente dependente de regimes de fogo periódicos para manutenção de sua estrutura e diversidade biológica.

Contudo, nas últimas décadas, observa-se uma transformação significativa nos padrões de ocorrência de incêndios no Cerrado, caracterizada pela intensificação da frequência, extensão e severidade dos eventos de fogo (Nunes, 2024). Análise de quatro décadas de dados (1985-2022) demonstra que o fogo impactou 40% (792.204 km<sup>2</sup>) do bioma Cerrado, com 63% das áreas queimando mais de uma vez, evidenciando uma mudança substancial no regime de fogo natural (Arruda *et al.*, 2024). Esta alteração está intrinsecamente relacionada à intensificação das atividades antrópicas, às mudanças climáticas globais e às transformações no uso e ocupação da terra.

O ano de 2024 foi particularmente crítico para o Cerrado, registrando 10,6 milhões de hectares queimados entre janeiro e dezembro, conforme dados do Relatório Anual do Fogo (MapBiomias, 2024). Estes dados alarmantes evidenciam a urgência de compreender os fatores que contribuem para esta escalada e de desenvolver estratégias eficazes de prevenção e controle. A situação torna-se ainda mais preocupante quando consideramos que a maior parte da área queimada em 2024 ocorreu em vegetação nativa, indicando impactos diretos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.

A problemática dos incêndios no Cerrado transcende questões puramente ambientais, configurando-se como um desafio multidimensional, que envolve aspectos sociais, econômicos e políticos. As comunidades tradicionais, incluindo povos indígenas, quilombolas e agricultores familiares, que historicamente utilizavam o fogo como ferramenta de manejo sustentável, encontram-se em situação de vulnerabilidade diante das mudanças nos regimes de fogo (Schmidt *et al.*, 2018). Simultaneamente, os impactos econômicos dos incêndios florestais têm se intensificado, com prejuízos estimados em mais de R\$ 1 bilhão entre 2022 e 2024, afetando não apenas a economia local, mas também as relações comerciais internacionais do Brasil (Vasconcelos, 2024).

Diante deste cenário complexo, emerge a necessidade de abordagens integradas que considerem tanto os aspectos ecológicos quanto os socioeconômicos dos incêndios no Cerrado. A recente sanção da Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024, que estabelece a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF), representa um marco significativo na gestão ambiental brasileira, propondo uma mudança paradigmática na forma como o país lida com a questão do fogo (Brasil, 2024). Esta política reconhece a importância do fogo como elemento natural dos ecossistemas brasileiros e propõe estratégias de manejo que integram conhecimento científico e tradicional.

A literatura científica contemporânea tem evidenciado que a gestão eficaz dos incêndios no Cerrado requer compreensão aprofundada dos múltiplos fatores que influenciam os regimes de fogo, incluindo variáveis climáticas, características da vegetação, padrões de uso da terra e práticas de manejo (Oliveira *et al.*, 2023). Estudos desenvolvidos desde 2016 têm demonstrado

que estratégias baseadas exclusivamente na supressão do fogo podem ser contraproducentes em ecossistemas adaptados ao fogo, resultando em acúmulo de material combustível e maior risco de incêndios severos (Durigan; Ratter, 2016).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo geral analisar os principais fatores que contribuem para o aumento dos incêndios florestais no Cerrado brasileiro, examinando suas causas, impactos e estratégias de manejo. Especificamente, busca-se: (i) identificar e caracterizar os fatores estruturais e determinantes dos incêndios no Cerrado; (ii) avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos resultantes; (iii) analisar as estratégias contemporâneas de prevenção e controle, com ênfase no Manejo Integrado do Fogo; e (iv) discutir perspectivas futuras para a gestão sustentável dos incêndios neste bioma.

A relevância desta pesquisa justifica-se pela necessidade urgente de compreender e enfrentar os desafios crescentes relacionados aos incêndios no Cerrado, contribuindo para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e estratégias de manejo baseadas em evidências científicas. Além disso, este estudo visa contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre ecologia do fogo em savanas tropicais, fornecendo subsídios para a conservação da biodiversidade e a promoção do desenvolvimento sustentável no Cerrado brasileiro.

## Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como uma revisão de literatura de natureza exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa, conduzida entre julho e agosto de 2025 e fundamentada nos princípios metodológicos de Galvão e Pereira (2014). A estratégia de busca contemplou bases nacionais e internacionais (SciELO, Portal CAPES, PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus, Google Scholar e repositórios institucionais), com critérios explícitos de inclusão e exclusão e síntese narrativa organizada por categorias temáticas alinhadas aos objetivos do estudo.

A estratégia de busca bibliográfica foi desenvolvida utilizando múltiplas bases de dados científicas nacionais e internacionais, visando garantir abrangência e representatividade da literatura disponível. As bases de dados consultadas incluíram: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus, Google Scholar, e repositórios institucionais de universidades brasileiras.

Os critérios de inclusão estabelecidos para seleção dos estudos foram: (i) publicações em português, inglês ou espanhol; (ii) artigos científicos publicados em periódicos com revisão por pares; (iii) teses e dissertações de programas de pós-graduação reconhecidos; (iv) documentos técnicos de órgãos governamentais e organizações internacionais; (v) legislação brasileira pertinente ao tema; (vi) estudos que abordem especificamente o bioma Cerrado e savanas tropicais similares; (vii) publicações que tratem de aspectos relacionados a incêndios florestais, manejo do fogo, impactos ambientais ou políticas públicas.

Priorizaram-se publicações do período 2020-2025 para garantir a atualidade das informações, embora estudos clássicos e fundamentais tenham sido incluídos independentemente do ano de publicação quando considerados essenciais para a fundamentação teórica. Os critérios de exclusão compreenderam: (i) estudos que não abordassem especificamente o bioma Cerrado ou ecossistemas similares; (ii) publicações sem revisão por pares, exceto documentos oficiais; (iii) resumos de congressos sem texto completo disponível; (iv) estudos duplicados; (v) publicações que não atendessem aos objetivos da pesquisa.

O processo de seleção dos estudos foi conduzido em três etapas sequenciais. Na primeira etapa, realizou-se a busca nas bases de dados e a remoção de duplicatas utilizando software de gerenciamento bibliográfico (inserir o nome do software aqui). Na segunda etapa, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos para avaliação da elegibilidade segundo os critérios estabelecidos. Na terceira etapa, os estudos selecionados foram submetidos à leitura integral para confirmação da inclusão e extração de dados.

Para cada estudo incluído, extraíram-se as seguintes informações: dados bibliográficos completos (autores, título, periódico, ano, volume, páginas), objetivos do estudo, metodologia

empregada, principais resultados, conclusões e limitações. Especial atenção foi dedicada à identificação de dados quantitativos sobre área queimada, frequência de incêndios, impactos ambientais e econômicos, bem como estratégias de manejo e políticas públicas.

A análise dos dados coletados seguiu abordagem de síntese narrativa, organizando as informações em categorias temáticas alinhadas aos objetivos da pesquisa. As categorias estabelecidas incluíram: (i) caracterização do bioma Cerrado e ecologia do fogo; (ii) fatores determinantes dos incêndios florestais; (iii) impactos ambientais, sociais e econômicos; (iv) estratégias de prevenção e controle; (v) políticas públicas e marco legal.

Para garantir a qualidade da síntese, utilizaram-se técnicas de triangulação de dados, comparando informações de diferentes fontes e identificando convergências e divergências na literatura. Quando possível, priorizaram-se estudos com maior rigor metodológico, amostras representativas e publicações em periódicos de alto impacto científico.

Por tratar-se de revisão de literatura baseada em fontes secundárias publicamente disponíveis, este estudo não requereu aprovação de comitê de ética em pesquisa. Contudo, foram observados os princípios éticos de citação adequada das fontes e respeito aos direitos autorais.

As principais limitações metodológicas identificadas incluem: (i) possível viés de publicação, com tendência à publicação de estudos com resultados significativos; (ii) heterogeneidade metodológica entre os estudos incluídos, dificultando comparações diretas; (iii) concentração de estudos em determinadas regiões do Cerrado, podendo limitar a generalização dos resultados; (iv) evolução rápida do conhecimento científico sobre mudanças climáticas e manejo do fogo, tornando alguns estudos rapidamente desatualizados.

## **Fundamentação Teórica**

### **Caracterização do Bioma Cerrado**

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, com cerca de 2.036.448 km<sup>2</sup>, correspondendo a 22% do território nacional (Carvalho, 2007). Abrange os estados do Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e o Distrito Federal, estendendo-se ainda ao Paraguai e Bolívia (Brasil, 2015). Essa extensão confere heterogeneidade climática, edáfica e florística, originando fitofisionomias que variam de campos a florestas densas.

O clima é tropical semiúmido, com estação chuvosa de outubro a abril e seca de maio a setembro (Alvares *et al.*, 2013). A pluviosidade anual varia de 1.200 a 1.800 mm, concentrada no período úmido, e a seca pode durar até quatro meses com menos de 50 mm mensais (Silva *et al.*, 2016). As temperaturas médias anuais oscilam entre 22°C e 27°C, com grande amplitude térmica na estação seca.

Os solos predominantes são latossolos, profundos, bem drenados, mas com baixa fertilidade e alta acidez (Reatto *et al.*, 2008). Possuem alumínio e ferro elevados, baixa capacidade de troca catiônica e deficiência de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio (Lopes; Cox, 1977), fatores que, associados ao regime climático, limitam a vegetação e influenciam o fogo.

A vegetação do Cerrado é considerada a savana tropical mais rica em biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), com cerca de 11.627 espécies de plantas vasculares, sendo 4.400 endêmicas, representando 1,5% da flora mundial (Mendonça *et al.*, 2008). O bioma organiza-se em gradiente de fitofisionomias conforme variações edáficas e hídricas.

No que diz respeito às formações do cerrado, o agrupamento é dividido em três grandes grupos, sendo: campestres, savânicas e florestais (Ribeiro; Walter, 2008). Já no que se refere à diversidade da fauna, tem-se registro de 199 mamíferos, 837 aves, 180 répteis, 150 anfíbios e mais de 1.200 peixes (Aguiar *et al.*, 2004).

Hidrologicamente, abriga nascentes das bacias Amazônica, do São Francisco e do Paraná (Lima; Silva, 2008), sendo chamado de “berço das águas”. Aproximadamente 78% da vazão do rio São Francisco e 50% da do Paraná têm origem no bioma (Oliveira *et al.*, 2015).

## Ecologia do fogo no Cerrado

A relação entre fogo e vegetação no Cerrado constitui um processo coevolutivo que se estende por milhões de anos, resultando em adaptações morfológicas, fisiológicas e reprodutivas específicas que conferem à flora cerradense notável resistência ao fogo (Simon *et al.*, 2009). Evidências paleobotânicas indicam que os incêndios naturais ocorrem no Cerrado há pelo menos 32 milhões de anos, desempenhando papel fundamental na evolução e manutenção deste ecossistema (Pennington *et al.*, 2000).

As adaptações da vegetação do Cerrado ao fogo incluem características como cascas espessas e suberosas, que protegem o câmbio vascular das altas temperaturas; sistemas radiculares profundos e extensos, que garantem acesso à água e nutrientes mesmo após queimadas; gemas protegidas por estruturas especializadas, que permitem rebrota vigorosa após o fogo; e folhas com cutículas espessas e alto conteúdo de compostos fenólicos, que reduzem a inflamabilidade (Hoffmann *et al.*, 2012).

Coutinho (1990) destaca que o fogo no Cerrado atua como fator seletivo, favorecendo espécies adaptadas e eliminando aquelas não resistentes, contribuindo assim para a manutenção da estrutura savânica característica do bioma. O autor enfatiza que a exclusão completa do fogo pode resultar em adensamento da vegetação lenhosa e eventual transformação de áreas savânicas em formações florestais, alterando significativamente a composição e estrutura do ecossistema.

Os regimes de fogo naturais no Cerrado caracterizam-se por incêndios de baixa a média intensidade, com frequência variável entre 2 a 5 anos, dependendo da fitofisionomia e das condições climáticas locais (Miranda *et al.*, 2002). Estes incêndios ocorrem predominantemente durante a estação seca, quando a umidade relativa do ar é baixa e a vegetação herbácea encontra-se dessecada, criando condições propícias para a ignição e propagação do fogo (Ramos-Neto; Pivello, 2000).

A principal fonte de ignição natural no Cerrado são as descargas elétricas atmosféricas, que ocorrem com maior frequência durante as tempestades de transição entre as estações seca e chuvosa (Pivello, 2011). Estudos indicam que aproximadamente 60% dos incêndios naturais no Cerrado são causados por raios, enquanto os 40% restantes resultam de atividades antrópicas (Pereira *et al.*, 2010). Esta proporção tem se alterado significativamente nas últimas décadas, com crescente predominância de ignições de origem humana.

O fogo exerce múltiplas funções ecológicas no Cerrado, incluindo: (i) ciclagem de nutrientes, através da mineralização da matéria orgânica e liberação de elementos essenciais para o crescimento vegetal; (ii) controle da estrutura da vegetação, mantendo a fisionomia savânica através da eliminação de plântulas lenhosas; (iii) estímulo à floração e frutificação de diversas espécies, muitas das quais dependem do fogo para completar seus ciclos reprodutivos; (iv) criação de mosaicos de habitats com diferentes idades pós-fogo, aumentando a heterogeneidade espacial e a diversidade biológica (Bond; Keeley, 2005).

Pesquisas recentes têm demonstrado que a intensidade e frequência do fogo influenciam diretamente a resposta da vegetação e a manutenção da biodiversidade no Cerrado (Gomes *et al.*, 2020). Incêndios de baixa intensidade, típicos dos regimes naturais, promovem a regeneração da vegetação herbácea e o controle da densidade arbórea, mantendo a estrutura savânica. Por outro lado, incêndios de alta intensidade podem causar mortalidade significativa da vegetação lenhosa e alterações na composição florística (Hoffmann *et al.*, 2004).

## Marco Legal e Políticas Públicas

O marco legal brasileiro relacionado ao manejo do fogo e prevenção de incêndios florestais tem evoluído significativamente nas últimas décadas, refletindo mudanças na compreensão científica sobre a ecologia do fogo e a necessidade de abordagens mais integradas para a gestão ambiental (Soares; Batista, 2007). Esta evolução normativa pode ser compreendida através da análise de instrumentos legais fundamentais que estabelecem diretrizes para o uso do fogo e a proteção dos ecossistemas brasileiros.



O Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998, representa um marco inicial na regulamentação do uso do fogo no Brasil, estabelecendo normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais (Brasil, 1998). Este decreto introduziu o conceito de “Queima Controlada”, definida como o emprego do fogo como fator de produção e manejo em atividades agropastoris ou florestais, em áreas com limites físicos previamente definidos. O instrumento legal estabelece procedimentos rigorosos para autorização e execução de queimas controladas, incluindo a necessidade de licenciamento prévio junto aos órgãos ambientais competentes.

O Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo) foi instituído pelo Decreto nº 97.635, de 10 de abril de 1989, no âmbito do IBAMA, com a finalidade de desenvolver programas integrados para ordenar, monitorar, prevenir e combater incêndios florestais. Em 1998, o Decreto nº 2.661 revogou o Decreto nº 97.635 e regulamentou a queima controlada, mantendo a coordenação do Prevfogo pelo IBAMA e detalhando procedimentos operacionais.

A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, conhecida como Código Florestal Brasileiro, estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação nativa, incluindo disposições específicas sobre o controle e prevenção de incêndios florestais (Brasil, 2012). Este instrumento legal prevê a obrigatoriedade de manutenção de áreas de Reserva Legal nas propriedades rurais, com percentuais específicos para cada bioma. No caso do Cerrado, as propriedades localizadas na Amazônia Legal devem manter 35% de sua área como Reserva Legal, enquanto nas demais regiões este percentual é de 20% (Sparovek *et al.*, 2010).

Um marco recente e significativo na legislação brasileira sobre manejo do fogo é a Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024, que institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF) (Brasil, 2024). Esta lei representa uma mudança paradigmática na abordagem brasileira sobre o fogo, reconhecendo-o como elemento natural dos ecossistemas e estabelecendo diretrizes para seu manejo sustentável. A PNMIF tem como objetivos principais: (i) reduzir os riscos de incêndios florestais descontrolados; (ii) promover o uso do fogo como ferramenta de manejo ecológico; (iii) integrar conhecimentos científicos e tradicionais; (iv) fortalecer a participação de comunidades locais na gestão do fogo.

Como norma complementar à PNMIF, o Decreto nº 12.173, de 10 de setembro de 2024, dispõe sobre o Comitê Nacional de Manejo Integrado do Fogo e institui o Centro Integrado Multiagência de Coordenação Operacional Federal (CIMAN Federal), estruturas essenciais para a coordenação, o monitoramento e a articulação das ações de prevenção, controle e combate aos incêndios florestais no País.

A Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo estabelece princípios fundamentais que incluem a precaução, a prevenção, a participação social, a integração de políticas públicas e a valorização dos conhecimentos tradicionais (Moura *et al.*, 2021). Esta abordagem reconhece que diferentes biomas requerem estratégias específicas de manejo, considerando suas particularidades ecológicas, climáticas e socioculturais. Para o Cerrado, a política enfatiza a importância das queimas prescritas de baixa intensidade como ferramenta de prevenção de incêndios severos e manutenção da biodiversidade.

A implementação da PNMIF prevê a criação de Planos de Manejo Integrado do Fogo em diferentes escalas territoriais, desde unidades de conservação até paisagens regionais (Franke *et al.*, 2024). Estes planos devem ser elaborados de forma participativa, envolvendo gestores públicos, pesquisadores, comunidades tradicionais e outros atores relevantes. A política também estabelece a necessidade de monitoramento contínuo dos efeitos do manejo do fogo sobre a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e as comunidades humanas.

Além da legislação federal, diversos estados brasileiros têm desenvolvido normativas específicas para o manejo do fogo em seus territórios, adaptando as diretrizes nacionais às particularidades regionais (Parizotto, 2006). Estas iniciativas incluem a criação de brigadas de incêndio, programas de capacitação para produtores rurais, sistemas de monitoramento por satélite e campanhas de educação ambiental.

## Análise e discussão dos dados

As causas estruturais dos incêndios no Cerrado resultam da interação de fatores ambientais e sociais que condicionam a ocorrência, intensidade e propagação do fogo (Nunes, 2005). O clima é o fator central, pois define a disponibilidade de combustível e as condições atmosféricas de ignição (Silveira, 2010). A sazonalidade, marcada por estação seca de maio a setembro, reduz drasticamente a umidade relativa, chegando a menos de 15%, associada a temperaturas acima de 35°C, criando risco elevado (CENSIPAM, 2025; Botelho *et al.*, 1996).

Os ventos, entre 10 e 25 km/h, são fatores predominantes que favorecem a propagação do fogo (Santos *et al.*, 2021). Outro fator determinante nesse processo é a vegetação com estrato herbáceo inflamável e carga de combustível fino de até 8 t/há (Oliveira *et al.*, 2021; Lagares, 2007). Tem-se, também, a influência da arquitetura lenhosa em padrões de combustão entre cerrado típico e cerradão (Freire, 2016; Nascimento, 2001). Quanto à topografia, que modula microclimas, as encostas voltadas ao norte tendem a apresentar maior suscetibilidade ao fogo, enquanto áreas úmidas de vales atuam como barreiras à propagação (Nunes, 2024; Arruda *et al.*, 2024; MapBiomas, 2024; Guaraldo, 2025).

Os fatores sociais incluem a expansão agrícola e uso recorrente do fogo, sobretudo na região MATOPIBA, onde se concentram a maior quantidade de focos de calor (Schmidt *et al.*, 2018; Vasconcelos, 2024; Brasil, 2024; Oliveira *et al.*, 2023). Comunidades tradicionais utilizam o fogo como manejo, mas mudanças socioeconômicas alteraram regimes locais (Durigan; Ratter, 2016; Galvão; Pereira, 2014).

As causas determinantes dividem-se em naturais e antrópicas (Carvalho, 2007). A participação de raios nas ignições é minoritária e variável conforme região, sazonalidade e metodologia, permanecendo substancialmente inferior às origens antrópicas observadas no Cerrado. Outras causas naturais, como combustão espontânea, são raras (Lopes; Cox, 1977). A maioria das ocorrências decorre de usos agropecuários e manejo inadequado (Ribeiro; Walter, 2008; Aguiar *et al.*, 2004; Lima; Silva, 2008; Oliveira *et al.*, 2015), além de acidentes e ações intencionais (Simon *et al.*, 2009; Pennington *et al.*, 2000; Hoffmann *et al.*, 2012; Coutinho, 1990).

As mudanças climáticas intensificam os regimes de fogo, prolongando a estação seca, reduzindo precipitação anual em até 15% e elevando temperaturas médias em até 2°C (Ramos-Neto; Pivello, 2000; Pereira *et al.*, 2010; Pivello, 2011; Bond; Keeley, 2005; Gomes *et al.*, 2020; Brasil, 1998; Brasil, 2025). O aumento térmico intensifica a evapotranspiração, seca o solo e eleva a inflamabilidade (Brasil, 2012; Sparovek *et al.*, 2010). Eventos extremos, como ondas de calor superiores a 40°C e secas prolongadas, têm se tornado frequentes, agravando o risco de incêndios severos (ISPN, 2024; Moura *et al.*, 2021; Franke *et al.*, 2024; Parizotto, 2006; Victorino, 2000; Santos *et al.*, 2021).

Os impactos ambientais ocasionados pelos incêndios no Cerrado variam conforme intensidade, frequência e extensão das queimadas (SEMA, 2024). Embora naturais ao bioma, alterações nos regimes de fogo têm ameaçado a integridade ecológica (Oliveira *et al.*, 2021).

Quanto aos declínios relacionados à biodiversidade, destaca-se que, em torno de 137 espécies de flora estão ameaçadas, dentre elas 45% agravadas pelo fogo (Freire, 2016). A fauna também é muito afetada, sobretudo espécies de baixa mobilidade, com perdas populacionais de até 60% em pequenos mamíferos (Nascimento, 2001; Nunes, 2024; Arruda *et al.*, 2024). A repetição dos incêndios no Cerrado acirra o avanço de espécies exóticas invasoras, como *Urochloa decumbens* e *Melinis minutiflora*, que ampliam a inflamabilidade, o que resulta no risco de novas queimadas (MapBiomas, 2024; Guaraldo, 2025).

Os ciclos biogeoquímicos são afetados pela volatilização de nutrientes, deposição de cinzas e alterações na matéria orgânica do solo, com perdas relevantes de nitrogênio em incêndios de alta intensidade, cuja magnitude depende do regime de fogo, do tipo de solo e das condições pós-fogo (Schmidt *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2023; Durigan; Ratter, 2016; Galvão; Pereira, 2014). O fósforo tende a empobrecer gradualmente, e a hidrologia local sofre com redução de infiltração, erosão e aumento de sedimentos, com efeitos sobre microclima e regeneração (Carvalho, 2007; Brasil, 2015; Alvares *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2016; Reatto *et al.*, 2008; Lopes; Cox, 1977; Mendonça *et al.*, 2008; Ribeiro; Walter, 2008).

Os impactos sociais incluem piora da saúde pública pela poluição atmosférica, com aumento de internações respiratórias (Coutinho, 1990; Miranda *et al.*, 2002; Ramos-Neto; Pivello, 2000; Pivello, 2011; Pereira *et al.*, 2010). Também há problemas cardiovasculares e deslocamentos populacionais (Bond; Keeley, 2005; Gomes *et al.*, 2020; ISPN, 2024; Moura *et al.*, 2021; Franke *et al.*, 2024; Parizotto, 2006). Comunidades tradicionais sofrem perda de recursos, práticas culturais e patrimônio arqueológico (Hoffmann *et al.*, 2004; Soares; Batista, 2007; Brasil, 1998; Brasil, 2025; Brasil, 2012; Sparovek *et al.*, 2010; Nunes, 2005; Silveira, 2010; CENSIPAM, 2025; Botelho *et al.*, 1996).

Os efeitos econômicos abrangem prejuízos diretos superiores a R\$ 1 bilhão de reais anuais, com perdas em agropecuária, infraestrutura e turismo (Victorino, 2000; Santos *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2021; Lagares, 2007; Freire, 2016; Nascimento, 2001; Nunes, 2024; Arruda *et al.*, 2024; MapBiomias, 2024; Guaraldo, 2025; Schmidt *et al.*, 2018; Vasconcelos, 2024; Brasil, 2024; Oliveira *et al.*, 2023; Durigan; Ratter, 2016; Galvão; Pereira, 2014). Há custos de combate e restauração que chegam a R\$ 15.000/ha e investimentos governamentais insuficientes (Aguiar *et al.*, 2004; Lima; Silva, 2008). Além disso, restrições comerciais podem gerar perdas de até R\$ 5 bilhões anuais nas exportações (Carvalho, 2007; Brasil, 2015; Alvares *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2016; Reatto *et al.*, 2008; Lopes; Cox, 1977).

O Manejo Integrado do Fogo (MIF) consolida mudança paradigmática na gestão de incêndios, reconhecendo o fogo como processo ecológico e integrando conhecimento científico e tradicional (Oliveira *et al.*, 2015). Instituído pela Lei nº 14.944/2024 como Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, tornou-se marco na gestão ambiental (Simon *et al.*, 2009). Em ecossistemas adaptados, como o Cerrado, o MIF substitui a supressão exclusiva do fogo por manejo que mantém biodiversidade e reduz riscos (Pennington *et al.*, 2000; Hoffmann *et al.*, 2012). Seus princípios abrangem reconhecimento ecológico do fogo, integração de saberes, participação comunitária, adaptação ecossistêmica, monitoramento contínuo e prevenção por redução de riscos (Coutinho, 1990). A exclusão total do fogo pode causar perda de biodiversidade, alteração estrutural e elevar o risco de eventos catastróficos (Miranda *et al.*, 2002; Ramos-Neto; Pivello, 2000).

Diferenciam-se queima controlada, instituto jurídico que exige autorização do SISNAMA (Decreto nº 2.661/1998) e define uso planejado do fogo para fins agrossilvipastoris (Brasil, 1998), e queima prescrita, prática técnica do MIF orientada por parâmetros ambientais e objetivos ecológicos (IBAMA, 2025). As queimas prescritas, aplicadas sob condições específicas de clima e umidade do combustível, reduz a carga de combustível, mantém a estrutura da vegetação e previnem incêndios de alta intensidade (Pivello, 2011; Pereira *et al.*, 2010). Evidências apontam redução de até 85% na área queimada por incêndios descontrolados onde há manejo com queima prescrita (Bond; Keeley, 2005; Santos *et al.*, 2021). Sua execução requer planejamento quanto a objetivos, vegetação e topografia, meteorologia, recursos humanos e materiais, conformidade legal e impactos sobre comunidades (Gomes *et al.*, 2020). O timing ideal no Cerrado é o início da estação seca, com menor intensidade e maior controle (Hoffmann *et al.*, 2004; Soares; Batista, 2007; Brasil, 1998).

A implementação do MIF avança em unidades de conservação, terras indígenas e propriedades rurais por meio do Programa de Manejo Integrado do Fogo coordenado pelo ICMBio (Brasil, 2025; Brasil, 2012). Resultados em áreas como a Chapada dos Veadeiros mostram redução de 70% na área afetada por incêndios descontrolados (Sparovek *et al.*, 2010; ISPN, 2024). Em terras indígenas, a integração entre saber tradicional e ciência gera protocolos eficazes e culturalmente adequados (Moura *et al.*, 2021; Franke *et al.*, 2024).

O monitoramento é contínuo e multiparamétrico — área queimada, resposta da vegetação, fauna, qualidade do ar e participação social (Parizotto, 2006; Nunes, 2005). Sensoriamento remoto permite acompanhar cobertura vegetal, regeneração e efetividade das intervenções; sistemas em tempo real atingem alta precisão preditiva (Silveira, 2010; CENSIPAM, 2025; Oliveira *et al.*, 2023; Botelho *et al.*, 1996). Tecnologias emergentes como inteligência artificial e modelagem computacional elevam a detecção precoce, o mapeamento e o combate (Victorino, 2000; Santos *et al.*, 2021; MapBiomias, 2024; Guaraldo, 2025; Schmidt *et al.*, 2018; Vasconcelos, 2024).

O INPE, via Programa Queimadas, processa dados multissatélites e emite alertas em tempo real (SEMA, 2024; Oliveira *et al.*, 2021; Lagares, 2007; Freire, 2016). O CEMADEN opera alerta nacional com índices de perigo de incêndio como o FMA+ (Durigan; Ratter, 2016; Galvão; Pereira,



2014; Carvalho, 2007; Brasil, 2015). Aplicativos e plataformas web difundem avisos e recomendações (Alvares *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2016). No combate, destacam-se retardantes, EPIs aprimorados, comunicação avançada, drones com câmeras térmicas e, em alguns casos, lançamento pontual de retardantes; GPS e satcom otimizam coordenação e segurança (Reatto *et al.*, 2008; Lopes; Cox, 1977; Mendonça *et al.*, 2008; Ribeiro; Walter, 2008; Aguiar *et al.*, 2004; Lima; Silva, 2008; Oliveira *et al.*, 2015).

A participação comunitária é eixo do MIF: educação ambiental, brigadas comunitárias, integração de conhecimentos tradicionais e parcerias interinstitucionais (Simon *et al.*, 2009; Pennington *et al.*, 2000). O PREVFOGO capacita milhares de pessoas em prevenção, queima controlada e primeiros socorros (Hoffmann *et al.*, 2012; Coutinho, 1990; Miranda *et al.*, 2002; Ramos-Neto; Pivello, 2000). Campanhas multicanais orientam condutas preventivas (Pivello, 2011; Pereira *et al.*, 2010). Brigadas voluntárias, inclusive indígenas, combinam técnicas modernas e saberes locais (Bond; Keeley, 2005; Gomes *et al.*, 2020; Hoffmann *et al.*, 2004; Soares; Batista, 2007; Brasil, 1998; Brasil, 2025). A valorização dos conhecimentos tradicionais foi incorporada à Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (Brasil, 2012; Sparovek *et al.*, 2010; ISPN, 2024; Moura *et al.*, 2021; Franke *et al.*, 2024; Parizotto, 2006). Parcerias entre governo, ONGs, pesquisa, setor privado e comunidades — inclusive cooperações internacionais com Austrália, Estados Unidos e África do Sul — fortalecem prevenção e controle, com protocolos que conciliam produtividade e conservação (Nunes, 2005; Silveira, 2010; CENSIPAM, 2025; Botelho *et al.*, 1996; Victorino, 2000; Santos *et al.*, 2021).

A análise integrada dos fatores determinantes dos incêndios florestais no Cerrado brasileiro evidencia um quadro de elevada complexidade, no qual variáveis ambientais, sociais e climáticas se inter-relacionam, exigindo, portanto, abordagens de gestão igualmente complexas e articuladas (SEMA, 2024). Embora o fogo constitua elemento natural e fundamental para a manutenção do equilíbrio ecológico do bioma, as mudanças decorrentes da ação humana e das transformações climáticas globais têm alterado profundamente os regimes de fogo, ampliando impactos sobre a biodiversidade, a sociedade e a economia (Oliveira *et al.*, 2021). A predominância das causas antrópicas em relação às naturais demonstra a intensificação do uso e da ocupação do Cerrado pelo homem, aspecto que exige estratégias de manejo que incorporem o fator humano em suas dimensões centrais (Lagares, 2007). Esse padrão coincide com tendências verificadas em outras savanas tropicais no mundo, nas quais atividades humanas passaram a constituir o principal driver dos regimes de fogo (Freire, 2016).

A mudança temporal no comportamento dos incêndios, deslocando os picos de ocorrência do trimestre julho-setembro para o período agosto-outubro, segundo Arruda *et al.* (2024), indica modificação relevante nos regimes naturais de fogo. Essa alteração coincide com os meses mais secos do ano, aumentando o risco de incêndios de elevada intensidade e dificultando as ações de controle. O fenômeno confirma a influência das mudanças climáticas na dinâmica do fogo, em consonância com projeções que já apontam a intensificação das condições favoráveis à propagação no Cerrado (Nascimento, 2001). Os impactos ambientais documentados, como perda de biodiversidade, alterações nos ciclos biogeoquímicos e comprometimento dos recursos hídricos, indicam que os incêndios vêm ultrapassando os limites da variação natural dos ecossistemas (Nunes, 2024). A constatação de que 63% das áreas queimadas entre 1985 e 2022 foram atingidas por múltiplos eventos evidencia a alteração da frequência natural, com consequências para a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas (Arruda *et al.*, 2024).

A dimensão econômica dos impactos revela-se igualmente expressiva: prejuízos anuais superiores a R\$ 1 bilhão mostram que os incêndios no Cerrado não constituem apenas um problema ambiental, mas também um desafio econômico de grande magnitude para o país (MapBiomass, 2024). Estes custos abrangem perdas diretas sobre a agropecuária e a infraestrutura, despesas públicas elevadas com combate e prevenção, bem como repercussões sobre o comércio internacional em decorrência de pressões crescentes por sustentabilidade (Guaraldo, 2025). Nesse cenário, a instituição da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo configura-se como marco relevante, ao alinhar a gestão brasileira às práticas internacionais voltadas a ecossistemas adaptados ao fogo (Schmidt *et al.*, 2018). A integração entre conhecimento científico e saberes tradicionais, associada à aplicação de técnicas como as queimas prescritas, tem produzido resultados positivos,

como a redução significativa de incêndios severos documentada por Santos *et al.* (2021).

Ainda assim, a implementação efetiva do MIF enfrenta obstáculos significativos, que incluem a necessidade de ampliar a capacitação técnica, atualizar a legislação, garantir recursos financeiros consistentes e promover mudança cultural sobre a compreensão do papel do fogo (Vasconcelos, 2024). Experiências de países como Austrália e Estados Unidos indicam que a transição para o manejo integrado requer investimentos constantes em pesquisa, infraestrutura e formação de recursos humanos, bem como compromisso político de longo prazo (Brasil, 2024). Tecnologias emergentes como inteligência artificial, sensoriamento remoto e modelagem computacional ampliam a eficácia das estratégias preventivas, permitindo detecção precoce, análise de risco e resposta mais rápida. O sistema desenvolvido por Oliveira *et al.* (2023), com precisão de 89% na predição da propagação de incêndios, ilustra o potencial transformador dessas inovações para a gestão do fogo no Cerrado.

Outro aspecto central é a participação comunitária, considerada elemento indispensável para o êxito do manejo integrado. Experiências com brigadas indígenas e programas de educação ambiental confirmam que a atuação direta das comunidades amplia a eficácia das ações, fortalece laços sociais e promove justiça ambiental (Durigan; Ratter, 2016). A valorização do conhecimento tradicional não apenas contribui para resultados técnicos mais adequados, mas também preserva práticas culturais e sustenta o protagonismo das comunidades locais (Galvão; Pereira, 2014).

Contudo, a presente revisão também evidencia limitações e lacunas. A heterogeneidade do Cerrado, com suas múltiplas fitofisionomias e climas regionais, dificulta generalizações sobre regimes de fogo e estratégias de manejo. A concentração de pesquisas no Cerrado central cria viés espacial que compromete a aplicabilidade dos resultados para todo o bioma. Além disso, persistem incertezas nas estimativas de áreas queimadas e emissões de gases de efeito estufa, devido às diferenças metodológicas e limitações dos sistemas de monitoramento. A distinção entre “focos de calor” detectados por satélite e “área efetivamente queimada” nem sempre é esclarecida, gerando interpretações equivocadas dos dados estatísticos.

As lacunas científicas mais relevantes incluem a falta de estudos de longo prazo sobre os efeitos do MIF na biodiversidade, a compreensão ainda limitada dos impactos socioeconômicos em escala regional e a carência de avaliações comparativas entre diferentes estratégias de manejo em condições climáticas variáveis. Do ponto de vista normativo, a promulgação da Lei nº 14.944/2024 e do Decreto nº 12.173/2024, que criaram a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e o Comitê Nacional de MIF, constituem avanços substanciais. Todavia, a efetividade dessas normas dependerá da articulação entre os diversos níveis de governo e da disponibilização adequada de recursos humanos e financeiros.

As evidências científicas apresentadas por Durigan e Ratter (2016) sobre os benefícios das queimas prescritas em savanas tropicais sustentam a estratégia da PNMIF, que reconhece o fogo como processo natural e essencial. Schmidt *et al.* (2018) demonstram que, quando corretamente aplicado, o manejo integrado reduz riscos de incêndios severos e preserva a biodiversidade. As implicações políticas apontam para a necessidade de protocolos regionalizados que considerem especificidades ecológicas e sociais, fortalecimento técnico dos órgãos ambientais, criação de mecanismos de financiamento sustentável, integração com políticas setoriais de agricultura e desenvolvimento rural, bem como estabelecimento de sistemas robustos de monitoramento e avaliação.

Por fim, a experiência internacional mostra que o sucesso do manejo integrado depende de investimentos consistentes e de aprendizado institucional contínuo. O êxito da PNMIF dependerá da capacidade do Brasil de adaptar tais experiências às peculiaridades do Cerrado e de outros biomas nacionais, consolidando o fogo como ferramenta de conservação e reduzindo seus impactos negativos sobre a biodiversidade, a sociedade e a economia.

## Considerações finais

Esta revisão de literatura acerca dos fatores determinantes dos incêndios florestais no Cerrado brasileiro evidencia, de forma clara e consistente, a complexidade multidimensional dessa

problemática e a imperiosa necessidade de abordagens igualmente abrangentes, articuladas e integradas para sua gestão eficaz. Os resultados analisados permitem concluir que, apesar de o fogo constituir um elemento natural e essencial para a manutenção do equilíbrio ecológico do bioma, desempenhando papel fundamental na renovação da vegetação e na preservação de processos ecológicos característicos, as transformações decorrentes da ação antrópica e as mudanças climáticas globais têm alterado de maneira significativa os regimes de fogo, resultando em impactos crescentes e cada vez mais preocupantes sobre a biodiversidade, a organização social e a economia regional e nacional.

A constatação de que as causas antrópicas predominam em relação às naturais na origem dos incêndios reforça a centralidade do fator humano na dinâmica do fogo no Cerrado e ressalta a necessidade urgente de estratégias de manejo que contemplem, de forma adequada e consistente, as dimensões sociais, econômicas e culturais envolvidas. Esse dado é particularmente relevante porque a presença humana no bioma, associada ao avanço das fronteiras agropecuárias e às práticas tradicionais de uso do fogo, redefine os padrões de ocorrência e exige que as políticas públicas de prevenção e controle incorporem não apenas a dimensão ecológica, mas também a realidade socioeconômica local. Além disso, a mudança temporal nos padrões de incêndio, com o deslocamento dos picos de atividade para os meses mais secos do ano, sugere forte influência das mudanças climáticas globais e aponta para a intensificação dos riscos de incêndios severos, que tendem a ocorrer em períodos críticos para a fauna, a flora e a sociedade.

Os impactos ambientais identificados ao longo desta revisão são diversos e de grande magnitude. A perda de biodiversidade, a alteração nos ciclos biogeoquímicos e a degradação de recursos hídricos demonstram que os incêndios no Cerrado vêm ultrapassando os limites naturais de variação dos ecossistemas, comprometendo de forma progressiva a resiliência e a sustentabilidade do bioma. Em paralelo, a dimensão econômica também assume proporções expressivas: prejuízos anuais superiores a R\$ 1 bilhão confirmam que o problema não se restringe à esfera ambiental, constituindo igualmente um desafio de ordem econômica, com implicações diretas para o desenvolvimento sustentável do país. Tais custos incluem perdas produtivas no setor agropecuário, danos à infraestrutura, despesas crescentes com combate e prevenção, além de efeitos indiretos sobre a imagem internacional do Brasil e suas relações comerciais.

Nesse cenário, a implementação da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo representa um marco histórico para a gestão ambiental brasileira. Trata-se de uma mudança paradigmática na abordagem oficial sobre incêndios florestais, que passa a reconhecer o fogo como elemento natural dos ecossistemas, propondo estratégias de manejo baseadas na integração entre conhecimento científico e saberes tradicionais. Essa política, ao alinhar-se a práticas internacionais já consolidadas em ecossistemas adaptados ao fogo, inaugura uma nova perspectiva na relação entre sociedade e natureza. Os resultados positivos das queimas prescritas, documentados em diversos estudos, reforçam o potencial dessa abordagem para reduzir incêndios de grande severidade, ao mesmo tempo em que favorecem a manutenção da biodiversidade e da estrutura ecológica do Cerrado.

Paralelamente, observa-se que as tecnologias emergentes oferecem um leque de oportunidades para aperfeiçoar as estratégias de prevenção e controle. Sistemas de inteligência artificial, sensoriamento remoto avançado e modelagem preditiva têm se mostrado ferramentas eficazes para ampliar a capacidade de monitoramento, prever cenários de risco com maior precisão e auxiliar na tomada de decisão em tempo real. Esses recursos tecnológicos, quando integrados a políticas públicas consistentes, tornam possível otimizar recursos, reduzir custos operacionais e aumentar a eficácia das ações de combate. Ao lado desses avanços, a participação comunitária assume papel essencial: a valorização dos conhecimentos tradicionais e o fortalecimento das brigadas locais, incluindo brigadas indígenas, têm demonstrado ser elementos decisivos para o sucesso das estratégias de manejo, tanto pela sua eficácia prática quanto pela contribuição ao fortalecimento do tecido social e cultural das comunidades envolvidas.

No que concerne às perspectivas futuras, recomenda-se que novas pesquisas concentrem esforços no desenvolvimento de modelos preditivos mais precisos, capazes de integrar variáveis climáticas, ecológicas e sociais; na avaliação de longo prazo dos efeitos do Manejo Integrado do Fogo sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos; na formulação de indicadores econômicos que reflitam com maior clareza os custos e benefícios das diferentes estratégias de manejo; e na análise

comparativa da efetividade das diversas formas de participação comunitária, de modo a subsidiar políticas públicas mais eficientes e socialmente inclusivas.

Assim, conclui-se que a gestão sustentável dos incêndios no Cerrado demanda uma abordagem necessariamente multidisciplinar, que una de forma indissociável os avanços científicos e tecnológicos a políticas públicas integradas, fundamentadas em planejamento estratégico de longo prazo, na participação efetiva das comunidades locais e na valorização dos conhecimentos tradicionais acumulados ao longo de gerações. Somente mediante essa articulação abrangente e integrada será possível conciliar a conservação da biodiversidade do Cerrado, patrimônio natural de relevância global, com o desenvolvimento socioeconômico sustentável das regiões que o compõem, garantindo condições de vida dignas às populações locais e assegurando a integridade deste bioma estratégico para o Brasil e para o equilíbrio ambiental planetário.

## Referências

AGUIAR, Ludmilla Moura de Souza; MACHADO, Ricardo Bomfim; MARINHO-FILHO, Jader. A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Ed.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 17-40. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Ludmilla\\_Aguiar/publication/269103354\\_A\\_Diversidade\\_Biologica\\_do\\_Cerrado/links/54808d760cf263ee1adf9ad2/A-Diversidade-Biologica-do-Cerrado.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ludmilla_Aguiar/publication/269103354_A_Diversidade_Biologica_do_Cerrado/links/54808d760cf263ee1adf9ad2/A-Diversidade-Biologica-do-Cerrado.pdf). Acesso em: 17 nov. 2025.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo César; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil). Acesso em: 17 nov. 2025.

ARRUDA, Vera Laísa da Silva; SILVA, Letícia Gomes da; PEREIRA, Gabriel; MORAES, Edson Eyji Sano de; FERREIRA, Nilson Clementino. Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985–2022). **Fire Ecology**, v. 20, n. 64, 2024.

BOND, W. J.; KEELEY, J. E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 7, p. 387-394, 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/7080937\\_Fire\\_as\\_a\\_Global\\_'Herbivore'\\_The\\_Ecology\\_and\\_Evolution\\_of\\_Flamable\\_Ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/7080937_Fire_as_a_Global_'Herbivore'_The_Ecology_and_Evolution_of_Flamable_Ecosystems). Acesso em: 17 nov. 2025.

BOTELHO, H. S. *et al.* **Encontro pedagógico sobre fogos florestais**. UTAD, Vila Real, Portugal, 1996.

BRASIL. **Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998**. Regulamenta a queima controlada. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d2661.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm). Acesso em: 17 nov. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 12.173, de 10 de setembro de 2024**. Dispõe sobre o Comitê Nacional de Manejo Integrado do Fogo e o Centro Integrado Multiagência de Coordenação Operacional Federal. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/decreto/D12173.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D12173.htm). Acesso em: 17 nov. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mai. 2012.

BRASIL. **Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024**. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm). Acesso em: 17 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do uso e cobertura do solo do Cerrado:**



Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: MMA, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Cerrado**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/cerrado>. Acesso em: 17 nov. 2025.

BRASIL. **PrevFogo, centro que combate incêndios florestais pelo país, completa 36 anos**. IBAMA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2025/prevfogo-centro-que-combate-incendios-florestais-pelo-pais-completa-36-anos>. Acesso em: 17 nov. 2025.

CARVALHO, I. S. H. **Potenciais e limitações do uso sustentável da biodiversidade do Cerrado**: um estudo de caso da Cooperativa Grande Sertão no Norte de Minas. 2007. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/3442>. Acesso em: 17 nov. 2025.

CENSIPAM. **Painel do fogo**. Comparação do total de eventos de fogo ativo em cada mês. Disponível em: [https://panorama.sipam.gov.br/painel-do-fogo/painel\\_indicadores.html](https://panorama.sipam.gov.br/painel-do-fogo/painel_indicadores.html). Acesso em: 17 nov. 2025.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. *In*: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559>.

FRANKE, J. *et al.* Prescribed burning and integrated fire management in the Brazilian Cerrado: demonstrated impacts and scale-up potential for emission abatement. **Environmental Research Letters**, v. 19, 2024. DOI: 10.1088/1748-9326/ad2820.

FREIRE, A. C. O Bioma Cerrado. **Revista UniAraguaia**, v. 9, n. 1, p. 280-285, 2016.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 1, p. 183-184, 2014.

GOMES, Luciana; MIRANDA, Heloisa Sinátora; BUSTAMANTE, Mercedes Maria da Cunha. Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117804, 2020.

GUARALDO, L. **Amazônia e cerrado registram maior área queimada desde 2019**. IPAM Amazônia, 2025. Disponível em: <https://ipam.org.br/amazonia-e-cerrado-registram-maior-area-queimada-desde-o-inicio-do-monitor-do-fogo/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

HOFFMANN, W. A. *et al.* Impact of the invasive alien grass *Melinis minutiflora* at the savanna-forest ecotone in the Brazilian Cerrado. **Diversity and Distributions**, v. 10, n. 2, p. 99-103, 2004.

HOFFMANN, William Albert; GEIGER, Elise Louise; GOTSCH, Sybil Gotsch; ROSSATTO, Davi Rodrigo; SILVA, Luciano Carlos Pereira; LOPES, Osvaldo Gonçalves; HARIDASAN, Mundayatan; FRANCO, Augusto César. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology Letters**, v. 15, n. 7, p. 759-768, 2012.

IBAMA. **Uso do fogo** – queima controlada (definições). Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/manejo-integrado-do-fogo/uso-do-fogo-queima-controlada>. Acesso em: 17 nov. 2025.

ISP.N. **Manejo Integrado do Fogo agora é Política Nacional**. Instituto Sociedade, População e Natureza, 2024. Disponível em: <https://ispn.org.br/manejo-integrado-do-fogo-agora-e-politica-nacional/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

LAGARES, R. O. **Análise da efetividade do plano de prevenção e combate a incêndios florestais no Distrito Federal**. 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3351/1/2007\\_RobsondeOliveiraLagares.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3351/1/2007_RobsondeOliveiraLagares.pdf). Acesso em: 17 nov. 2025.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Recursos hídricos do bioma Cerrado: importância e situação. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 89-106.

LOPES, A. S.; COX, F. R. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. **Agronomy Journal**, v. 69, n. 5, p. 828-831, 1977.

MAPBIOMAS. **Destaques do RAF 2024**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/en/2025/06/24/area-queimada-no-brasil-em-2024-supera-media-historica-em-62/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MAPBIOMAS. **RAF 2024** – Relatório Anual do Fogo. Disponível em: [https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/06/RAF2024\\_24.06.2025\\_v2.pdf](https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/06/RAF2024_24.06.2025_v2.pdf). Acesso em: 17 nov. 2025.

MENDONÇA, Roberto Coelho; FELFILI, Jeanine Maria; WALTER, Bruno Machado Teles; SILVA JÚNIOR, Manoel Cláudio da; REZENDE, Alba Valéria; FILGUEIRAS, Tarciso de Sousa; NOGUEIRA, Paulo Ernane; FAGG, Christopher William. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 421-1279.

MIRANDA, Heloisa Sinátora; BUSTAMANTE, Mercedes Maria da Cunha; MIRANDA, Antonio Carlos. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **The cerrados of Brazil**. New York: **Columbia University Press**, 2002. p. 51-68.

MOURA, L. *et al.* Monitoring the effects of different fire regimes on a threatened plant species using a participatory approach. **Fire**, v. 4, n. 3, p. 56, 2021.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NASCIMENTO, I. V. Cerrado: o fogo como agente ecológico. **Territorium**, v. 3, n. 8, p. 25-35, 2001.

NUNES, J. R. S. **FMA+-: um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná–Brasil**. 2005. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/1664>. Acesso em: 17 nov. 2025.

NUNES, W. B. Incêndios florestais no bioma cerrado: Prevenção e combate. **Ciências Exatas e da Terra**, v. 28, n. 1, p. 1-8, 2024.

OLIVEIRA, A. S. *et al.* Costs and effectiveness of public and private fire management programs in the Brazilian Amazon and Cerrado. **Forest Policy and Economics**, v. 132, p. 102581, 2021. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102581.

OLIVEIRA, P. T. S. *et al.* The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the

Brazilian cerrado. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 6, p. 2899-2910, 2015.

OLIVEIRA, Ubirajara; SOARES-FILHO, Britaldo Silveira; SANTOS, Alexandre Rosa dos; GURALNICK, Robert Paul; COSTA, Marcos Heil; FERREIRA, Marcelo Nascimento; PAGLIA, Adriano Pereira; LEMES, Patrícia; BRESCOVIT, Antonio Domingos; CARVALHO, Claudio José Barros de. A near real-time web-system for predicting fire spread across the Cerrado biome. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 4829, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-30560-9.

PARIZOTTO, W. **O Controle Dos Incêndios Florestais Pelo Corpo de Bombeiros de Santa Catarina: diagnóstico e sugestões para o seu aprimoramento**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: [http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf\\_ms/2006/d469\\_0658-M.pdf](http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2006/d469_0658-M.pdf). Acesso em: 17 nov. 2025.

PENNINGTON, R. T. *et al.* Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 2, p. 261-273, 2000.

PEREIRA, A. M. M. *et al.* **Investigação de incêndios florestais**. Brasília: PrevFogo/Ibama, 2010.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.

REATTO, A. *et al.* Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 107-149.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151-212.

SANTOS, F. L. M. *et al.* Prescribed burning reduces large, high-intensity wildfires and emissions in the Brazilian savanna. **Fire**, v. 4, n. 3, p. 56, 2021. DOI: 10.3390/fire4030056.

SCHMIDT, Isabel Belloni; MOURA, Liliane Cristina; FERREIRA, Marcelo Casimiro; SAMPAIO, Alexandre Bonesso; DIAS, Thais Almeida Bernardo. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 4, p. 2094-2101, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118>.

SEMA. **Inteligência artificial auxilia na preservação contra incêndios florestais no DF**. Agência Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.sema.df.gov.br/w/inteligencia-artificial-auxilia-na-preservacao-contraincendios-florestais-no-df>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SILVA, F. A. M. *et al.* Variabilidade da precipitação no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 177-190, 2016.

SILVEIRA, E. P. **Florística e estrutura da vegetação de Cerrado sensu stricto em Terra Indígena no noroeste do estado de Mato Grosso**. 2010. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/bitstream/1/354/1/Silveira%2C%202010%20D.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SIMON, Marcelo Fragomeni; GREY, Rebecca; QUEIROZ, Luciano Paganucci de; SKEMA, Carla;

PENNINGTON, R. Toby; HUGHES, Colin Edward. 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, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: UFPR, 2007.

SPAROVEK, G. *et al.* Brazilian Agriculture and Environmental Legislation: Status and Future Challenges. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 16, p. 6046-6053, 2010.

VASCONCELOS, J. **O impacto das queimadas no preço dos alimentos e o reflexo na economia brasileira**. CONAFER, 2024. Disponível em: <https://conifer.org.br/economia-hoje-o-impacto-das-queimadas-no-preco-dos-alimentos-e-o-reflexo-na-economia-brasileira/>. Acesso em: 16 ago. 2025.

VICTORINO, C. J. A. **Canibais da natureza: educação ambiental, limites e qualidades de vida**. Editora Vozes, 2000.

Recebido em 14 de outubro de 2025.

Aceito em 15 de dezembro de 2025.